

Dr. Restás Ágoston
ÉGÉS- ÉS TŰZOLTÁSELMÉLET
egyetemi jegyzet



ÁROP – 2.2.21 Tudásalapú közszolgálati előmenetel



Dr. Restás Ágoston

ÉGÉS- ÉS TŰZOLTÁSELMÉLET

egyetemi jegyzet



Nemzeti Közszerológálati Egyetem
Katasztrófavédelmi Intézet
Budapest, 2014

Nemzeti Köszolgálati Egyetem
Katasztrófavédelmi Intézet

Írta és szerkesztette:

© Dr. Restás Ágoston egyetemi docens, 2014

Lektorálta:

Prof. Dr. Bleszity János egyetemi tanár

Kiadja:

© Nemzeti Köszolgálati Egyetem, 2014

Minden jog fenntartva. Bármilyen másoláshoz, sokszorosításhoz, illetve más adatfeldolgozó rendszerben való tároláshoz és rögzítéshez a kiadó előzetes írásbeli hozzájárulása szükséges.

Olvasószerkesztés, tördelés: Nemzeti Köszolgálati és Tankönyv Kiadó Zrt.

ISBN 978-615-5305-82-5

TARTALOM

1. FEJEZET

Égéselmélet	9
1.1 Hőtani alapismeretek	9
1.1.1 Hőmérséklet	9
1.1.2 Hőmennyiség.....	11
1.1.3 Fajhő	11
1.1.4 Égéshő	12
1.1.5 Fűtőérték	12
1.1.6 A tűz általános jellemzése	13
1.2 Halmazállapot-változás	15
1.2.1 Szilárd anyagok	15
1.2.2 Cseppfolyós (folyékony) anyagok	15
1.2.3 Légnemű anyagok	16
1.3 Az égés	20
1.3.1 Az égés magyarázatának történeti fejlődése	20
1.3.2 Az égés feltételei	23
1.3.3 Éghető anyag	23
1.3.4 Az égéshez szükséges oxigénmennyiség	24
1.3.5 Megfelelő hőmérséklet	25
1.3.6 A három feltétel egy időben és térben való megléte (láncreakció)	26
1.4 A gyulladás folyamata	27
1.4.1 A gyulladás előtti fizikai változások.....	27
1.4.2 A gyulladás előtti kémiai változások	27
1.4.3 A meggyulladás folyamat	29
1.4.4 A gyulladást előidéző aktiválási energiák formái	30
1.5 Az égés továbbfejlődése	34
1.5.1 Láng	35
1.5.2 A láng szerkezeti felépítése.....	35
1.5.3 A láng színe, lángfestés	36
1.6 Az égés fajtái	39
1.6.1 Az égés sebességének egyszerű felosztása alapján	39
1.6.2 Az égés sebességének részletes felosztása alapján.....	40
1.6.3 Égésfajták az égéstermékek minősége szerint	42
1.6.4 Égésfajták az oxigénnel való keveredés szerint	44
1.6.5 Égésfajták külső megjelenés szerint.....	45
1.6.6 Öngyulladás	47
1.7 Különböző halmazállapotú anyagok égése	50

1.7.1 Szilárd éghető anyagok égése	50
1.7.2 Cseppfolyós anyagok égése	51
1.7.3 Légnemű anyagok égése	52
1.7.4 Porrendszer égése (porrobbanás)	54
1.8 Égéstermékek	60
1.8.1 Égési gáz	61
1.8.2 Füst	61
1.8.3 Korom	63
1.8.4 Hamu	64

2. FEJEZET

A hőátadás és a tűzterjedés formái	65
2.1 Hővezetés	65
2.2 Hőáramlás (konvekció)	69
2.2.1 A hőáramlás fizikai háttere	69
2.2.2 A hőáramlás csökkentésének lehetőségei	70
2.3 Hősugárzás	71
2.3.1 A hősugárzás fizikai háttere	71
2.3.2 A hősugárzás csökkentésének lehetőségei	76
2.4 A tűz terjedésének gázcsere alapú formái	77
2.4.1 Gázcsere	78
2.4.2 Gázcsere nyílt területen	79
2.4.3 Gázcsere zárt helyiségben	80
2.5 Gázcsere különböző szinten lévő nyílások esetén	83
2.5.1 Gázcsere alsó szintű nyílások esetén	83
2.5.2 Gázcsere alsó és felső szintű nyílások esetén	84
2.5.3 Gázcsere alsó és közepes nyílás esetén	84
2.5.4 Gázcsere többszintes épületek esetén	86
2.6 A gázcsere semleges zónája	87
2.6.1 A semleges zóna kialakulása	87
2.6.2 A semleges zóna magasságát meghatározó tényezők	87
2.7 Különleges tűzterjedési formák	90
2.7.1 Teljes lángba borulás (flashover)	90
2.7.2 Gördülő tűz (rollover)	91
2.7.3 Láng-átcsapás (flameover)	92
2.7.4 Szúróláng (backdraft)	93

3. FEJEZET

A tűzoltás módjai és az oltóanyagok oltóhatásai	95
3.1 Az éghető anyag eltávolításán alapuló oltási mód	95
3.1.1 Az éghető anyag tűzhöz jutásának megakadályozása	96
3.1.2 Az éghető anyag eltávolítása a tűz területéről	98
3.1.3 Az égő anyag eltávolítása az éghető anyagú környezetből	100

3.2 Az oxigén elvonásán alapuló oltási mód	100
3.2.1 Égő helyiségek (tartályok) lezárása	101
3.2.2 Égő helyiség elárasztása, feltöltése	103
3.3 Az égő anyag hőmérsékletének csökkentésén alapuló oltási mód.....	104
3.3.1 Az égő anyag gyulladási (bomlási, olvadási) pontja alá történi hűtése.....	105
3.3.2 A nem égő anyagoknak a hővezetéstől, hőáramlástól és hősugárzástól való védelme	106
3.4 Általános tudnivalók az oltóanyagokról	108
3.4.1 Az égő vagy éghető anyag kémiai tulajdonságai	108
3.4.2 A rendelkezésre álló oltóanyag.....	108
3.4.3 A tűz helyzetéből adódó taktikai lehetőségek	109
3.4.4 A felhasználandó oltóanyag értéke.....	109
3.5 Oltóanyagok oltóhatásai	109
3.5.1 Hűtőhatás	110
3.5.2 Fojtóhatás	112
3.5.3 Az oltóhatásokból levonható következtetések	115

4. FEJEZET

Oltóanyagok	116
4.1 A víz mint oltóanyag	116
4.1.1 A víz kémiai és fizikai tulajdonságai.....	116
4.1.2 A víz felületi feszültsége.....	117
4.1.3 A víz elektromos vezetőképessége	118
4.1.4 A víz kémiai reakciója különböző anyagokkal	119
4.1.5 Termikus bomlás	121
4.1.6 A víz oltóhatásai	121
4.1.7 A víz felhasználásának formái	123
4.1.8 A víz felhasználása különböző halmazállapotú anyagok égése alkalmával	127
4.1.9 A víz egyéb felhasználásának lehetősége	130
4.1.10 Nedvesvíz.....	133
4.2 Az oltóhab	134
4.2.1 Mechanikai hab (léghab)	134
4.2.2 Mechanikai hab jellemzése	135
4.2.3 A hab oltóhatása	137
4.2.4 A habtörés	139
4.2.5 A habok típusai	141
4.2.6 Az oltóhab felhasználásának lehetőségei	142
4.2.7 Nagy-kiadósságú léghabok	144
4.3 Tűzoltógázok	147
4.3.1 A tűzoltógázok alkalmazásáról	147
4.3.2 A gázzal oltás alapelvei és oltóhatások.....	148

4.3.3 Az oltógázok alkalmazási területe	150
4.3.4 Szén-dioxid (CO ₂)	151
4.3.5 Halogén tartalmú oltógázok.....	154
4.3.6 Inert gázkeverékek	159
4.4 A tűzoltóporok	159
4.4.1 Tűzoltóporok jellemzése	160
4.4.2 Tűzoltóporok oltóhatása	164
4.4.3 Különböző összetételű tűzoltóporok.....	166
4.4.4 Tűzoltóporok felhasználásának lehetőségei	169
FELHASZNÁLT IRODALOM	173

1. FEJEZET

Égéselmélet

A tűzoltók munkájának fókuszában mind tűzoltáskor, mind műszaki mentéskor, katasztrófa-elhárítás során az emberi életek mentése, az anyagi javak megóvása, valamint környezetünk védelme áll. A feladatok csak akkor hajthatók végre szakszerűen és hatékonyan, ha az ehhez szükséges elméleti és gyakorlati ismeretek a beavatkozók számára ismertek.

A fentiek miatt elengedhetetlen, hogy a tűzzel kapcsolatos jelenségekről megfelelő alapismeretekkel rendelkezzen minden tűzoltó, különösen a tűzoltás irányításában is résztvevő állomány. A Nemzeti Közsolgálati Egyetem jegyzete ehhez nyújt megfelelő segítséget, ad széleskörű alapismereteket mind az égésről, annak háttéréről és körülményeiről, mind az oltással kapcsolatos alapvető tudnivalókról. A tananyag az elméleti ismeretek átadásán túl számos esetben gyakorlati, tűzoltó szempontú megközelítést alkalmaz. Ennek ellenére –a területi korlátok miatt –természetesen nem adhat valamennyi részletre kiterjedően hiánytalan ismereteket.

1.1 Hőtani alapismeretek

A hő az energia egyik megjelenési formája. A hőenergiát a hőforrás biztosítja. Hőforrásnak nevezzük azokat a helyeket, ahol vagy ahonnan hőenergia szabadul fel. Hőforrások például a Nap, a Föld (vulkánok, melegvízforrások stb.), mechanikai munka (ütés, súrlódás, összenyomás stb.), vegyi folyamatok (például az égés), a villamos áram, atomok bomlása stb. Hőforrás továbbá minden magasabb hőmérsékletű test, míg hőmérsékletkülönbség áll fenn a test és a külső hőmérséklet között. A hőenergiának két meghatározó jellemző adata van:

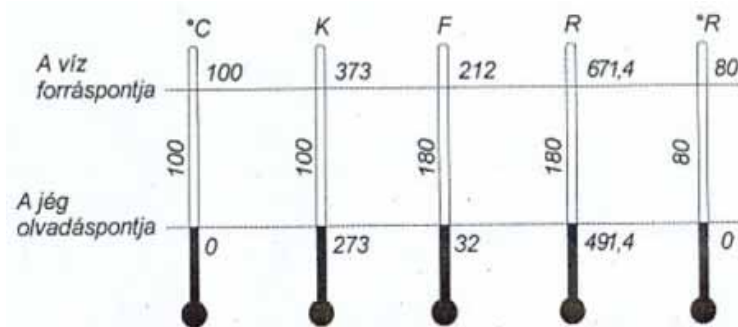
- hőmérséklet;
- hőmennyiség.

A következőkben áttekintjük mindkét jellemző adatot, valamint a hozzájuk szorosan köthető egyéb jellemzőket is.

1.1.1 Hőmérséklet

A testeknek azt az állapotát, amely a különböző hőérzetet kelti, a hőmérséklettel jellemezzük. Magasabb hőmérsékleten a testek molekuláinak sebessége nagyobb, a sebességek átlagértéke azonban adott hőmérsékleten ugyanarra az anyagra állandó érték. Minden hőmérséklethez a molekulák meghatározott átlagsebessége tartozik (például

az oxigénmolekula átlagsebessége 0 °C-on 425 m/s, 20 °C-on 476 m/s). Ezt a mozgást természetesen nem észleljük, csak közvetve szerezhethünk róla tudomást tapintás útján, hőmérsékletének érzékelésével.



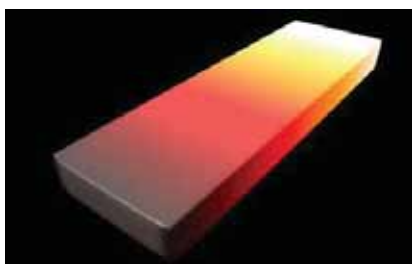
1. ábra: A hőmérsékleti skálák összehasonlítása

A testek hőmérsékletének meghatározásához hőmérőket használunk. Működésük alapelve, hogy a hőmérséklet változásakor a testek számos tulajdonsága megváltozik (térfogat, fajsúly, rugalmasság, szín stb.). A hőmérők hőmérsékleti beosztásának alappontjai: a desztillált víz fagyáspontja és forráspontja normál légköri nyomás (10^5 Pa) mellett. A két alappont közötti távolságot Celsius 100, Reamur 80, Fahrenheit pedig 180 egyenlő részre (fokra) osztotta be. Fahrenheit a jég olvadáspontját 32 °F-kal jelölte. Magyarországon és a kontinentális Európában a Celsius-féle hőskálát használjuk, ennek jele: °C.

Az ún. abszolút vagy Kelvin-féle hőfokskálán (°K) szintén a Celsius-féle skála beosztás szerepel, azonban ez 273 fokkal a jég olvadási pontja alatt kezdődik. Az ún. abszolút zéró fok jelentősége abban van, hogy ennél a hőmérsékletnél a test molekuláinak mozgása teljesen lelassul, nyugalomban vannak. Celsius-fokban megadott hőmérsékletet abszolút hőfokká úgy számítunk át, hogy ahhoz 273-at hozzáadunk. Például: $10\text{ °C} = 283\text{ °K}$.

A hőmérsékletet tehát különböző beosztású hőmérőkkel lehet mérni, és ennek következményeként más és más számértéket kapunk. Például $10\text{ °C} = 8\text{ °R} = 50\text{ °F} = 283\text{ °K}$.

Magas hőmérsékletek becslése az izzó felületek színének megfigyelésével is lehetséges, amelynek a tűzoltó gyakorlatban jelentős haszna lehet. Az acél izzásának színe az alábbi felsorolásban látható:



Szürkésbarna szín	450 °C
Sötétvörös izzás	520 °C
Cseresznyepiros izzás	900 °C
Narancsszínű izzás	1100 °C
Fehér színű izzás	1200 °C
Vakító izzás (kék izzás)	1500 °C

2. ábra: Az acél színének változása

A hőmérsékletváltozásnak tapintással való szubjektív megállapítását is használják bizonyos esetekben (például a széntömegbe dugott vasrúd melegedéséből következtetni lehet a szén önmelegedésére).

1.1.2 Hőmennyiség

A hőenergiának – a hőmérséklet mellett – másik jellemző adata a hőmennyiség. Ha egy test bizonyos hőmérsékletre felmelegszik, ahhoz bizonyos mennyiségű hőre van szüksége. A hőmennyiség tehát a hőmérséklet okozója. Valamely testben a felhalmozódott hőmennyiség a következő tényezőktől függ:

- a test hőmérsékletétől,
- a test tömegétől,
- a test anyagától.

A hőmennyiség jele: Q ; képlete: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$, ahol m az energiát felvevő anyag tömege, ΔT a hőmérsékletváltozás, c pedig az anyagminőség jellemzője (fajhője).

A hőmennyiség SI mértékegysége a Joule.

1.1.3 Fajhő

Az anyagi minőségre jellemző állapot az ún. fajhő. A fajhő azzal a hőenergiával egyenlő, amely az illető anyag 1 kg-jának hőmérsékletét 1°C-kal emeli. Mértékegysége: J/kg°C.

Azonos viszonyok mellett a kisebb fajhőjű test gyorsabban, a nagyobb fajhőjű test pedig lassabban melegszik. A gázok és gőzök fajhője állandó nyomáson tartva, amikor szabadon terjeszkedni képesek, nagyobb, állandó térfogaton tartva pedig kisebb. Ez azt jelenti, hogy a gázok – a levegő is – zárt palackban vagy tartályban gyorsabban melegsznek, mint szabadban.

Néhány anyag fajhője:	(kJ/kg°C)
– Vörösréz/Sárgaréz:	0,385
– Öntött vas	0,464
– Acél	0,469
– Alumínium:	0,900
– Homok:	1,0
– Benzin:	2,22
– Vízgőz	2,08
– Jég	2,1
– Víz:	4,182

A fentiekből jól látható, hogy a természetben található anyagok közül a víz fajhője nagyon magas (az egyik legmagasabb, ezért is alkalmas kiválóan tűzoltásra).

1. táblázat

Tüzelőanyag	Égéshő MJ/kg	Fűtőérték MJ/kg
Hidrogén	141,80	119,96
Metán	55,50	50,00
Etán	51,90	47,80
Propán	50,35	46,35
Bután	49,50	45,75
Benzin	47,30	44,4
Kerozin	46,20	43,00
Gázolaj	44,80	43,4
Szén (antracit)	32,50	
Szén (Lignit)	15,00	
Fa (száraz)	21,7	
Tőzeg (száraz)	15,00	

1.1.4 Égéshő

Égéshő az a hőenergia-mennyiség, amely 1 kg szilárd és cseppfolyós vagy 1 m³ légnemű, 20 °C-os hőmérsékletű anyag tökéletes elégése folyamán felszabadul. Az égéshőt felső fűtőértéknek is szokás nevezni.

1.1.5 Fűtőérték

Fűtőértéknek nevezzük azt a hőmennyiséget, amely az éghető anyag súly- vagy térfogat-egységének elégésénél felszabadul. Meghatározása közel azonos az égéshő meghatározásával. Különbség, hogy az égéshő nagyobb, mint a fűtőérték, mert például az éghető anyagban lévő nedvesség elpárologtatásához hőenergia szükséges, és ez csökkenti a hőenergia mennyiségét. A balra látható 1. táblázatban különböző anyagok égéshője, illetve fűtőértéke látható.

Az anyag égéshőmérséklete nem állandó, hanem az égés folyamán azoktól a feltételektől függően változik, amelyek között az égési folyamat végbemege. Az égéshőmérsékletet a hőleadás, továbbá a rendelkezésre álló levegő mennyisége (oxigén), valamint az éghető anyag fajtája határozza meg.

1.1.6 A tűz általános jellemzése

Az égés mechanizmusának részletes megismerése előtt meg kell vizsgálni azokat a fogalmakat és törvényszerűségeket, amelyek a gyulladási folyamat megismeréséhez elengedhetetlenül szükségesek.

Az éghető anyagok a hőmérséklet emelkedésének hatására különböző változásokat szenvednek, amelyek jellege főleg az anyag kémiai összetételétől és halmazállapotától függ. Több anyag halmazállapota a hő hatására megváltozik, azaz elolvad vagy elpárolog anélkül, hogy kémiai összetétele megváltozna; más anyagok elbomlanak, és bomlási hőmérsékletükön új anyagokká alakulnak át.

Az éghető anyagok a hővel szembeni viselkedésük alapján lehetnek hőállóak és nemhőállóak. Hőállóknak nevezzük azokat az anyagokat, amelyek kémiai összetétele hő hatására nem változik meg. Ebbe a csoportba tartozik például a kén, a foszfor. Nem hőállóak azok az anyagok, amelyek hő hatására megváltoztatják kémiai összetételüket. Ilyen anyagok például a fa, a szalma, a papír. Korlátozott hőállóságú anyagok közé tartoznak a szénhidrogének, amelyek magas hőmérsékleten bomlanak el.

Az éghető anyagok termikus¹ átalakulásának mértékét és jellegét befolyásoló legfontosabb tényezők:

- kémiai összetétel,
- nedvességtartalom,
- felület és térfogat aránya, helyzete,
- környezet hőmérséklete,
- levegő (oxigén) tűzhozó való jutásának mennyisége.

Az éghető anyag kémiai összetétele nagymértékben befolyásolja az anyaggyulladását és égését. A tapasztalatok azt mutatják, hogy annál gyúlékonyabb és éghetőbb egy bizonyos anyag, minél nagyobb százalékban tartalmaz hidrogént, oxigént és szenet.

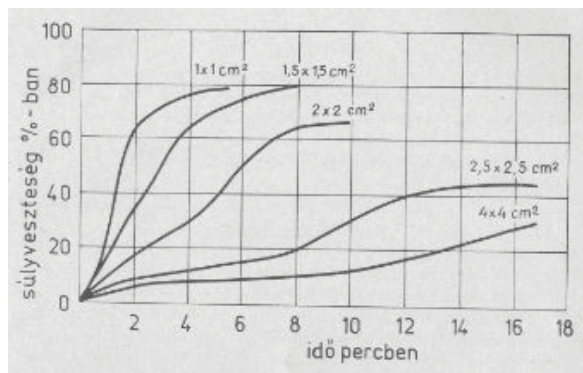
A nedvességtartalom megnehezíti a gyulladást, és csökkenti az égés sebességét. Minél nagyobb a nedvességtartalom, annál kevesebb anyag ég el az időegység alatt, mivel a víz elpárologtatásához viszonylag nagy mennyiségű hő szükséges. Ez a hővesztés lassítja az anyag meggyulladását, és csökkenti az égés sebességét.

Ha az anyag térfogatának felületét növeljük, akkor növekszik hőfelvevő képessége is. A térfogat növekedése általában a felület növekedését is jelenti, ezért az anyag meggyulladása előbb következik be, és erősödik az égés intenzitása is, mivel nagyobb hőmennyiség felvételére képes. A 2. táblázatban a felület növekedése látható az aprítás következtében.

¹ Termikus: görög eredetű szó, jelentése: meleggel, hőmérséklettel kapcsolatos.

2. táblázat

A kocka élének hossza	A kockák száma	Felülete (cm ²)
1 cm	1	6
1 mm	10 ³	60
0,1 mm	10 ⁶	600
0,01 mm	10 ⁹	6 000
0,001 mm	10 ¹²	60 000



3. ábra: A fa aprítottsága és meggyulladása

A fa meggyújtásánál lehet megfigyelni, hogy a faforgács a gyufa lángjánál meggyullad, és sokkal gyorsabban ég el, mint egy nagyobb fadarab. Ugyanolyan faanyagú gerendát egyetlen gyufaszál lángjával meggyújtani nem is lehet. Tapasztalható még a tűzhelybe való begyújtás alkalmával is, amikor gyorsabb és könnyebb gyulladás érdekében a fát felaprítjuk. A felaprított fa égésintenzitása annak keresztmetszete függvényében az 3. ábrán látható. Szilárd anyagoknak az aprítással növekvő égési reakció intenzitását tapasztalhatjuk abban az esetben is, ha összehasonlítjuk a tömör szén és a szénpor elégésének idejét. 1 kg darabos szén több percen keresztül is képes égni, azonban az 1 kg szénpor a másodperc töredéke alatt is eléghet, illetve robbanhat.

Az éghető anyag helyzete nagymértékben befolyásolja a gyulladást és az égési sebesség gyorsaságát. Nem mindegy, hogy az éghető anyag alsó vagy felső részét éri a hő. A gyufaszál meggyújtása alkalmával jól lehet tapasztalni, hogy amikor a gyulladás után a gyufaszálat fejjel lefelé tartjuk, a felszálló hő az égési sebesség gyorsulását nagymértékben elősegíti. Az égési sebesség a gyulladás terjedésének az égő felületre merőleges irányú sebessége. Ez különböző feltételektől függően változhat, a fentiek alapján gyorsítható vagy lassítható.

A hőmérséklet emelkedése alkalmával a termikus bomlás is nagymértékben fokozódik. A tűz fészkéhez áramló levegőmennyiség (oxigén) szintén befolyásolja mind az égési sebességet, mind a láng egyéb jellemzőit.

1.2 Halmazállapot-változás

1.2.1 Szilárd anyagok

A szilárd testnek saját alakja és saját térfogata van. Atomjai vagy molekulái szabályos térbeli rács alakjában helyezkednek el, súlypontjuk helyzete állandó, ekörül rezegnek, mégpedig annál hevesebben, minél magasabb a test hőmérséklete. A testeket az ún. kohéziós erők² tartják össze. A kohéziós erők nagysága az anyag minőségétől és a test halmazállapotától függően változik. Alapvetően meghatározzák a testek különböző fizikai tulajdonságait, mint például rugalmasságát, szilárdságát, keménységét.

1.2.2 Cseppfolyós (folyékony) anyagok

Melegítés hatására egyes szilárd testek bizonyos hőmérsékleten megolvadnak, azaz cseppfolyóssá válnak. *Azt a hőmérsékletet, amelyen normál légköri nyomáson a halmazállapot-változás bekövetkezik, az anyag olvadáspontjának nevezzük.* Az olvadást a molekulák hőmozgásával magyarázzuk. Melegítés hatására a molekulák mozgási sebessége annyira megnövekszik, hogy a kohéziós kapcsolat „meglazul”, a kristályrács szétesik, és a test cseppfolyóssá válik. Néhány anyagolvadás-, illetve fagyáspontja:

vas	1540 °C	víz	–0 °C
réz	1083 °C	tengervíz	–2,5 °C
arany	1063 °C	tej	–11 °C
cink	420 °C	higany	–39 °C
ólom	326 °C	alkohol	–114 °C
viasz	63 °C	benzin	–150 °C

Az a hőenergia, amely valamilyen szilárd anyag egy kilogrammját az olvadási hőfokon cseppfolyóssá alakítja, az anyag ún. olvadáshője. Néhány anyag olvadás-, illetve fagyáshője:

jég	334 kJ/kg	vörösréz	205 kJ/kg
alumínium	398 kJ/kg	cink	100 kJ/kg
viasz	176 kJ/kg	ezüst	105 kJ/kg
vas	289 kJ/kg	ólom	25 kJ/kg

² Kohézió: latin eredetű szó, jelentése: vegyi összetartás, tehát ionokat, atomokat, molekulákat összetartó erő.

Ha a cseppfolyós testet lehűtjük –tehát hőenergiát vonunk el belőle –, a molekulák sebessége egyre kisebbé válik, közelebb kerülnek egymáshoz. Nagyobb lesz közöttük a kohéziós erő, és adott hőmérsékleten a test cseppfolyós halmazállapotból szilárd halmazállapotba megy át. Ezt a jelenséget fagyásnak, illetve szilárd testek olvadékainak megszilárdulását dermedésnek nevezzük. Az olvadás és fagyás (dermedés) ugyanazon a nyomáson minden anyagra jellemző hőmérsékleten következik be.

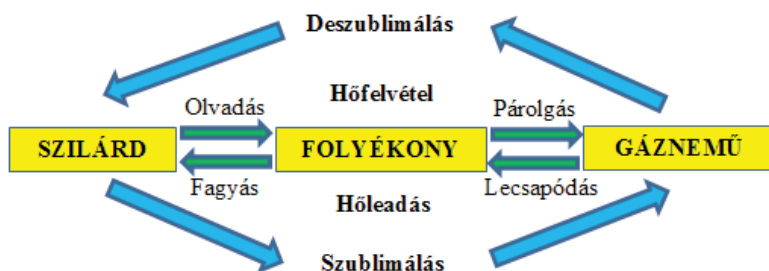
1.2.3 Légnemű anyagok

A hőmérséklet emelkedésének hatására a cseppfolyós halmazállapotú anyag párologni kezd. Párolgás esetén a cseppfolyós test légnemű fázisba megy át. A folyadék molekulái is állandó mozgásban vannak, a nagyobb sebességű, tehát nagyobb mozgási energiájú molekulák leküzdik a folyadékban lévő többi molekula kohéziós erejét, és így a folyadék felszínéről kirepülnek, azaz elpárolognak. A folyadék párolgási sebessége arányos a hőmérséklettel és a folyadék felszínének nagyságával. A párolgás függ még a folyadék anyagi minőségétől és a külső nyomástól is.

A párolgás hőelvonással jár. Ennek az az oka, hogy a folyadékból a nagyobb sebességű (melegebb) molekulák kirepülnek, tehát a folyadékban maradt molekulák átlagsebessége kisebb (hűvösebb), a test hőmérséklete ezért alacsonyabb lesz. Azt a hőmennyiséget, amely a forrásponton lévő folyadék tömegét ugyanolyan hőmérsékletű gőzzé alakítja, párolgási hőnek nevezzük. Néhány anyag párolgási hője:

víz	2257 kJ/kg	CO ₂	570 kJ/kg
éter	380 kJ/kg	benzín	300–400 kJ/kg
alkohol	860 kJ/kg		

Szilárd anyagok is képesek párologni, mint például a jég, naftalin vagy a szénsavhó. Ezt a jelenséget szublimációnak³ nevezzük. Akkor beszélhetünk szublimációs folyamatról, amikor a szilárd halmazállapotú anyag –kihagyva a cseppfolyós halmazállapotot– közvetlenül gázhalmazállapotba megy át.

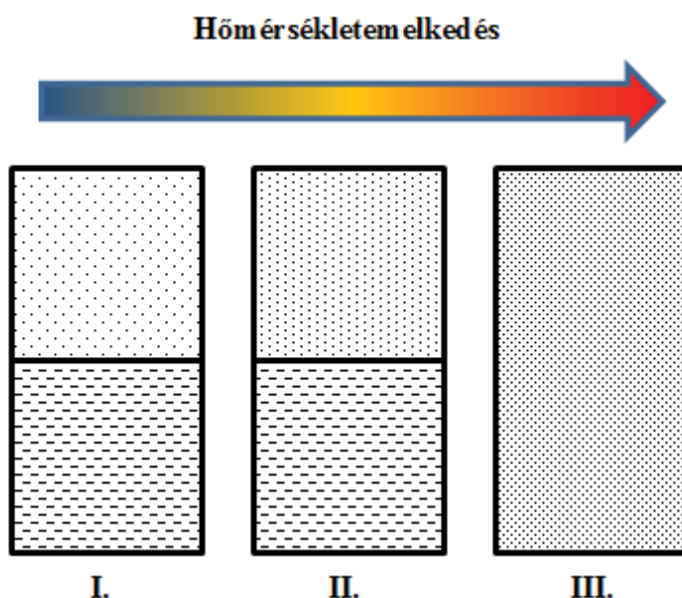


4. ábra: A különböző halmazállapotok közötti hőátadás formái

³ Szublimáció: latin eredetű szó, jelentése: felemelt

A gázoknak sem saját alakjuk, sem saját térfogatuk nincs. Molekuláik egymástól viszonylag messze vannak, saját méreteikhez képest. Légnemű anyagok említése alkalmával sok esetben gőzökről, gázokról beszélünk, és felmerül az a kérdés, hogy miket nevezünk gőzöknek, illetve gázoknak. Ennek meghatározásához meg kell érteni a kritikus értékfogalmát. Ide soroljuk a kritikus hőmérsékletet, a kritikus nyomást és a kritikus sűrűséget.⁴

A fogalom megértéséhez képzeljünk el egy légüres edényt, amely kb. félig folyadékkal van töltve, és légmentesen van lezárva. Ebből a folyadékból sok molekula fog a fölötte lévő üres térbe vándorolni, míg például szobahőmérsékleten a gőz és a folyadék között dinamikus egyensúly alakul ki, úgy, hogy minden pillanatban kb. ugyanannyi gőzmolekula vándorol vissza a folyadékba, mint amennyi folyadékmolekula a gőztérbe átmegy.



5. ábra: A kritikus nyomás és hőmérséklet kialakulásának értelmezése

A folyadékra tehát saját gőznyomása nehezedik. Ha a folyadékot felmelegítjük, akkor több folyadékmolekula vándorol a gőztérbe, a gőz sűrűsége növekszik, miközben a folyadék sűrűsége egyidejűleg csökken. Végül további hevítéssel elérünk egy pontot, amelynél a gáz sűrűsége a folyadék sűrűségével egyenlő, azaz nincs különbség a gáz és folyadék között. Ezt a hőmérsékletet kritikus hőmérsékletnek nevezzük, az ehhez tartozó nyomást kritikus nyomásnak, az ehhez mért sűrűséget pedig kritikus sűrűségnek.

⁴ Megjegyzés: létezik a kritikus tömeg (kritikus méret) is, atomfizikai fogalom: a hasadásra képes anyagnak az a minimális mérete, amelyben láncreakció lehetséges. Itt nem foglalkozunk vele.

Következésképpen elmondható, hogy kritikus hőmérséklet felett a légnemű halmazállapotú testeket gázoknak, a kritikus hőmérséklet alattiakat pedig gőzöknek nevezzük. A kritikus hőmérséklet az a hőfok, amely felett a gőzök már semmilyen nyomással nem cseppfolyósíthatók. A kritikus hőmérséklethez tartozó telített gőz nyomása a kritikus nyomás, amely minden anyagra jellemző állandó.

Kritikus nyomás az a nyomás, amellyel valamilyen, a kritikus hőmérséklet alá hűtött gáz cseppfolyósítható. Néhány anyag kritikus hőmérséklete, kritikus nyomása és kritikus sűrűsége a 3. táblázatban látható.

A hőmérséklet emelkedésével a gázok térfogata megnövekszik, és ennek függvényében a gáz nyomása is nő.

3. táblázat

Kritikus érték	hőmérséklet	nyomás	sűrűség
Anyag megnevezése	°C	atm	g/cm ³
Hidrogén	239,9	12,8	0,031
Oxigén	118,8	49,7	0,43
Klór	143,5	76,1	0,57
Széndioxid	31,3	72,9	0,464
Víz	374	217,7	0,234

Ez a jelenség a molekulák fokozott mozgásával magyarázható. Azonos hőmérsékletű különféle gázok (egyenes vonalú mozgást végző) molekuláinak sebessége annál nagyobb, minél kisebb a molekulásúly. A gázmolekulák átlagos sebessége 0 °C-on:

- hidrogén 1693 m/s,
- hélium 1204 m/s,
- vízgőz 567 m/s,
- oxigén 425 m/s,
- klór 284 m/s.

A molekulasebességek csupán átlagértékek: minden gázban, minden pillanatban vannak lassúbb és gyorsabb molekulák. Minden molekulának nem lehet azonos a sebessége, hiszen az a folyadék gőznyomásától és a levegőréteg csökkenő gőzsűrűségéből adódik; ha minden gőzmolekulának azonos sebessége lenne, akkor például a víznek közönséges hőmérsékleten egyáltalán nem lenne gőznyomása, nem tudna párologni, és csak magas hőmérsékleten, hirtelen alakulna át teljesen vízgőzzé. A hő a kinetikai gázelmélet értelmében a molekulák átlagsebességének növelését jelenti.⁵

⁵ Megjegyzés: például az oxigénmolekula átlagsebessége 0 °C-on másodpercenként 425 m, 100 °C-on 498 m, 200 °C-on 560 m. Egy átlagos sebességű „levegőmolekula” zavartalan repülése 10 perc alatt tenné meg a Budapest–Bécs távolságot.

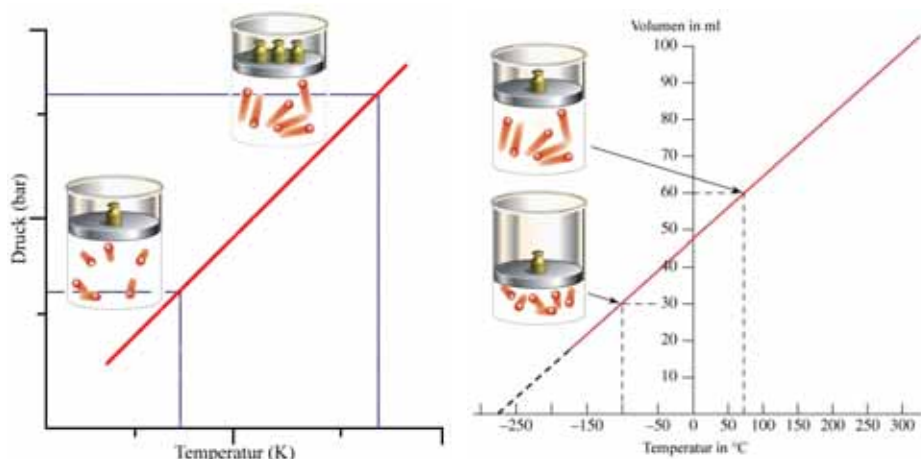
A valóságban azonban minden gáz sokkal lassabban terjed a megállapított értékénél. Ez a jelenség a gázmolekulák számtalan összeütközésére vezethető vissza. Azonos nagyságú és tömegű molekulák rendes körülmények között 100–500 m molekulasebességnél másodpercenként kb. 10 milliárd esetben ütköznek össze úgy, hogy szabad pályájuk hossza (a két összeütközés közötti pálya) csak kb. 10^{-7} méter.

Az összeütközések számának és az átlagos szabad pálya hosszának értékét 1929-ben Born és Bormann igazolták: a kinetikai gázelmélet világos magyarázatot ad a gáztörvényekben ismert törvényszerűségeknek. Az elmélet szerint a melegítés a gázmolekulák sebességének növelését jelenti.

Számtalan gázmolekula ütközésének ereje az edény falain erősödik, ennek következtében állandó térfogaton nő a nyomása. Ha változatlan hőmérsékleten valamilyen gázt összenyomunk, akkor a molekulák száma –a felülethez viszonyítva –növekszik, ennek következtében több molekula ütközik az edény falához, és ezáltal a nyomás nő.

A térfogat és nyomás növekedésének törvényszerűségét Gay-Lussac, illetve II. törvénye határozza meg. Az I. törvény szerint bármely gáz térfogata állandó nyomáson $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérséklet-emelkedéskor a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -hoz tartozó térfogatának 273-ad részével nő. Tehát ebben az esetben térfogat-növekedésről van szó.

A II. törvény szerint: a gáz nyomása $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten lévő nyomása 273-ad részével nő $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérséklet-emelkedés hatására. Tehát ebben az esetben a nyomás nagyságát határozza meg. A fenti törvényszerűségek ismerete a robbanások megelőzése területén hasznos segítséget nyújt.



6. ábra: Gay-Lussac törvényeit magyarázó ábrák

1.3 Az égés

1.3.1 Az égés magyarázatának történeti fejlődése

A tüzet (égést) az ember évezredek óta ismeri. Talán a tűz volt az első vegyi folyamat, amelyet megismert. Kezdetben számára ismeretlen jelenségtől főleg a nagy tüzek pusztító hatásainak következményeként – félt és menekült előle. Később felismerve hasznos tulajdonságait, igyekezett a maga javára felhasználni. A megismerési folyamat két úton haladt. Először, hogyan tud ellene védekezni, másodsorban hogyan tudja felhasználni saját érdekeinek megfelelően. Ez a megismerés a kezdeti időszakban nagyon lassú folyamat volt. Elmondhatjuk, hogy az égés vizsgálata csak az ipari fejlődés kezdetén vált céltudatossá. Ebben az időben azonban már szükségszerűen jelentkezett az égési formák és folyamatok megismerése. A technika fejlődésével ez a megismerés mind tökéletesebb lett.

Az égés jelenségének megmagyarázására az első kísérletet a 18. század vegyészei tették a „flogiszton”-elmélettel.⁶ E szerint az égés nem más, mint az anyag szétválása égő részekre (flogisztonokra, olyan anyagokra, amelyek szétoszlanak a légkörben) és a maradék anyagra, a földre. Az éghetetlen testekben tehát nincs flogiszton, az éghető anyag pedig annál több flogisztonot tartalmaz, minél könnyebben és hevesebben ég el. A flogiszton-elméletet kb. 1670-től 1775-ig általánosan elismerték mint az égési jelenségek legfontosabb elméletét.

Előként a 18. század orosz tudósa, M. V. Lomonoszov (1711–1765) magyarázta úgy az égést, mint a forró anyag és a „levegő nehéz részecskéi” egyesülésének folyamatát. Fémot helyezett el egy edényben, amelyet azután légmentesen leforrasztott. Az edényt (fémot) felhevítette. Tapasztalatai alapján Lomonoszov rámutatott arra, hogy salak csak az edényben lévő levegő és fém egyesülése következtében keletkezett. Az edény összsúlya a folyamat során nem változott. Ez a felfedezés megdöntötte azt az elképzelést, hogy az égés (tűz) alkalmával az anyag „elég”, azaz megsemmisül. A kísérlet azt is bizonyította, hogy egy bizonyos anyag szabadban való égése alkalmával annak súlya nem csökken, hanem az oxigén felvételével összességében súlynövekedés tapasztalható.

Ez a megállapítás kémiai egyenletekkel is bizonyítható, amikor a szén és a kén égése alkalmával a végtermék súlya a szén, illetve kén és az oxigén összsúlyával egyenlő. Így valamely anyag elégetése alkalmával a reakcióban kémiailag részt vevő anyagok összessége határozza meg a súlynövekedés nagyságát. E kísérlet alapján fedezte fel Lomonoszov a modern kémia alaptörvényét, az anyag megmaradásának elvét.

A tömeg megmaradásának törvénye szerint zárt rendszerben lévő tömegek összege állandó, tehát a tömeg nem semmisülhet meg, és nem is keletkezhet, teremthető semmiből. Valamely kémiai folyamat, például égés alkalmával a tömegek átcsoportosulnak, más kapcsolatba kerülnek egymással, de összes mennyiségük nem változik.

Lavoisier francia tudós megismételte Lomonoszov kísérletét, és megállapította, hogy a levegőnek csak egyötöd része egyesül a felhevített fémmel. Így jutott el az égés „oxigén-

⁶ Flogiszton: görög eredetű szó, jelentése: égő.

elméletének” gondolatához, amely szerint az égés az éghetőanyag és oxigén egyesülése. A flogiszton-elméletet lényegében 1775-ben ő cáfolta meg, és az égési folyamatokat oxidációként értelmezte.

G. M. Hess orosz tudós 1936-ban kísérleti úton fedezte fel a termokémia alaptörvényét, amely lényegében az energia-megmaradás törvényének alkalmazása a kémiai folyamatokra.

A Hess-törvény szerint $Q = Q_1 + Q_2$ (Q = hőmennyiség), tehát a reakció alkalmával felszabaduló összes hőmennyiség egyenlő a részreakciók alkalmával felszabaduló hőmennyiség összességével. A Hess-törvény lényegét a szén égésének példáján keresztül lehet jól bemutatni. Elegendő oxigénmennyiség jelenlétében a reakció eredményeképpen a teljes szénmennyiség széndioxidá alakulhat. Ha a tökéletes égéshez szükséges oxigénmennyiségnél kevesebb oxigén jut a szénhez, szénmonoxid is keletkezik, amely azután további levegővel (oxigénnel) széndioxidá égethető el. A példa szerint tehát a szén széndioxidá való elégése alkalmával felszabaduló hőenergia egyenlő a szén szénmonoxidá, illetve a szén széndioxidá való elégése alkalmával felszabaduló hőmennyiséggel.

Ahhoz, hogy a tűz oltását szakszerűbben tudjuk végezni, feltétlenül szükséges az égéssel (tűzzel) részletesen megismerkedni. Tanulmányozni kell a gyulladási és égési folyamatok részletes lefolyását. Meg kell ismerni azokat a feltételeket, változásokat, amelyek a hőmérséklet emelkedésétől a gyulladáson keresztül az égés továbbterjedéséig jelentkeznek, illetve az éghető anyagban végbemennek.

Az égés fogalmát többféleképpen lehet meghatározni, ami főleg attól függ, hogy milyen szinten és milyen célból kívánunk ezzel foglalkozni. A tűzoltóság számára rendkívül fontos, hogy az égés alkalmával nagy mennyiségű hőenergia is felszabadul, ami a tűz oltását megnehezíti. Ennek érdekében az égést a továbbiakban ebből a szempontból vizsgáljuk.

Az égés kémiai folyamat, amikor az éghető anyag megfelelő hőmérsékleten a levegő oxigénjével egyesül, hő – és legtöbb esetben fény – alakjában energiát szolgáltat. Ezt a leggyakrabban a tűzháromszöggel szoktuk szemléltetni.



7. ábra: A tűzháromszög

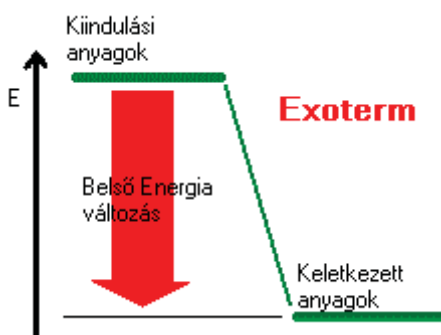
Az égés a legtöbb esetben tehát nem más, mint az éghető anyag egyesülése az oxigénnel (levegővel). Az égés tulajdonképpen észlelhető hőfejlődéssel, és legtöbbször világító láng vagy fény képződésével végbemenő reakció az éghető anyag és a levegő oxigénje között.

Tágabb értelemben nemcsak az éghető anyagnak a levegő oxigénjével való reakcióját nevezzük égésnek, hanem ezenkívül minden olyan reakciót is, amely hő leadásával és többé-kevésbé erős fényfejlődéssel megy végbe. Így „ég el” például az acetilén, a hidrogén, a foszfor klórban, a magnézium széndioxidban. Meg kell vizsgálni azonban azt is, hogy mi a különbség az égés és az oxidáció fogalma között. Az oxidációt és az égést külső ismertető jelei által úgy lehet megkülönböztetni, hogy az oxidáció alatt általában azokat a folyamatokat értjük, amelyek fény fejlődése és láng képződése nélkül mennek végbe, ezzel szemben az égés (tűz) alatt azokat értjük, amelyeknél az éghető anyag tűzjelenséggel: láng vagy parázs képződésével oxidálódik. Tűzről tehát akkor beszélünk, ha a kémiai reakció alkalmával lángképződést, illetve parázlást és intenzív hőmennyiség keletkezését észleljük.

A kémiai reakció a molekulák ütközése során megy végbe. Az ütközésnél a molekulák úgy közelítik meg egymást, hogy az egyik molekula atomjai és elektronjai a másik molekula elektromos terébe kerülnek, ezáltal létrejön annak a feltétele, hogy az egyik atomból az elektronok a másik atomba menjenek át, a molekulák átrendeződjenek, és új molekulák keletkezzenek. A kémiai reakció létrejöttének szükséges feltétele tehát a reagáló molekulák ütközése.

Minél több molekula van a térfogatban – vagyis minél nagyobb a koncentrációjuk –, annál nagyobb az ütközések száma, és ennek következtében nagyobb a reagálásuk sebessége is. A kémiai reakciók energia felszabadulásával vagy energia elnyelésével járnak együtt. Minden kémiai folyamatban nemcsak anyagi átalakulások, hanem energiaváltozások is végbemennek. Amikor egy vegyi folyamatban hő szabadul fel, akkor exoterm, hőfogyasztás esetén pedig endoterm folyamattal van dolgunk.⁷

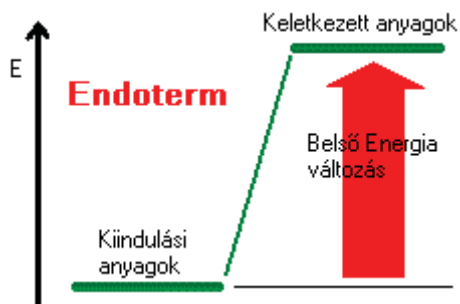
Az exoterm reakciók hőt adnak le a környezetnek. Az említett reakció fogalmába tartozik majdnem minden égési (oxidációs) folyamat. Az egy pontban keletkezett hőfelszabadulás következtében kiterjedhetnek a reagáló (éghető) anyag teljes tömegére. (Lásd: Gyulladásí folyamat.)



8. ábra: Exoterm folyamat energiaviszonyai

⁷ Exoterm, endoterm: görög eredetű szavak: exo = kifelé, endo = befelé, termos = meleg.

Az endoterm reakciónál nemcsak egy pontban és nemcsak a reakció megindításához van szükség hőközlésre, hanem folyamatosan, a reakció lefolyásának egész időtartama alatt. A külső hővezetés megszüntetésével az endoterm reakció megszakad. Ez a folyamat ritkán fordul elő. Ide tartozik például a klóroxid (Cl_2O) képződése klórból és oxigénből, az acetilén keletkezése (C_2H_2) grafitból és hidrogénből stb.



9. ábra: Endoterm folyamat energiaviszonyai

1.3.2 Az égés feltételei

Az égés csak akkor indulhat meg és maradhat fenn, ha éghető anyag, a levegő megfelelő mennyiségű oxigénje (vagy más oxidáló anyag van jelen), valamint az égés megindulásához szükséges gyulladási hőmérséklet egy időben és egy térben megtalálható. Az égési feltételek ezek szerint a következők:

- éghető anyag,
- égéshez szükséges oxigénmennyiség,
- megfelelő hőmérséklet,
- a három feltétel egy időben és egy térben való megléte.

Azért, hogy az égés folyamatát jobban megértsük, a továbbiakban részleteiben is áttekintjük a fenti feltételeket.

1.3.3 Éghető anyag

Éghetőnek nevezzük azokat az anyagokat, amelyek oxigénnel, hőfejlődés mellett egyesülnek. Éles határt vonni az éghető és nem éghető anyagok között nem lehet, mert vannak fémek (például alumínium, vas) amelyek tömör (tömb) állapotban nem vagy csak igen nehezen égnak, poralakban azonban robbanásszerű sebességgel égnak el. Az éghető szilárd és cseppfolyós halmazállapotú anyagokban találunk olyan anyagokat, amelyek hő hatására gőzök és gázok formájában távoznak el, és láng formájában elégnak. Ugyanakkor vannak olyan éghető anyagok is, amelyek a hő hatására nem bocsátanak ki magukból éghető anyagokat, hanem közvetlenül az oxigénnel egyesülnek. Ebben

az esetben nem lángolás, hanem izzás tapasztalható (például magnézium, alumínium, kokszt égése alkalmával).

A fentiek alapján tehát az anyagokat éghetőségük alapján a következő csoportba lehet sorolni:

Éghetőek azok az anyagok, amelyek tűz vagy hő hatására lángra lobbannak, parázslanak vagy szenesednek és a tűzforrás eltávolítása után is tovább lángolnak, parázslanak vagy szenesednek.

Nehezen éghetőek azok az anyagok, amelyek tűz vagy hő hatására lángra lobbannak, parázslanak vagy szenesednek, de a tűz vagy hőforrás eltávolítása után a parázslás vagy szenesedés megszűnik.

Nem éghetőek azok az anyagok, amelyek tűz vagy hő hatására nem lobbannak lángra, nem parázslanak, és nem szenesednek.



10. ábra: Példák éghető és nehezen éghető anyagok csoportjára

1.3.4 Az égéshez szükséges oxigénmennyiség

Az égési folyamat megindulásához és lefolyásához levegőre (oxigénre) van szükség. Köztudomású, hogy a levegő 21%-os oxigéntartalma az égéshez elegendő; ha azonban – főleg zárt térben lévő tüzek alkalmával – az oxigén mennyisége 18–14% alá esik, akkor a legtöbb esetben tökéletlen égésről beszélünk. Ha az oxigéntartalom 10% alá esik, a lánggal való égés az esetek többségében megszűnik.

Az égéshez szükséges oxigénmennyiség a különböző anyagok esetén más és más, ami általában az éghető anyag vegyi összetételétől függ. Azt, hogy zárt helyiségben a tökéletlen égés és ennek következtében az égési sebesség csökkenése mikor következik be, az égő anyag oxigénfelvétele (az égéshez szükséges oxigénmennyisége) szabja meg.

Az oxigénszükséglet terén finomítani kell a fenti megfogalmazást. Kísérletek bizonyították, hogy egyes anyagok égése 15 tf%-os oxigéntartalomnál megszűnik, míg másoké 5 tf% oxigénjelenlétig zajlik, sőt vannak olyan anyagaink is, amelyek szabad oxigén jelenléte nélkül, például szén-dioxidban is hajlandók égni olyan áron, hogy miközben önmaguk oxidálódnak, a szén-dioxid szénét redukálják. Tehát az oxigénszükségletet, mint feltételt az alábbiak szerint kell módosítanunk: Az égéshez szükséges megszerzhető

oxigén, amely levegő esetén az égő anyag minőségétől függő $t^0\%$ -os összetételt jelent. Ennek a mérőszámára az ún. oxigén index.

Különböző éghető anyagok elméleti levegőszükséglete a 4. táblázaton látható.

4. táblázat

Anyag megnevezése	1 kg éghető anyag elméleti levegőszükséglete	
	kg	m ³
Fa (száraz)	5,9	4,6
Kőszén	10,4-11,5	8,8-8,9
Ásványolaj	14	10,8
Vezetékes gáz	6,5	5
Acetilén	15,4	11,8
Metán	12,3	9,5

Vannak azonban olyan éghető anyagok is, melyek meggyulladásához és égéséhez nem szükséges a levegő oxigénje. Ezek az anyagok az ún. oxigénhordozók. Az oxigénhordozó anyagok összetételében vegyileg lekötött állapotban megtalálható a gyulladáshoz, illetve égéshez szükséges oxigénmennyiség. Ebbe a csoportba tartoznak a robbanóanyagok is.

Például a nitromanit bomlása a következő:



A robbanóanyagban lévő oxigén először a szénnek széndioxidá történő oxidációjához használódik el. Ezután az oxigénmaradék egyik fele a szénmonoxiddal széndioxidá, a másik fele hidrogénnel vízzé kötődik le. Ezek az anyagok hő vagy ütés hatására oxigénjüket leadva robbanásszerűen égnek el. Az említett példa azt bizonyítja, hogy egyes anyagok elége levegő hiánya esetén is létrejöhet.

1.3.5 Megfelelő hőmérséklet

Ahhoz, hogy az égés létrejöhessen – tehát hogy az éghető anyagból az égési gőzök és gázok eltávozzanak, vagy egymással egyesülni tudjanak –, az anyag tulajdonságait figyelembe véve különböző hőmennyiségre, pontosabban a gyulladási hőmérsékletre van szükség.

Anélkül, hogy mennyiségi összefüggésekre kitérnénk, utalni kell arra, hogy a reakciósebességnek (égési gőzök és gázok felszabadulása és égése) a hőmérséklettől való függése a legtöbb reakciónál igen nagy. Ha a reakciót fizikai folyamat nem fékezi, akkor sebességét csak a kémiai reakció sebessége határozza meg.

A hőmérséklet növekedésének hatására a kémiai reakció sebessége exponenciálisan növekszik. A hőmérséklet 10 °C-kal való emelkedése alkalmával a reakciósebesség 2–4-szeres, ha a hőmérséklet 100 °C-kal emelkedik, akkor a reakciósebesség 3^{10} (59 049)-szeresére nő!

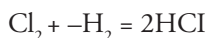
1.3.6 A három feltétel egy időben és térben való megléte (láncreakció)

Az égés – a már említett három feltétel megléte esetén is – csak akkor jön létre, ha azok egy térben és egy időpontban vannak jelen. Ismert, hogy az éghető anyagok legnagyobb része a hőmérséklet intenzív emelkedésének hatására egyszerűbb anyaggá, atomokra, gyökökre bomlik szét. Az éghető anyag tehát újabb anyaggá alakul át. A felszabadult atomok, gyökök ütközése következtében az oxigénnel és egymással egyesülve – esetleg újra felbomolva – láncolatot hoznak létre.

A láncreakciónál tehát az éghető anyagok végtermékké történő átalakulása számos közbeeső fokozaton keresztül megy végbe. Az aktív molekulák kezdeti reakciója szolgáztatja általában azokat a közbeeső termékeket, amelyek a láncc kezdetét alkotják, és a láncreakció további folyamán a végtermékeket képezik. Az aktív anyagok keletkezési folyamatát lánckeletkezésnek, az aktív anyagok inaktiválódási folyamatát pedig lánctörésnek nevezzük. A láncreakció közbeeső termékeként nemcsak atomok jelentkezhetnek, hanem bizonyos kémiai vegyületek és szabad gyökök is. A gyökök és atomok a kiindulási anyagok összetétele és szerkezete szerint igen különbözőek. A közbeeső termékek nagyon hajlamosak a reakcióra, és „aktívcentrum”-ként képesek a láncreakció folytatására. A szabad gyökök nagyon könnyen reagálnak a telítetlen molekulákkal, mert az ilyen reakció aktiválási energiája nagyon csekély.

Az atomok és gyökök, a láncreakció aktív közbeeső termékei nemcsak úgy keletkezhetnek, hogy a molekulák a sugárzó energia meghatározott mennyiségét (kvantumját) elnyelik, hanem bizonyos kémiai reakciók következtében is.

A láncreakciók elágazó és el nem ágazó láncolatot képeznek. Tipikus el nem ágazó láncreakció a klór és a hidrogén közötti (klór-durranó) gázreakció. Ennek a reakciónak az aktívcentrumai a klór- és hidrogénatomok. Kémiai egyenlete:



A láncreakció elmélete szerint azonban mindez nem ilyen egyszerűen megy végbe, de a reakció összetett lefolyását itt nem részletezzük.

A láncreakció elmélete és ennek ismerete megmutatja a reakció kinetikáját, tisztázza a folyamat öngyorsulásának okát, és pontosabbá teszi a reakcióban résztvevő aktiválásról alkotott elképzeléseket.

1.4 A gyulladás folyamata

Maga az égés folyamata az anyag mélyreható átalakulásával kapcsolatos, megváltoztatja annak tulajdonságait, és ezért elsősorban kémiai folyamatnak tekinthető, azonban ez a kémiai átalakulás a fizikai jelenségek egész sorával kapcsolatos. Ezek szerint az égés bonyolult fizikai-kémiai folyamat, amely a kémiai reakciók és különböző fizikai jelenségek kölcsönhatásaként megy végbe. Az égés időbeli lefolyását sok esetben nem a kémiai reakció bekövetkezésének, hanem csak a tiszta fizikai folyamatok lezajlásának sebessége határozza meg (például kinetikai égés).

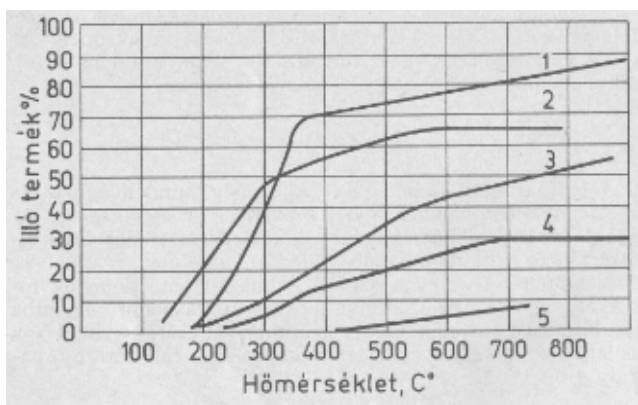
Az éghető anyagok a megfelelő hőemelkedés hatására sokféle fizikai és kémiai természetű változásokat szenvednek. Az ilyen változások az egész anyagra – tehát mind az égő, mind a nem éghető részekre – kiterjedhetnek.

1.4.1 A gyulladás előtti fizikai változások

A legfontosabb fizikai változás, amely minden éghető és égési anyagban végbemegy, a hőmérséklet emelkedése. Az éghető anyag hőmérsékletének növekedése számos alakváltozást okoz (halmazállapot-változás), amelyek részben az égés előfeltételei. Így a szilárd halmazállapotú anyagok folyékony és gáznemű, illetve közvetlen gáznemű állapotba (szublimálás) mennek át. Az említett változások nélkül sok szilárd éghető anyag nem lenne képes égni (például kátrány, pakura).

1.4.2 A gyulladás előtti kémiai változások

A kémiai változások bekövetkezésének előfeltétele az éghető anyag hőmérsékletének emelkedése olyan mértékig, hogy a megfelelő kémiai reakció észrevehető sebességgel folyjon le. Az égés feltételei című fejezetben már megtárgyaltuk (a megfelelő hőenergia



11. ábra: Az anyagok bomlása hő hatására

mennyiségnél), hogy a hőmérséklet emelkedésével a kémiai reakció jelentősen meggyorsul. Tehát minél magasabb a hőmérséklet – a gyulladási pontot figyelembe véve –, annál nagyobb a kémiai reakció gyorsasága, illetve az égési gőzök és gázok kiáramlása (bomlása) az éghető anyagból.

Különböző éghető anyagok hevítése során távozó égési gázok és gőzök mennyisége a hőmérséklet emelkedésének függvényében, a 4. ábrán található (1. fa, 2. lignit, 3. barnaszén, 4. gázszen, 5. antracit). Az ábrán látható, hogy a bomlási folyamat a gyulladáspont eléréséig a legintenzívebb. Utána az égési sebesség növekszik a hőmérséklet emelkedésével, tehát a tűz terjedése meggyorsul. (11. ábra)

Az éghető anyagok leggyakoribb kémiai elváltozásának egyik formája a hőmérséklet hatására történő bomlás. E kémiai jelenség magyarázata az, hogy magasabb hőmérsékleten a szerves anyagok egyszerűbb anyagokká bomlanak. Ez az ún. bomlási hőmérsékletet is meghatározza. Néhány szilárd éghető anyag bomlási (gázosodási) hőmérséklete a következőkben látható:

Éghető anyag	Gázosodás °C	Éghető anyag	Gázosodás°C
Lignit	100–110	Tőzeg	kb. 110
Fa	kb. 160	Koksz-szén	kb. 390
Barnaszén	130–170	Soványszén	kb. 300

A bomlás kezdete után az anyag kémiai összetétele is érthetően megváltozik (például elszenesedik). A fa kémiai összetétele a bomlási hőmérséklettel összefüggésben az 5. táblázatban látható.

5. táblázat

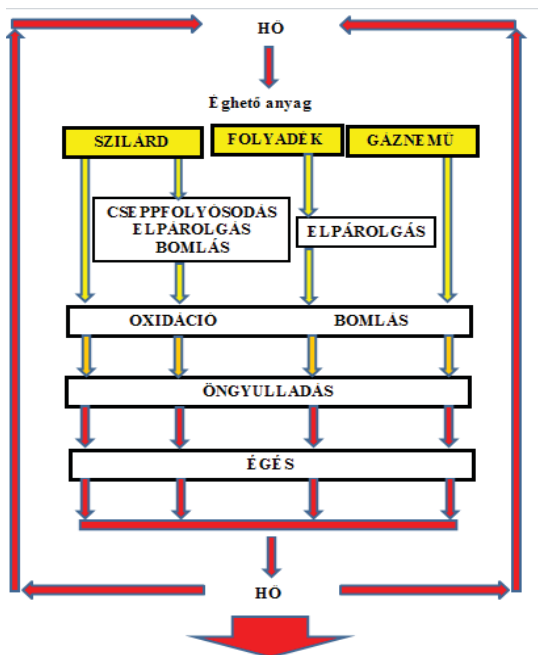
Bomlási hőmérséklet °C	Szén %	Hidrogén %	Oxigén %
110	50,8	8,2	43,2
150	51,7	5,9	42,4
200	54,5	5,3	40,2
250	60,5	4,9	34,6
300	72,8	4,3	20,0
400	80,2	3,5	18,3
500	89,0	2,85	8,15
800	94,3	2,2	3,5
700	95,5	1,6	2,9

1.4.3 A meggyulladásási folyamat

Az anyagok égése gyulladással kezdődik, tehát a tulajdonképpeni égést a gyulladási folyamat előzi meg. Ez a periódus az éghető anyag hőfelszabadulással járó lassú oxidációja. A hőmérséklet emelkedésével a reakció felgyorsul – az ismert feltételek mellett –, és az anyag meggyullad, azaz lánggal ég. A gyulladás következtében a reakció hirtelen, ugrás-szerűen átlépi a tulajdonképpeni égés stádiumát. Visszatérve a gyulladási folyamat kezdetére, a meggyulladás gyulladásra képes rendszert feltételez. Ez vagy jelen van (például gáz formájában), vagy a hőmérséklet emelkedése következtében képződik (égési gőzök, gázok). Az éghető anyag meggyulladása gyulladásra képes rendszerben, térben elhatárolt helyen megy végbe. Ezt a tértartományt gyulladási fészeknek nevezzük.

Gyulladásnak nevezzük az olyan gyújtóforrás által bevezetett égés kezdetét, amelynek hőmérséklete észrevehetően magasabb az anyaggyulladás pontjánál. Az éghető anyag meggyulladását láng, szikra, nyomás stb. indíthatja el. Azt a hőmérsékletet, amelyre az éghető anyagot hevíteni kell, hogy ezáltal önmagától meggyulladjon, gyulladási hőfoknak nevezzük. Meghatározható a gyulladási hőfok másként is: az a legalacsonyabb hőmérséklet, amelyen az égés külső hőközlés nélkül terjed tovább.

A legtöbb éghető anyagnál a gyulladást lángkeletkezés jellemzi, de a láng nélkül égő anyagoknál ezt a pontot a sötétvörös izzás jelenti (faszén izzása). Az éghető anyagok felmelegedésénél végbemenő folyamatok vázlatos ábrázolása a gyulladás megkezdésének bekövetkezéséig a 12. ábrán látható.

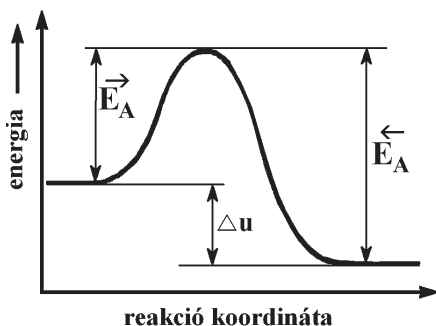


12. ábra: Éghető anyagok változása hő hatására

1.4.4 A gyulladást előidéző aktiválási energiák formái

Minden égés elindításához bizonyos jellemző aktiválási energia szükséges. Az aktiválás energiefelvételt jelent, vagyis a molekulákkal először megfelelő nagyságú energiát kell közölni, hogy reakcióképes állapotba jussanak. Például egy erősen robbanékony durranógáz-elegy addig teljesen ártalmatlan, amíg nincs gyújtás. Ebből a tényből szükségszerűen következik, hogy a molekulák vagy atomok nem mindig reakcióképesek, többnyire csak valamilyen belső vagy külső befolyás hatására kerülnek reakcióképes állapotba. Az aktiválási energia – az adott hőmérsékleten vett közepes értékhez viszonyítva – az a minimális belső energiatöbblet, amely a molekulát aktívává teszi.

A kémiai kölcsönhatás valószínűsége attól függ, hogy milyen a molekulák állapota az ütközés pillanatában, és milyen hosszú az ütközés időtartama. Hatása azonban csak olyan molekulák ütközésének lesz, amelyeknek az ütközés pillanatában az adott hőmérséklethez tartozó közepes értékhez viszonyítva megfelelően nagyobb az energiájuk. Az ilyen molekulákat aktív molekuláknak nevezzük.



13. ábra: Az aktiválás energiaviszonyainak elvi vázlata

Annál könnyebben és gyorsabban megy végbe a reakció, minél kevesebb aktiválási energiára van szükség. Azok a reakciók, amelyekben szabad atomok vesznek részt, igen nagy sebességgel mennek végbe, és csak csekély aktiválási energiát igényelnek. Aktiválásra általában a hőenergia szolgál. A gyulladáshoz szükséges energiának azonban sok egyéb formáját is ismerjük, összességében ezek a következők:

- mechanikai aktiválás,
- fotokémiai aktiválás,
- kémiai (vegyi) aktiválás.

A következőkben áttekintjük és bemutatjuk a fenti aktiválás formáit.

1.4.4.1 Mechanikai aktiválás

Dörzsölés, súrlódás azon a helyen jön létre, ahol két mozgó felület érintkezik egymással. Az ősember kezdetleges tűzcsiholásától a mai modern kor legújabb öngyújtójáig mindig

a dörzsölés-súrlódás volt a tűzgyújtás klasszikus módja. Minél erőteljesebb a dörzsölés vagy ütés, annál nagyobb az általa termelt hő. A mozgás közben az érintkező felületek (például csapágyak, tengelyek stb.) esetén a felület áttüzesedik, esetleg meg is olvad. Ha az ilyen áttüzesedett részek éghető gázokkal, olajos ronggyal vagy a levegőben lebegő éghető porral érintkeznek, az könnyen tüzet, sőt, akár robbanást is okozhat. Ütés, lökés, esés különösen robbanásveszélyes anyagoknál – szikrázás létrejöttével – okozhatja tűz, illetve robbanás keletkezését. Fémkalapáccsal vagy fémtárggyal eszközölt ütés is idézhet elő robbanást (például benzines hordó nyitása).

Mechanikai aktiválásról akkor beszélünk, ha mechanikai munka (például ütés, súrlódás) alkalmával a mozgási energia hőenergiává alakul át, és ez a hőmennyiség képes biztosítani a gyulladáshoz szükséges hőenergiát, illetve aktiválási energiát.

1.4.4.2 Fotokémiai aktiválás

Fényenergia hatására gyakran kémiai változás is végbemegy. A vegyi anyagok fényenergiát nyelhetnek el, amely az elnyelő atomot vagy molekulát nagyobb energiájú, ún. gerjesztett állapotba viszi. A gerjesztett állapotban lévő részecske nagyobb energiája folytán reakcióképesebb a normális állapotú részecskénél.

A fény hatására tehát végbemehetnek olyan ún. fotokémiai reakciók, amelyek sötétben nem következnek be; ezek némelyike gyakorlatilag is nagy fontosságú. Einstein mondta ki először, hogy a fotokémiai folyamat elsődleges aktusa a gerjesztés, ami nem más, mint egy kvantum sugárzó energia (hősugárzása alatt) felvétele a molekula vagy atom által.

Ilyen fotokémiai átalakulás játszódik le, amikor a széndioxid asszimilációja termeli a zöld növényekben a szénhidrátokat széndioxidból és vízből, oxigén felszabadulása kíséretében.

Előfordulhat, hogy fény hatására tűz, esetleg robbanás keletkezik; például a klór és hidrogén 1:1 elegyét sötétben tetszés szerinti ideig lehet tárolni, ha azonban a gázelegyet napfény vagy ibolyántúli sugárzás éri, akkor a reakció (égés) nagy hőfejlődés közben robbanásszerűen megy végbe. Ebben az esetben is fotokémiai aktiválásról van szó.

1.4.4.3 Kémiai (vegyi) aktiválás

Vannak anyagok, melyek kölcsönösen kémiai reakcióba lépnek egymással, és a fejlődő hő következtében meggyulladnak, például a víz és nátrium érintkezése alkalmával a kémiai átalakulás következtében a felszabaduló hidrogén – a képződött hő hatására – robbanásszerűen ég el.

Az anyag meggyulladása után az aktiválási energia mintegy 90%-a eltávozik áramlás, sugárzás útján, vagy elvezetődik hővezetés formájában, és csak mintegy 10%-a vesz részt az égés további fenntartásában. Az égési reakció megindulása után általában elegendő hőenergia szabadul fel és áll rendelkezésre a további égés (aktiválás) fenntartására. Ezért nem szükséges, hogy az égési reakció lefolyásának egész időtartama alatt az égéshez külső hőenergiát vezessünk.



14. ábra: Alkáli fémek, például nátrium heves reakciója vízzel

1.4.4.4 A fa meggyulladásának folyamata

A gyulladási folyamatot a fa meggyulladásán keresztül vizsgáljuk meg, figyelmen kívül hagyva annak fajtáját és nedvességtartalmát, amely természetesen jelentősen befolyásolja a gyulladást.

A fa égése során három szakaszt különböztetünk meg: gyulladást, égést és utóizzást. A gyulladás kialakulása után az oxigénnel telt környezetben jelentős hő- és gázfejlődés megy végbe heves fényjelenségek kíséretében, mely folyamat addig tart, míg közbe nem avatkozunk, vagy az összes éghető alkotórész el nem ég.

1. A gyulladás fázisai

- **Vízvesztés.** 100–110 °C-ig alig észrevehető kémiai folyamatok játszódnak le a faanyagban, miközben folyamatosan elveszti a szabad, majd a kötött víztartalmát.
- **Elszíneződés.** 110–150 °C között a kémiai folyamatok felgyorsulásának következtében, barnás, majd egyre feketébb elszíneződés megy végbe. Továbbá ebben a hőmérséklet tartományban válnak ki az illóolajok, mint például a terpentin a fenyőből.
- **Szenesedés.** 150–200 °C között a hosszú cellulóz molekulák feldarabolódása zajlik le, melynek eredménye, hogy az égéshez szükséges gázok képződése és a felületre jutása felgyorsul, és ezzel egy időben megindul az intenzív faszénképződés.
- **Lobbanáspont.** 200–260 °C között változik, és egyben megnő a felszínre kerülő bomlástermékek összetétele és mennyisége. Szénmonoxid, hidrogén, metán gázok szabadulnak fel, melyek hő, szikra vagy gyújtóláng hatására belobbannak Ezt az állapotot lobbanáspontnak nevezzük.
- **Gyulladás.** 260–290 °C között az égéshez szükséges gázok keletkezése olyan intenzív, hogy az égés folyamatossá, a folyamat fenntarthatóvá válik.

- Öngyulladás. 330–370 °C között bekövetkezik a felszabaduló gázok gyújtóláng nélküli égése, azaz a fa öngyulladása. A folyamat csak abban az esetben valósul meg, ha a környezetben elegendő oxigén áll rendelkezésre.

2. Az égés fázisai

- Égés. 400–500 °C között egyre fokozódik hőmérséklet emelkedés, és a gázképződés eléri a maximumát.
- Faszén égése. 500 °C felett csökken a gázképződés, a már elszenesedett fa részek meggyulladnak és elégnek. Megerősödik a hőtermelő (exoterm) folyamat, és a hőmérséklet elérheti a 1000–1200 °C-ot.

3. Az utóizzás fázisai

- Utóégés. Az éghető anyagok elfognak, ezt követően a hőmérséklet hirtelen lecsökken.
- Kihülés. A hőmérséklet folyamatos csökkenése, végül hátra marad a 0,2–1,0% éghetetlen anyag, a hamu.

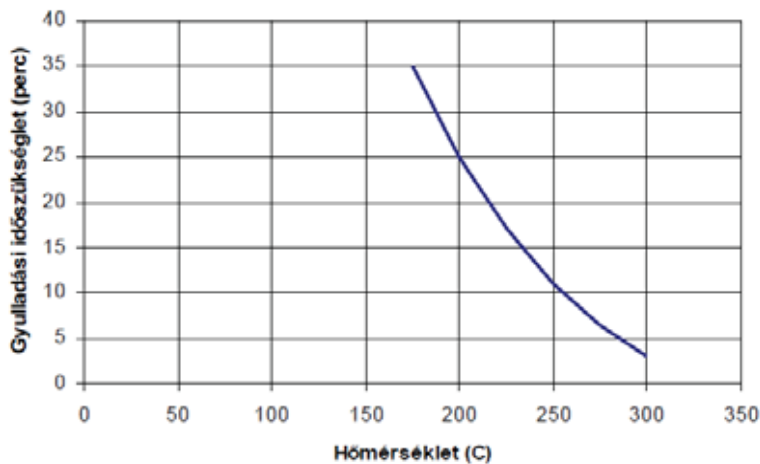


15. ábra: A fa égésének fázisai

A fa rossz hővezető (a hő nem vezetődik el), így a hőmérséklet a közlés helyén gyorsan tud emelkedni. Ez fizikai változást jelent. A hőmérséklet 150 °C-ra emelkedésével megkezdődik a fa kémiai bomlása, vagyis különböző gőzök és gázok távoznak. Az itt felszabaduló anyagok még nem gyulladnak meg, mivel ezek mintegy 60%-a nem éghető (például $\text{CO}_2 = 60\%$, $\text{N}_2 = 3\%$). A hőmérséklet növekedésével ez az arány fokozatosan eltolódik az éghető gőzök és gázok javára, így 260 °C körüli hőmérsékleten már ezek dominálnak (például $\text{CO}_2 = 25\%$, $\text{H}_2 = 30\%$, $\text{CH}_4 = 33\%$). Látható, hogy a bomlás kezdetétől, különösen pedig az égés alatt lassan megváltozik a faanyag összetétele, a hidrogén- és oxigéntartalom csökken, a széntartalom pedig nő. 400–500 °C hőmérsékleten a fa már annyi szenet tartalmaz, hogy a gáznemű bomlástermékek fejlődése erősen csökken. 500 °C felett a gázképződés már igen kis méretű, és ennek az a következménye, hogy a fa lánggal való égése megszűnik, és megkezdődik a faszén láng nélküli égése (izzása). A fentiek alapján a faanyagok elégését a gázképződés szempontjából két periódusra lehet osztani:

- a gáznemű bomlástermékek lángképződéssel való égése,
- a faszén láng nélküli égése.

Feltétlenül meg kell jegyezni, hogy a gyulladási folyamat a szilárd és cseppfolyós halmazállapotú anyagok esetében – kevés kivétellel – megegyezik a példának említett fa gyulladásával. Eltérés a hőmérséklet nagyságánál található, mivel minél magasabb hőmérsékleten jön létre az ún. égési fészek, annál magasabb az anyag gyulladási hőmérséklete is. A tűz terjedését tehát az égés első periódusában a tűzfészek magas hőmérséklete és a láng erős hősugárzása okozza. Tűzoltás alkalmával a lángolást kell először megszüntetni, mert ezáltal a tűz gyors terjedését megakadályozzuk.



16. ábra: A gyulladási idő szükséglete a hőmérséklet függvényében

1.5 Az égés továbbfejlődése

A gyulladási fészekben a gyújtóforrás megszűnése után az égés vagy megszűnik, vagy továbbterjed. Az égésnél az égési felület és a friss gázréteg felmelegedése legtöbb esetben hősugárzás útján jön létre. Az égéshullámon átvándorló gázzészecske először hőt veszít az előtte lévő hidegebb részecskék felmelegítése miatt, de ugyanakkor hőt nyer az utána következő melegebb részecskék hőátvétele következtében.

Az égési sebesség a kémiai reakció lefolyásának sebességétől és a fellépő szállítási együttható nagyságától függ. A kémiai reakció nagyságát meghatározó tényezők általában ismertek. A szállítási együttható nagysága attól függ, hogy milyen gyorsan képes átadni, illetve átvenni az egyik molekula a másiktól azt a hőenergia-mennyiséget, amely az adott anyag meggyulladásához szükséges. Ismert, hogy ezt a folyamatot sok tényező befolyásolja (például nedvességtartalom, fűtőérték, gyulladáspont). Vannak olyan égési folyamatok is (robbanás), amelyek 1000–3000 m/s sebességgel folynak le.

1.5.1 Láng

Az összes folyékony és gáznemű, valamint a legtöbb szilárd éghető anyag lángképződés közben ég el. Ugyanis olyan anyagok égésénél képződik láng, amelyek elpárolognak, vagy gáznemű anyagok fejlesztésével elbomlanak. A láng az a tér, amelyben a gőzök és gázok elégeése történik. Láng nélkül ég (izzik) néhány szilárd anyag (például grafit, koks, korom). A legtöbb ilyen anyag nem bomlik el, és ezért nem képes gázalakú bomlási terméket kibocsátani. A koks vagy faszén égésénél azonban több esetben kék színű láng figyelhető meg. Ez a jelenség a keletkező szénmonoxid égésére vezethető vissza, amely az (izzó) égés alkalmával felszabadul.

1.5.2 A láng szerkezeti felépítése

A lángban három réteg különböztethető meg; amelyek ugyan élesen nem határolhatók el egymástól, azonban a gázösszetétel, a végbemenő folyamatok, az uralkodó hőmérséklet és más sajátosságok szerint eltérnek egymástól.

A láng belső rétege gőzökből és gázokból áll, amelyek az éghető anyag felmelegedésekor fejlődnek. Ebben a rétegben nem megy végbe égés, ezért az uralkodó hőmérséklet – a többi térhez viszonyítva – alacsony. Itt kezdődik a nagy molekulájú gőzök és gázok kisebb molekulákká való bomlása.

A láng második rétegében részben oxidálódnak, azaz tökéletlenül elégnak a gőzök és gázok, mert csak korlátozott mennyiségű levegő (oxigén) jut ebbe a zónába. A hőmérséklet már lényegesen magasabb, mint az előző rétegben, és radiálisan kifelé haladva folyamatosan növekedik, amíg a következő réteg határánál megközelíti vagy eléri a maximális értéket. A tökéletlen égés következtében itt szabad elemi szén keletkezik, amely fehér izzásig felhevül, és fényesen világít. Tehát a második réteg sugározza a fényt és teszi láthatóvá a lángot.



17. ábra: A láng szerkezeti felépítése, zónái

A láng harmadik rétegében elégnak a második rétegben képződött termékek. Itt ég el a szénmonoxid és a hidrogén is, amelyek lángja ismeretesen kék, és csak alig észrevehető fényt bocsát ki. A láng hőmérséklete ebben a részben átlagosan magasabb, mint a második rétegben. A legnagyobb hőmérséklet a második és harmadik rész között figyelhető meg, pontosan nem meghatározható, annak reológiai görbéje folyamatosan változik. A levegő oxigéntartalmának csökkenése az égési reakció elhúzódását jelenti, amelyszükszerűen a lángtér növekedéséhez vezet.

Szilárd és folyékony anyagok égésénél az anyag felmelegítésére, cseppfolyósítására, elbomlására a szükséges hőt a sugárzás vezeti oda: ilyenformán a láng hőszolgáltató. Hőmérséklete különböző rétegekben és magasságokban változó.

Ha a láng hőszállítása valamilyen módon megszakad, akkor az égési folyamat a lehűlés következtében kis idő múlva megszűnik. Csak lánggal való égés esetén ez a folyamat az égés teljes megszűnéséhez vezet. Szilárd anyagok égésénél a láng megszűnése nem minden esetben okozza az égés megszűnését is. Ha az anyag felületén izzó részek (parázslás) vannak, akkor a lángolás megszűnése után a továbbfejlődő gőzök és gázok újból meggyulladhatnak. Néhány jellemző gáz lánghőmérséklete levegőben és oxigénben:

6. táblázat

Éghető gázok lánghőmérsékletei (°C)		
	levegőben	oxigénben
acetilén	2200	3205
hidrogén	2130	3150
metán	1950	3020
szén-monoxid	2095	2675

1.5.3 A láng színe, lángfestés

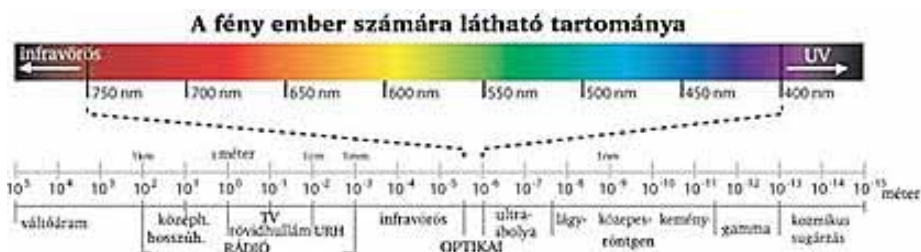
1.5.3.1 A fény mint elektromágneses sugárzás

Fénynek nevezünk minden olyan elektromágneses sugárzást, amely látásérzetet vált ki bennünk. Az elektromágneses sugárzások legfontosabb jellemzője a hullámhosszúságuk, melyet nanométerben (nm) határoznak meg. Ez a hullámhosszúság azért is fontos, mert mi, emberek csak bizonyos hullámhosszúságok közé eső elektromágneses sugárzásokat vagyunk képesek érzékelni. A 380–780 nm-es hullámhosszúságú sugárzások váltanak ki bennünk látásérzetet, míg az e tartományon kívül eső sugárzásokat, mint például az UV sugárzást vagy az IR sugárzást, már nem érzékeljük. A látható sugárzásokat, vagyis a fényt, az UV sugárzást, valamint az IR sugárzást együttesen nevezzük optikai sugárzásoknak.

Az, hogy egy adott sugárzáseloszlás milyen színérzetet vált ki belőlünk, a sugárzás hullámhosszúságától függ. Különböző hullámhosszúságokhoz más és más színérzet tartozik. A vörös, zöld, sárga, és kék színeket „elemi színeknek” nevezzük, mivel ezeket a színeket

„tisztának”, nem pedig két szomszédos spektrumszín keverékének érezzük. A különféle színek keverésével újabb színek hozhatók létre. A színek keverésére alapvetően kétféle módszert ismerünk: az additív színkeverést, valamint a szubtraktív színkeverést.

- Az additív színkeverés nem más, mint a kromatikus fény színíngerek keverése. Alapszínei a vörös, a zöld és a kék.
- A szubtraktív színkeverés az anyagi színek, mint például festékek, színes folyadékok keverése. Alapszínei a cián, a magenta és a sárga.



18. ábra: Az elektromágneses sugárzás hullámhossz tartományának felosztása

1.5.3.2 A láng színe

Igen sok gáz és gőz, amelynek égésénél csak légnemű égéstermékek keletkeznek, színtelen vagy enyhén kékes színű lánggal ég. Ilyen például a hidrogén vagy az alkohol. Más gázok és gőzök, amelyek az égés során szilárd részecskéket is kibocsátanak magukból, erősen világító lánggal égnek. Találhatunk ezek szerint világító és nem világító lángot. Világító láng a fa, papír és egyéb, szénben gazdag anyagok égésénél képződik. Tűzeset alkalmával a legtöbbször ilyen jellegű lánggal találkozunk. Nem világító láng a hidrogén, szénmonoxid, és más, szénben szegény vagy szénmentes anyagok égésénél keletkezik. Az ilyen anyagok lángja gyengén kékes színezetet mutat, és nappali fénynél alig vehető észre. A nem világító lángot világítóvá lehet tenni, ha a lángba olyan szilárd anyagokat teszünk, amelyek nem égnek, de izzásba jönnek, és világítanak. A lángolás színéből következtetni lehet arra, hogy mi ég; például a hidrogén lángja gyengén kékes színű, vagy a fémeket, fém sókat tartalmazó anyagok kékeszöld színű lángot adnak, míg a petróleum sötétvörös lánggal ég.

1.5.3.3 Lángfestés

A lángfestés kémiai magyarázata abban rejlik, hogy hő hatására az atomok külső pályáin lévő elektronok gerjesztődnek, magasabb energiaszintre jutnak. Ezen a szinten azonban nem tudnak tartósan megmaradni, és a felvett energiát fény formájában adják vissza a környezetüknek. Az, hogy az egyes atomok különböző színű fényt emittálnak, annak köszönhető, hogy a felvehető, illetve a kisugározható energia mennyisége kvantált (tehát csak egy meghatározott érték lehet), és az egyes atomok esetében különböző. A fény energiája pedig a hullámhosszától függ, ami pedig a színét határozza meg.



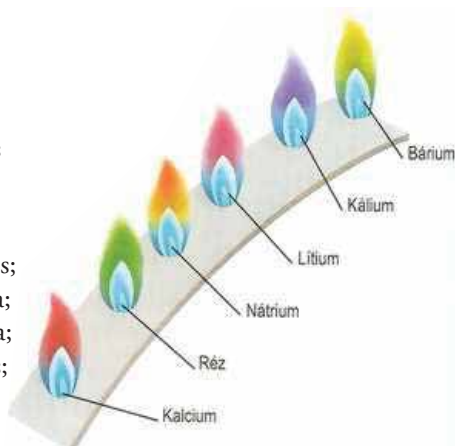
19. ábra: Lángfestés laboratóriumi körülmények között

Fémsókkal a lángot sokféle színre lehet színezni:

- | | | |
|-------------|-----------------------------------|------------|
| – nátrium | NaCl | sárga; |
| – réz | CuSO ₄ | ibolya; |
| – stroncium | Sr(NO ₃) ₂ | vörös; |
| – bárium | Ba(NO ₃) ₂ | zöld; |
| – kalcium | CaCl ₂ | téglavörös |

Néhány jellemző elem lángfestése:

- | | |
|------------------|-------------|
| – Stroncium (Sr) | vörös; |
| – Lítium (Li) | bíborvörös; |
| – Nátrium (Na) | élénksárga; |
| – Kálium (K) | fakóibolya; |
| – Kalcium (Ca) | téglavörös; |
| – Bárium (Ba) | zöld; |
| – Réz (Cu) | zöld/kék; |
| – Ólom (Pb) | fakókék |



20. ábra: Jellegetes elemek lángfestése

A különböző vegyületek (főleg alkálifém és alkáliföldfém sók) lángfestése régóta ismert jelenség, mindenki találkozott már vele élete során néhányszor, legfeljebb nem tudta, pontosan mit is lát. Ezen jelenség áll a tűzijátékok háttérében is, de tapasztalhatjuk akkor is, mikor főzés közben véletlenül az edény helyett a gázrózsába szórjuk a sót, és az addig kék színű láng szép sárga fénnel villan fel, a nátrium lángfestésének köszönhetően.

A lángfestés kémiai magyarázata abban rejlik, hogy a kémiai elemek atomjaiban az elektronok jól meghatározott energiájú állapotban vannak. Az elektronok csak bizonyos energiaszinteken létezhetnek. Egy adott energiaszintről az elektron csak úgy kerülhet valamelyik magasabb szintre, hogy a különbségnek megfelelő energiát felveszi fény (foton) formájában vagy hőátadással. Ez a folyamat a gerjesztés.

Az elektronok igyekeznek a lehető legkisebb energiájú szintre kerülni, ezért a gerjesztés után az energiaszinteknek megfelelő különbség kisugárzása közben visszakerülnek egy alacsonyabb energiaszintre. A kisugárzott energia foton formájában is távozhat az atomból. Ha a foton hullámhossza a látható fény tartományába esik, a szemlélő az adott atomra jellemző színeket vesz észre.

A fémek egy részének atomjait a látható fény fotonjai gerjesztik, így az instabil magasabb energiaszintről visszaérkezve az atomok a látható fény tartományában sugároznak. Ez a lángfestés.

1.6 Az égés fajtái

Az égést különböző jellemzők alapján többféleképpen is csoportosíthatjuk. A következőkben ezeket mutatjuk be.

1.6.1 Az égés sebességének egyszerű felosztása alapján

1.6.1.1 Gyors égés

A gyors égés általában magasabb hőmérsékleten láng vagy fényjelenség és erős hőfejlődés mellett megy végbe. Vannak anyagok, amelyek égésük alkalmával a levegő oxigénjével közvetlenül egyesülnek, és a fényjelenség izzásban nyilvánul meg (például koks, magnézium). A gyors égés jellemző tulajdonsága tehát a fényjelenség és az intenzív hőmérsékletemelkedés.

1.6.1.2 Lassú égés

A lassú égés fényjelenség nélkül és alig észrevehető hőmérsékletemelkedéssel megy végbe. Kivételt képeznek azok az anyagok, amelyek oxidációját – korhadását – a sötétben észlelhető fényjelenség, a foszforeszkálás⁸ kíséri. Egyszerűbb folyamatoknál is találkozhatunk néha fénykibocsátással; így például a foszfor nedvesség jelenlétében való lassú oxidációja sötétben jól látható halványzöldes fény kibocsátása közben megy végbe. Erős sárga fényt kapunk, ha nátriumport és klórt reagáltatunk kis nyomáson. Az említett kémiai folyamatok által termelt fény nem tévesztendő össze a hőszugárzásakor kibocsátott fényvel, amely mintegy 500 °C-on kezd sötétvörös színben mutatkozni, majd a hőmérséklet emelkedésével világosvörös, sárga és végül fehér lesz.

Lassú égés közben az anyagok a gyulladási hőmérséklet alatt általában lassan egyesülnek az oxigénnel. Lassú égés megy végbe az élőlények szervezeteiben, a korhadásnál és a vas rozsdásodásánál is. A lassú égés alkalmával ugyanannyi hő fejlődik, mint a gyors égésnél, de a hőfejlődés lassúbb, így a hőt a környezet gyorsan elvezeti.

⁸ Foszforeszkálás: görög eredetű szó, jelentése: fénykibocsátás.



21. ábra: A gyors égés és a lassú égés kontrasztja

A felsorolás alkalmával megemlítettük, hogy az élőlények szervezeteiben végbemenő kémiai átalakulás lassú égéssel megy végbe. Azt is említettük, hogy az égés ebben az esetben szintén hőfelszabadulással jár.

A lassú égésnek az öngyulladásnál is nagy a jelentősége. Összefoglalva a lassú égés jellemző tulajdonságai: a fényjelenség hiánya és az alacsony hőmérséklet.

1.6.2 Az égés sebességének részletes felosztása alapján

Az oxidációs jelenségek kémiai sebességét a $v = dc/dt$ általános egyenlet alapján adhatjuk meg. A legegyszerűbb módja a fentiek értelmezésének, ha égésnek az oxidációs zóna terjedési sebességét vesszük alapul, vagyis a $v = m/s$. Általánosan az a tapasztalat, hogy a lánggal égő anyagok terjedési sebességei bizonyos határok között azonosnak vehetők. A fentiek alapján az oxidációs (égési) zónát az alábbi csoportokra oszthatjuk.

1.6.2.1 Égésnek nem tekintett oxidációs folyamat

A $V1 < 0,0001$ m/s (0,1 mm/s) sebességgel zajló oxidációs folyamatokat nem nevezzük égésnek, mivel általában fény- és mérhető hőfelszabadulás nélkül zajlanak. A hő mérhetetlensége nem jelenti, hogy nem szabadul fel hő, csupán azt jelzi, hogy a hőátvezetés miatt a felszabaduló hő nem tud felhalmozódni a mérhetőség határáig. Az ilyen lassú oxidációk általában nem adnak munkát a tűzvédelmi szakembereknek, ezért részletesen nem foglalkozunk velük.

1.6.2.2 Lassú égés

A $0,0001 < V2 < 0,001$ m/s sebességű oxidációs folyamatokat nevezzük lassú égésnek. A fogalom használatánál vigyázni kell, nehogy összetévezzük az élettani és egyéb területeken használatos lassú égés fogalmával, amely általában anyagcserét, korhadást, avasodást, rothadást, korróziót és rozsdásodást jelent. A mi terminológiánk szerint a lassú

égés általában láng nélküli lassú izzást, parázslást jelent, alattomos veszélyeket rejtve a felületet végző tűzoltóknak. Alattomos, mert amikor felületesen már azt hisszük, eloltottuk a tüzet, a parázs visszagyújt, és kezdődhet az alig befejezett erőfeszítés előlről.

1.6.2.3 Normál égés

A legtöbb égési folyamatunk $0,001 < V3 < 0,05$ m/s lángterjedési sebességű tartományban zajlik. Természetesen az anyagminőségen kívül még sok egyéb tényező is befolyásolja a sebességet, így előfordul, hogy ugyanazon minőségű anyag a normál körülményektől eltérő esetben nagyságrendekkel nagyobb lángterjedési sebességgel ég. Ne tévesszen meg senkit a normális jelző, mert általában nem normális jelenség a normál sebességű tűzvész, tehát maximális gyorsaságú beavatkozást igényel a tűzoltóktól.

1.6.2.4 Gyors égés

Az általunk választott sebességi tartományok $0,05 < V4 < 0,1$ m/s-os szakaszát nevezzük gyors égésnek. Összehasonlítási alapul meg kell jegyezni a $0,1$ m/s sebesség 360 m/h sebességgel azonos, ami a kényelmesen gyalogló ember haladási sebességének körülbelül egytizedét jelenti.

A 360 m/h sebesség önmagában nem túl nagy, de gondolkodjunk egy kicsit! Egy aratás előtt álló érett, teljesen száraz búzatábla egyik pontjáról induló tüzeset alkalmával, ha minden irányban egyenletes a tűzterjedés (vagyis ideális, ami szélcsendes időben jogos feltételezés), egy óra alatt $r2\Pi = 360 \times 360 \times 3,14 = 407150$ m² éghetne porrá. Mivel $10\,000$ m² = 1 hektár, ez azt jelenti, hogy kb. $40,7$ hektár termése pusztulna el egyetlen óra alatt. A szerencse az, hogy a gabona nem ilyen sebességgel ég, a kigyulladásától nem telhet el egy óra a beavatkozásig, és a 40 hektáros, egy táblában levő búzamezőt aratás körül általában figyelemmel kísérik. Mindenesetre a példa a gyors égés szemléltetésére megfelelő.

A fenti példától függetlenül meg kell jegyezni, hogy a tűzveszélyes folyadékok közelítőleg ilyen sebességgel égnék.

1.6.2.5 Nagyon gyors égés (robbanás)

A nagyon gyors égést egyes külföldi irodalmak még külön osztályokra bontják. Mi ettől eltekintve egy elég széles, $0,1 < V5 < 10$ m/s-os tartományt határozunk meg a lángterjedési sebességre azon folyamatoknál, amelyeket robbanásnak tekintünk. Általában, ha robbanásról hallunk, képzeletünkben a hír nagy rombolásokkal párosulva jelenik meg. Sajnos jogos az ilyen irányú képzettársítás, mivel a robbanásoknál az atmoszferikusnál nagyobb



22. ábra: **Robbanás**

nyomású, nagy mennyiségű gáz képződése nyomáskiegyenlítő törekvésével hatalmas károkat tud okozni.

A robbanások a nagy sebesség miatt rövid idő alatt lejátszódnak, hatalmas energia-felzabarással járnak együtt, és legtöbbször másodlagos veszélyforrásokat is generálnak. A másodlagos veszélyek lehetnek tűzveszély, áramütés veszélye, omlásveszély stb. A nagy sebességű folyamatoknál beavatkozásra általában nincs mód, így számunkra a legfőbb feladat ezek bekövetkezésének megelőzése. Természetesen feladatot jelent a másodlagos veszélyek megszüntetése is.

1.6.2.6 Leggyorsabb égés (detonáció)

Ebbe a csoportba a speciális céllal előállított robbanóanyagok tartoznak. A $V_6 > 10$ m/s csak az alsó lángterjedési sebesség, találunk közöttük olyanokat is, amelyeknél $v = 8000$ m/s. A szokásos 1–2 kg tömegű töltetek 1/100000 – 1/300000 másodperc alatt detonálnak, iszonyú teljesítményeket produkálva. Az ilyen anyagok az égéshez szükséges oxigént szerkezetükbe építve tartalmazzák. (A sebesség érzékeléséhez csak annyit, az atombomba robbanásakor keletkező lökéshullám csak 500 m/s sebességgel terjed.)

Az ilyen típusú anyagoknál elsősorban a várható robbanások megelőzése jelent feladatot, mert a reakcióba történő beavatkozásra menet közben nincs mód.



23. ábra: Detonáció: a leggyorsabb égés

1.6.3 Égésfajták az égéstermékek minősége szerint

1.6.3.1 Tökéletes égés

Tökéletes égés akkor következik be, ha elegendő mennyiségű oxigén van jelen az égés helyszínén, és a végtermék már nem tartalmaz tovább éghető anyagot. A gyakorlati életben ez nagyon ritkán fordul elő. Meghatározott üzemmódra tervezett rendszereknél

– mint például a gáztűzhely rózsája, ahol állandó gázkiáramlási sebességre lehet tervezni, azaz az égés körülményeit optimalizálni– elfogadható, hogy tökéletes égés történik. Ugyanígy az oxigénes (dissous) hegesztés is annak tekinthető, hiszen a kiáramló aceti-
lénhez pluszban biztosítjuk a szükséges oxigénmennyiséget.



24. ábra: Tökéletesként elfogadható égési formák

1.6.3.2 Tökéletlen égés

Ha égés alkalmával nincs jelen megfelelő mennyiségű oxigén, akkor tökéletlen égésről beszélünk. Ebben az esetben az égéstermékek még tovább képesek égni. Jellemző terméke a szénmonoxid, ami szén vagy a széntartalommal rendelkező anyagok égése alkalmával keletkezik. Rendkívül mérgező, belélegezve már 0,4%-os koncentráció esetén halált okozhat. Ezért a tűzoltásnál szénmonoxid előfordulása esetén légzőkészüléket kell alkalmazni.

Tűzoltás során a tökéletlen égés termékei maró, mérgező, az oltási munkát megnehezítő füstgázokat képeznek, ezenkívül gyúlékonyak lehetnek, és a levegővel robbanékony elegyet képezhetnek (szúróláng). Főleg pince- és szárítóhelyiségekben, valamint olyan zárt helyiségben végzett tűzoltási munkáknál található, amelyekben nagyobb mennyiségű anyagot tárolnak, s a szellőzés nem megfelelő.



25. ábra: A tökéletlen égés példái

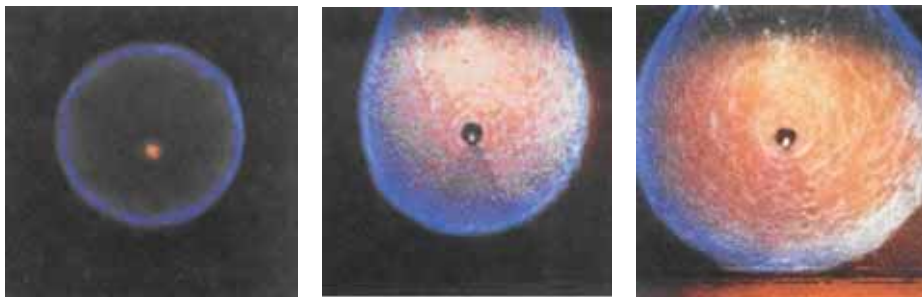
1.6.4 Égésfajták az oxigénnel való keveredés szerint

1.6.4.1 Kinetikai égés (robbanás)

Ha gázok és gőzök az oxigénnel megfelelő arányban még a meggyulladás előtt összekeverednek, akkor kinetikai⁹ égésről beszélünk. Gázok és alacsony hőmérsékleten gőzösödő, gázosodó anyagok égésére jellemző. Kinetikai égés a robbanás is, melynek két fajtáját különböztetjük meg:

- fizikai robbanást,
- kémiai robbanást.

Fizikai robbanásnál az anyag kémiai összetételében változást nem szenved. Fizikai robbanás például a kazánrobbanás, a szilárd forgó testek centrifugális erők okozta szét-esése. A fizikai robbanás során a kémiai robbanástól eltérően éghető gőzök és gázok nem szabadulnak fel. Ez szigorúan véve nem is robbanás, hanem csupán robbanásszerű jelenség. Sűrített, cseppfolyósított gázok, nagy nyomású gőzök okozta robbanásokat nevezzük fizikai robbanásoknak. Okozhatják: a megengedettnél nagyobb nyomás (túlfűtés, túlsűrítés) halmazállapot hirtelen változása, a palack, tartály, vagy kazán anyaghibája stb.



26. ábra: **Robbanás pillanatfelvételeken**

A kémiai robbanás olyan vegyi folyamat, amikor valamilyen anyag elégésénél, bomlásánál, szétesésénél nagy hőfejlődés mellett nagy mennyiségű gáz keletkezik. Ebben az esetben az anyag eredeti tulajdonságait elveszi, és új anyaggá alakul át. A robbanás hatása a gázok hirtelen fejlődése és terjedése következtében előálló lökeshullámokban és az azt nyomban követő szívóhullámban jelentkezik. A szívóhullám keletkezési oka az, hogy a robbanásnál nagy sebességgel ellökődő gázok és levegő helyén légritka tér (vákuum) keletkezik. Ez okozza sokszor azt a különösnek látszó jelenséget is, hogy valamely épület belsejében keletkezett robbanás a falakat nem kifelé, hanem befelé dönti. Ennek magyarázata az, hogy a lökeshullám ereje egymagában még nem volt elegendő arra, hogy az épületfalak állószilárdságát legyőzze, de a megnyomott és a nyugalmi helyzet felé

⁹ Kinetika: görög eredetű szó, jelentése: mozgás. A mechanikának a test nyugalmi vagy mozgási helyzetét megváltoztató erőkkel foglalkozó ága.

visszalendülő épületrészeket a szívóhullám ereje már képes lehet befelé dönti. A kémiai robbanásnak három esetét különböztetjük meg:

- éghető gázok és gőzök oxigénnel (levegővel) való keverékének rövid idő alatti elégése;
- cseppfolyós és szilárd halmazállapotú anyagok gyors elégése, bomlása vagy szét-esése nagy hőfejlődés és rövid idő alatt nagy tömegű gázok fejlődése mellett;
- éghető por alakú anyagok levegővel való keverékének robbanásszerű elégése (lásd porrobbanás).

1.6.4.2 Diffúz égés

Ha az éghető anyag gázai és gőzei hő hatására távoznak, és úgy égnek el, hogy az égés folyamán keverednek a levegő oxigénjével, akkor diffúz¹⁰ égésről beszélünk. Azt a reakciótartományt, ahol a diffúziós jelenségnek döntő szerepe van, diffúz tartománynak is nevezik. Ez a tartomány nem más, mint a – gyulladási folyamat alkalmával tárgyalt – gyulladási fészek. Diffúziós égéssel ég el a szilárd halmazállapotú anyagok legnagyobb része: például a fa, papír, szalma.



27. ábra: A diffúz égés megjelenési formái

1.6.5 Égésfajták külső megjelenés szerint

1.6.5.1 Lánggal égés

Homogén fázisú égés. Olyan anyagok, amelyek a gyulladási hőmérsékletük elérése előtt termikus bomlást szenvedve gyúlékony gázokat fejlesztenek, valamint a folyadékok,

¹⁰ Diffundál: latin eredetű szó, jelentése: a gázok egymásba hatolása, összekeveredése. Diffúz: szét-szórt.

amelyek a gyulladás előtt forrva gőzzé válnak, diffúz égésfajta esetén lánggal égnak. A reakciózóna ekkor több szakaszra bontható. A találkozási felületeken tökéletes az égés, ettől az éghető anyag felé haladva az oxigénhiány miatt tökéletlen. A tökéletlen égési zónában levő anyagrészek, a magas hőmérséklet miatt a korábban kapott energiamegnyíltság egy részét hő és fénysugárzás formájában adják le.

A parányi részek a fénysugárzás miatt láthatókká válnak, és e jelenséget nevezük lángnak. A kevert égés ezzel szemben csak pillanatnyi erős fényfelvillanást szolgáltat.

1.6.5.2 Izzó égés

Heterogén, szilárd fázisú égés. Az olyan anyagok, amelyek a gyulladási hőmérsékletük alatti hőfokokon nem szenvednek termikus bomlást, parázzsal égnak. E jelenségnél az oxidáció a szilárd anyag felületén zajlik, és a reakcióhő felhevíti a felületi anyagrészeket, amelyek azután a kapott hőenergia egy részét hő- és fénysugárzás formájában kisugározzák. Az egyik változatban az égéstermék gázállapotú, amely a felületről eltávozik, és ilyenkor az éghető anyag izzással teljesen elég. Másik változatban az égéstermék, az égés hőmérsékletén szilárd halmazállapotú lévén, a reakció helyén marad, gátolja a további részekhez diffundáló oxigén útját, az égést tökéletlenné teszi, sőt sokszor meg is szünteti azt. A leírtak szerinti égést produkálja a kocsz, a faszén, csont stb.

Izzó égés abban az esetben fordul elő, ha az éghető anyag egyáltalán nem vagy már nem bocsát ki magából égési gőzöket és gázokat, ezért a lánggal való égés nem jöhet létre. Előfordulhat öngyulladás következtében is, amikor az éghető anyag elérte a gyulladási hőmérsékletet, de a lánggal való égés még nem következett be. A lánggal égő tüzek veszélyessége egyértelműen látható, azonban – megfelelő és jól alkalmazható oltóanyagokkal – döntő többségük nagy hatékonysággal oltható. Ám az izzó tüzek sok esetben makacsul ellenszegülnek mindenoltási kísérletnek, megszüntetésük hosszú és nehéz munkát igényel. Főleg a kezdeti időszakban a tűz külső jelenségeinek csaknem teljes hiányával találkozunk, ezért sokszor a nagy kiterjedésű tüzek kezdetének tekinthetők (tőzegláp tüze). Ilyen égéssel a szénpor, a korom, a gyapotbálák tüzeinél találkozhatunk.



28. ábra: Példák diffúz és izzó égésre

1.6.5.3 Lánggal és parázzsal égés

Az összetett anyagok alkotórészei általában nem azonos hőmérsékleten változtatják a halmazállapotukat. Egy sokalkotós éghető anyag egyik része már a gyulladási hőmérséklet alatt gázosodik, gőzöl, így lánggal égést produkál, míg másik része, természetesen a lánggal égéssel egy időben, csak felületileg izzik. Az ilyen kettős égésfajtaival oxidálódó anyagok folyamatát nevezzük lánggal és parázzsal égésnek. Az elmondottak szerint égnek a szerves anyagok, például fa, szalma, tőzeg, szénfajták, textíliák.

1.6.6 Öngyulladás

Öngyulladásnak azt a gyulladási folyamatot nevezzük, amely külső hőforráshatása nélkül jön létre. Az anyag meggyulladásához szükséges hőt önmaga hozza létre, az anyagban végbemenő hőt szolgáltató folyamatok eredményeképpen. Az öngyulladás fogalma alatt ezért nemcsak az anyag tulajdonképpeni meggyulladását, hanem az egész önmagától végbemenő folyamatot értjük, a kezdődő hőmérsékletemelkedéstől a gyulladási hőmérséklet eléréséig.

Vannak olyan anyagok, amelyek képesek arra, hogy meghatározott előfeltételek között önmaguktól hőt fejlesszenek, és eközben felhevüljenek. Sok szilárd halmazállapotú test felülete (például a szén felülete) igen erősen nyeli el a környező gázokat. A szilárd anyag felületi atomjainak ez a magas aktiválása azzal magyarázható, hogy kötésük telítetlen. A szilárd anyagok által a külső közegben lévő gázok elnyelését adszorpciónak nevezzük. Az adszorbeált gázmennyiség függ a gáz és az anyag természetétől, valamint a külső feltételektől is (például hőmérséklet, nyomás). Az ilyen anyagok nagy veszélyt jelentenek, mert nagy kiterjedésű tüzeket, esetleg robbanásokat is okozhatnak.

Az önmaguktól melegedő anyagok és keverékek közül azonban nem mindegyik alkalmas az égési folyamat beindításához. Így például a nedves gabona csírászásánál olyan biológiai folyamat indul meg, amelynél a gabonaszemek bizonyos körülmények között akár 85–90 °C-ra is felmelegszenek. Eközben a gabonaszemek elszenesednek ugyan, azonban nyílt égésre nem kerülhet sor, mert annak gyulladási pontja 90 °C felett van. Ezzel szemben vannak más anyagok, amelyeknél az önmelegedés a gyulladáspontig növekszik. Az ilyen folyamatot nevezzük öngyulladásnak.

Az öngyulladást biológiai, fizikai vagy kémiai folyamatok válthatják ki, és nem mindig csak közönséges 10–20 °C-os, hanem esetleg 200 °C vagy még ennél is magasabb hőmérsékleten kezdődik a folyamat.

Meghatározott feltételek között önmaguktól meggyulladó terményekhez tartozik például a széna, a lóhere, a maláta vagy a komló. A mezőgazdasági termények öngyulladását jól érzékelhető jelenségek kísérik. Az önmelegedő kazal vagy rakás állandóan gőzölög, és kellemetlen, rothadásra emlékeztető szagot áraszt. A kazal teteje gyakran minden látható ok nélkül besüpped, és közelségében meleg érezhető (sugárzó hő). Ezek mind olyan jelenségek, melyek észrevehetőek, és ezáltal megakadályozható a tűz kifejlődése. Különösen hajlamosak az öngyulladásra azok a termények, amelyek vizet tartalmaznak, és amelyekben a sejtek még folytatják élettevékenységüket.

A sejttevékenységről köztudomású, hogy hőmérsékletemelkedéshez vezet. A szalma például nem tartalmaz élő sejteket, azért nem hajlamos az öngyulladásra sem. A növényi rostok rossz hővezetése következtében felhalmozódik a hő, és ez az anyag hőmérsékletének emelkedéséhez vezet. Ez a folyamat legfeljebb 70 °C-ig tart, mert ezen a hőmérsékleten már elpusztulnak a mikroorganizmusok (baktériumok). A növényi anyagokban azonban a hőmérsékletemelkedés ezzel még nem fejeződik be, mert néhány szerves vegyület – például több fehérje is – 70 °C-on elbomlik, amely által porózus szenet kapunk, amely képes a gőzök és gázok adszorbeálására.



29. ábra: Kazal, valamint külszíni bánya öngyulladása (égése)

A gázok és gőzök adszorpciója további hőfejlődéssel jár, így a szénben a hőmérséklet jelentékeny emelkedését okozza. A szénnek is van olyan tulajdonsága, hogy önmagától felmelegedik, és ezért új hőforrást képez. Az adszorpció 100–130 °C-ra emeli a hőmérsékletet, és ez már további vegyületek elbomlását is előidéz. A gázok és gőzök szén által történő adszorpciója a hőmérsékletet tovább növeli. 200 °C-nál megkezdődik a növényi anyagok fő alkotórészének, a cellulóznak az elbomlása. Ekkor olyan szén keletkezik, amely különösen könnyen oxidálódik. A hőmérséklet a növényi anyagokban ekkor már 250–300 °C-ra emelkedik, így eléri, illetve meghaladhatja a gyulladáspontot, azaz az anyag már külső hőhatás nélkül is meggyulladhat.

A tüzelőanyagok közül öngyulladásra hajlamosak a barna- és a kőszén, valamint a barnaszénből készült brikett. Koksznál és antracitnál viszont még nem tapasztaltak öngyulladást. A barnaszénből készült brikett különösen veszélyes, főleg akkor, ha még meleg állapotban kerül ki a gyárból, és szorosan rakva tárolják. Még fokozza az öngyulladási veszélyt, ha tárolás alatt tartós meleg hatásának van kitéve (napsütés). A friss (fiatal) szén a levegőből 5–10% oxigént képes felvenni. Ismert, hogy ez a vegyi folyamat is hőképzéssel jár. Alacsony (lapos) prizmákban vagy halmokban tárolt szénnél a termelődött hő kisugárzás útján, valamint a levegő hűtő hatása által távozik, így nem jelent veszélyt. Más a helyzet, ha a szenet magasra púpozva vagy nagy tömegben tárolják. Ebben az esetben – ha a szén nedves is – meggyorsul az oxidációs folyamat. A hőtermelés a szénrakás belsejében fokozódik, kellő szellőző és párolgási lehetőségek hiánya következtében. A termelődött hő akkumulálódik, és előbb-utóbb öngyulladást eredményez. Az ún. zsíros szén veszélyesebb, mint a gázszegény, sovány szén.

A szén öngyulladásának jellemző tünete tehát, hogy az égés minden esetben a szénrakás belsejéből indul ki. Kísérő tünete a rakásból felszálló gáz és a jellemző széngázszag. Ha a szénrakást felülről kellő óvatossággal leszedjük, fokozatosan találunk forróbb, majd már izzó szenet a rakás belsejében. A barnaszénbrikettnél az öngyulladás hamar –akár néhány napon belül is – bekövetkezhet, míg az egyéb fajtájú szeneknél később, csak hetek– vagy hónapok múlva jelentkeznek.

A szén – könnyű oxidálhatósága folytán – bizonyos kedvező feltételek között spontán hőmérsékletemelkedést érhet el, ami szintén öngyulladásához vezethet. Ennek szükséges előfeltétele, hogy az oxidáció alkalmával a fejlődött hő képes legyen felhalmozódni. Növényi és állati olajok nem öngyúlékonyak, ha tartályban vannak, de ha vékony réteggént a térfogathoz képest nagy felületet alkotnak, akkor már hajlamosak lehetnek öngyulladásra is. Nagy felületük van a felaprózott vagy szálas anyagoknak, mint például a rongynak, kócnak, vattának, gyapjúnak, fűrészporoknak.

Ezek az anyagok, ha olajjal átitatódnak, önmaguktól meggyulladhatnak. Ha a felaprózott vagy szálás anyag olajjal átitatódik, akkor az olaj eloszlik az anyag felületén, és nagy területen érintkezésbe kerül a levegővel. Ezáltal megindul az oxidációja, és egyidejűleg az olajmolekuláknak nagyobb molekulaszervezetekké történő összekapcsolása is megtörténik. Ez a folyamat, hasonlóan az oxidációhoz, hőleadással megy végbe. Ha a fejlődött hő nem vezetődik el, akkor az olajjal átitatott anyag hőmérséklete emelkedik, amely bizonyos körülmények között öngyulladásához vezet. Az olajok öngyulladásának előfeltételei akkor állnak fenn, ha a hordozóanyag nagy felületű, meghatározott olajtartalmú és csekély hővezető képességű.

Az olajjal átitatott anyag öngyulladása csak meghatározott olajtartalom esetén lehetséges. Túl csekély olajtartalom esetén a keletkezett oxidációs hő túl gyorsan vezetődik el ahhoz, hogy az öngyulladás bekövetkezzen. Magas olajtartalom esetén azonban az öngyulladás már nem következhet be, mert a hordozóanyag pórusai és a szálak összeragadnak, és ezáltal felületük kisebb lesz.

Vannak olyan anyagok, amelyek levegővel való érintkezésekor meggyulladnak. Ehhez a csoporthoz tartoznak a fehérfoszfor, foszforhidrogén, alkálifémek karbidjai stb. Az említett anyagokat a levegő oxigénje energikusan oxidálja, miközben azonnal vagy bizonyos idő múlva az öngyulladásig felmelegszenek. Tömör állapotban nagyon kevés fémes anyag képes öngyulladásra. Poralakban azonban, főleg nedves levegőn, az öngyulladás rövid időn belül bekövetkezhet. Például a fehérfoszfor gyulladási pontja 45–70 °C, finom por állapotban a levegő oxigénje már szobahőmérsékleten gyorsan oxidálja, eközben felmelegszik a gyulladási pontig, és világító fehér oxiddá ég el.

Előfordul olyan eset is, amikor az oxidációhoz az oxigént nem a levegő, hanem valamilyen oxidálószer szolgálja; például a tömény salétromsav – amely erős oxidálószer – éghető vagy oxidálható anyaggal (például forgáccsal, szalmával) érintkezésbe jutva heves oxidációs folyamat következtében meggyújtja azt. Az alacsony hőmérsékleten önmaguktól meggyulladó anyagok különösen veszélyesek, és vagy állandó megfigyelés alatt kell tartani azokat, vagy olyan feltételeket kell biztosítani, amelyek kizárják az öngyulladás lehetőségét.

1.7 Különböző halmazállapotú anyagok égése

A gyulladási folyamat a halmazállapottól függetlenül lényegében egyformán megy végbe. Tehát az égési gázok és gőzök vagy eleve megtalálhatók a levegő oxigénjével keveredve, vagy hő hatására válnak ki az éghető anyagokból a már ismert elvek szerint.

1.7.1 Szilárd éghető anyagok égése

A szilárd éghető anyagok gyulladási hőfoka legtöbb esetben alacsonyabb, mint a folyadékoké és gázoké. Felmelegedés alkalmával a megolvadó és elpárolgó anyag (mint például a foszfor, kén, szurok) meggyulladása ugyanazoktól a tényezőktől függ, mint a folyadékoké. A különböző összetételű anyagok a hő hatására nem olvadnak meg, hanem gáznemű termékek kibocsátásával elbomlanak, és a levegővel keveredve elégnak.

Ha ezeknek az anyagoknak a gyulladási hőfokát összehasonlítjuk a bennük lévő illékony (gázosodó) alkotórészek vegyi összetételével, akkor megállapítható, hogy az ilyen anyagok gyulladási pontja általában annál alacsonyabb, minél több gáz- vagy gőznemű anyagot – főleg oxigént és hidrogént – tartalmaznak. Néhány szilárd anyag vegyi összetétele és gyulladási hőmérséklete a 7. táblázatban látható.

7. táblázat

Anyag	Szerves anyag összetétele, %					Gyulladási hőm. °C
	C	H	O	N	illó	
Fa	50,8	6,2	42	1,0	86,0	250–300
Tőzeg	58,9	8,0	33,1	2,0	70,0	225–280
Barnaszén	71,7	5,4	21,6	1,3	46,7	250–450
Koksz	97,4	0,7	0,5	1,4	4,0	700

Másképp viselkednek azok a szilárd éghető anyagok; amelyek az égési hőmérséklet alatt nem gázosodnak. Ebben az esetben az oxidáció (égés) közvetlenül a szilárd fázis és az oxigén között megy végbe. Ilyen formában égnak el a már több esetben említett fémek, például a magnézium – magnéziumdioxidá, az alumínium – alumíniumoxidá.

Az említett égés beindulásához azonban nagy mennyiségű aktiválási energia szükséges, hiszen a legtöbb fém tömör állapotban van, így nem vagy csak többnyire nehezen gyúlékony. Por alakjában azonban képes arra, hogy könnyen meggyulladjon, és láng képződése közben elégjen. Néhány fémpor gyulladási hőfoka a 8. táblázatban látható.

1.7.2 Cseppfolyós anyagok égése

Minden tűzveszélyes folyadék képes hő hatására párologni, ezért égésük is csak gőz fázisban megy végbe. Ha tehát folyadék égéséről vagy meggyulladásáról beszélünk, akkor ezen minden esetben az adott anyag gőzeinek égését kell érteni. A folyadékok gőzképződési hajlamossága nagyon különböző, és vegyi összetételükkel változik. Vannak olyan folyadékok, amelyek már 20 °C-on olyan mértékben párolognak, hogy a felszínük feletti légréteg jelentékeny mennyiségű gőzt tartalmaz. Vannak azonban olyan tűzveszélyes folyadékok is, amelyek szobahőmérsékleten csak igen kis mértékben párolognak.

8. táblázat

Fémpor	Gyulladásági hőfok °C
Alumínium	800
Kalcium	600
Vas	500
Magnézium	550
Szilícium	900
Cink	450

Az éghető folyadékok párolgási sebességét az ún. párolgási számmal határozzuk meg. Egy egységnek általában az etil-éter párolgási sebességét veszik. Ebben az esetben a következő párolgási számok adódnak: tehát az etiléter 1; aceton 1,2; diklórmétán 1,8; kloroform 2,5; metilalkohol 6,3; dekolin 14; butilalkohol 33–37; etilalkohol 72; benzinalkohol 1770; glikol 2625. A 72 párolgási számú etilalkoholnak tehát 72-szer annyi időre van szüksége az elpárolgásához, mint az etil-éternek. Előfordul olyan eset, amikor az aceton párolgási számát veszik egynek, vagy a butil-acetátét 100-nak. A különböző számítások azonban a párolgási sebességet nem befolyásolják. A felsorolt számértékek bizonyítják, hogy nyílt láng, parázslás vagy izzó test stb. hatására az egyes folyadékok meggyulladása változó.

A hőátadás a folyadéktüzeknél főleg sugárzással történik. A folyadékok felületén a láng terjedési sebessége a folyadék hőmérsékletétől, fajhőjétől, párolgási hőjétől, valamint a láng hősugárzásának intenzitásától függ. A láng terjedési sebességének minden tűzveszélyes folyadékra meghatározott jellemző értéke van. Tehát, ha az éghető folyadékok felületét valahol meggyújtjuk, az égés erről a helyről az egész területre átterjed. A terjedési sebesség a meghatározások és a tapasztalat alapján egyes folyadékoknál nagyon különböző. Amíg a benzinnél, benzolnál, acetonnál igen gyors a terjedési sebesség, addig az olajnál a láng mérsékelt sebességgel fut végig a folyadék felszínén. A magas forrási hőmérsékletű ásványolajoknál az égés kifejezetten lassan terjed tovább, főleg ha az olaj előzetesen még nem hevült fel. Ha alacsony hőmérsékleten is felszabaduló éghető gőzök és gázok nagyobb mennyiségben vannak jelen a gyulladás előtt, akkor az

égés, lobbanás esetleg robbanásszerűen megy végbe, de a további égés már az ismertek szerint folytatódik.

Lobbanáspont az a hőmérséklet, amelyen az éghető folyadék párolgása következtében már annyi gázt fejleszt, hogy láng vagy izzó stb. részek hatására meggyullad anélkül, hogy a folyadék tovább égne. Lobbanáspontnál meggyullad a gőz és gázkeverék, azonban nem képes tovább égni, mert a folyadék párolgási sebessége igen csekély.

Valamivel magasabb hőmérsékleten, az ún. égési hőfokon – a párolgási sebesség növekedése következtében – az anyag meggyulladása is bekövetkezik.

Ha az égés az egész folyadék felületére kiterjed, akkor közepes sebességgel és csekély magasságú lánggal megy végbe, mert a folyadék felületi hőmérséklete viszonylag alacsony, ennek következtében a párolgás sebessége is csekély. A folyamatos égés alkalmával a felületi réteg hőmérséklete állandóan emelkedik, ezáltal növekszik a párolgási sebesség, amelynek következtében a láng nagysága is. A folyadék felmelegítéséhez, elpárolgotatásához szükséges hőmennyiséget a lángsugárzás útján juttatja a felületre. A párolgási sebesség csökkenése esetén a láng a folyadék felületéhez közeledik, tehát magassága csökken. Ha az oxigéntartalom csökken, akkor növekszik a láng térfogata, és a láng eltávolodik a folyadék felületétől. Elégtelen oxigénmennyiség esetén a láng „leszakad”, ezáltal az égés megszűnik.



30. ábra: Alkohol és benzin-gázolaj keverék égése

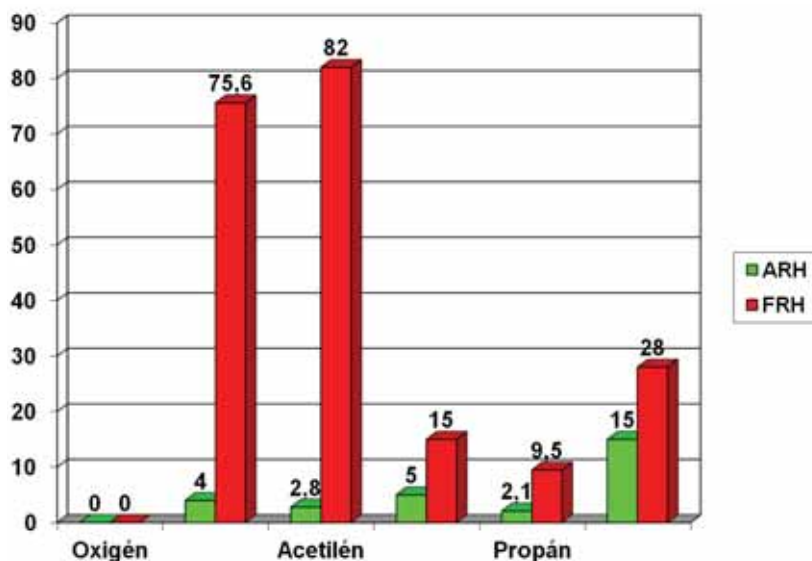
1.7.3 Légnemű anyagok égése

Gázok, gőzök égése csakis a levegővel megfelelő arányban keveredve indulhat meg. A légnemű anyagok égésére jellemző égési forma a robbanás. (Lásd: Az égés fajtái cím alatt.) Éghető gázokból és oxidálószerből bármilyen összetételű keveréket előállíthatunk, azonban nem minden keverék képes meggyulladni, illetve robbanni. A gyulladási tartományt (gyulladásási fészket) a szegény (oxigénben dús) és gazdag (éghetőgázban dús) keverékek kritikus értékei határolják. Például atmoszférikus nyomásnál a szénmonoxid-levegő keverék gyulladási képességét alulról 12,5%, felülről 80% CO-tartalom határolja. Tehát az éghető légnemű anyagok égése (lobbanása, robbanása) csak akkor következhet

be, ha az éghető légnemű anyag bizonyos arányban keveredik az oxigénnel vagy levegővel. Ha az éghető gőznek, illetve gáznak a mennyisége a levegőben adott érték alatt van, akkor ez a keverék nem éghető. Ez az érték az alsó robbanási (égési) határ.

Ha az éghető gőz (gáz) aránya növekszik, akkor a levegőhiány végül odavezet, hogy az éghető anyagban gazdag elegy elveszíti gyulladóképességét. Az olyan gáz (gőz) koncentrációt, amelynél a robbanás levegő (oxigén) hiányában már nem lehetséges, felső robbanási határnak nevezzük.

A felső és alsó robbanási határ közötti keverék az optimális (robbanóképes) keverék. A robbanási határértékeket a különböző anyagoknál a 9. táblázat tartalmazza (szobahőmérsékleten, atmoszférikus nyomáson).



31. ábra: Alsó és felső robbanási határértékek

Minél alacsonyabb az alsó robbanási határ vagy minél nagyobb a távolság az alsó és felső robbanási érték között, annál robbanásveszélyesebb az anyag. Magyarázata igen egyszerű, hiszen alacsony robbanási határérték esetén aránylag kis mennyiségű éghető anyag jelenlétében jöhet létre a gáz és a levegő robbanására alkalmas keveréke. Minél nagyobb a távolság az alsó és felső robbanáspontra között, a gáz-levegő keverék annál veszélyesebb, mivel a robbanás lehetősége nagyobb arányban áll fenn.

9. táblázat

Anyag	Robbyanás alsó hat.		Robbyanás felső hat.	
	térf. %	g/m ³ (20 °C)	térf. %	g/m ³ (20 °C)
Metán	2,5	16,66	15,4	102,6
Etán	2,5	31,2	14,95	186,8

Anyag	Robbanás alsó hat.		Robbanás felső hat.	
	térf. %	g/m ³ (20 °C)	térf. %	g/m ³ (20 °C)
Propán	2,0	36,7	9,5	174,0
Bután	1,55	37,5	8,5	206,0
Acetilén	1,53	16,5	82,0	885,6
Benzol	1,3	42,0	9,5	308,0
Hidr. gáz	4,0	3,4	80,0	66,4
Benzin	2,4	137,0	4,9	281,0

1.7.4 Porrendszer égése (porrobbanás)

Porrobbanás alatt a levegőben eloszlott lebegő finom porrészecskék gyors, robbanásszerű elégését értjük. A keletkezett égési gázok és a robbanás hője nagy térfogatnövekedést okoz. A porrészecskék a legkülönbözőbb módon keveredhetnek a levegővel.

Előidézhetik a keveredést:

- légáramlat (huzat),
- anyagok megmunkálása,
- épületrészek leomlása,
- tüzek oltásánál a kötött sugár használata.

A különféle anyagok porai nyílt lánggal, szikrával vagy izzó felülettel szemben nagyon különbözően viselkednek. Néhány már alacsony koncentrációnál kis gyújtóforrástól meggyullad, és a láng gyorsan terjed az egész portérfogatban. Más porok viszont csak magas porkoncentráció esetén és a gyújtóforrás hosszabb behatása után gyulladnak meg. A harmadik porfajta „közönséges” körülmények között egyáltalán nem gyullad meg, bár éghető anyagból áll.



32. ábra: A robbanás kialakulása piktogram ábrákkal jelölve

1.7.4.1 A porok osztályozása tűzveszélyesség szerint

A fentiek alapján a porokat tűzveszélyességi fokok szerint az alábbi csoportokba lehet sorolni:

1. Első osztály: Könnyen gyúló porok, amelyekben a láng gyorsan terjed. A meggyújtáshoz szükséges gyújtóforrásnak nem kell különösen intenzívnek lenni, elegendő például egy szikra vagy a gyufa lángja. Ebbe az osztályba tartozik például a cukor, keményítő, kakaó, faliszt, maláta, zabpelyva, tea, kénpor, búzaliszt pora.
2. Második osztály: Porrobbanásra alkalmas, de nehezebben gyulladó porok meggyújtásához sokkal erősebb, jelentékenyen magasabb hőmérsékletű gyújtóforrásra van szükség. Ide tartozik például a fűrészpor, bórpor, olajpogácsa, korpa.
3. Harmadik osztály: Azok a porok, amelyek égési, sebessége igen csekély és nem képesek arra, hogy a levegőben tartósan felhőt képezzenek, vagy nagyobb mennyiségű nem éghető anyagot, tartalmaznak, porrobbanásra nehezen vagy egyáltalán nem alkalmasak. Ebbe az osztályba tartozik a dohány, korom, faszén, grafit, kokszt pora is.

Ha a porfelhő egy ponton meggyullad, akkor a láng nagy sebességgel terjed a por által elfoglalt egész térfogaton keresztül. A porláng sok egyedi lángból tevődik össze, amelyek különböző szemcse nagyságok következtében, különböző sebességgel égnek el. Az égési felület meghatározott alakja ennek következtében nem alakul ki.

A lángterjedés mechanizmusa nagyon hasonló a gázok égésének mechanizmusához. A porrendszer égése átmenetet képez a szilárd anyagok, valamint a gázok égése között. Minél nagyobb a porszemcsék mérete, annál kisebb a hőfelvételi sebessége, mivel az ilyen por felülete viszonylag kicsi.

Ismert, hogy a hőfelvétel nagyságától függ a por bomlása és ennek megfelelően az égési sebessége is. A részecskék nagyságának növekedésével jelentékenyen csökken a láng terjedési sebessége, és a por bizonyos szemcse nagysága esetén a láng már egyáltalán nem képes továbbterjedni. A láng terjedési sebessége a porfelhő koncentrációjától is függ. A levegő oxigéntartalmának csökkenésével feltűnően csökken a láng terjedési sebessége. (A tőzgepor felhőben 16% alatti oxigéntartalom esetén a láng egyáltalán nem terjed, így a robbanás nem következhet be. Más porfajtánál – mint például a búzalisztnél, cukornál – az éghetőség a levegő 12%-ánál kisebb oxigéntartalomnál ér véget.)

A por meggyújtása és az égésnek a por egész tömegére való áttérése csak az éghető anyag és a levegő meghatározott aránya esetén lehetséges. Azt a minimális koncentrációt, amelynél a bor gyúlékony, és az égés annak egész tömegére képes kiterjedni, alsó robbanási %-nak nevezzük. A por felső robbanási határa azonban olyan magas, hogy legtöbb esetben nincs gyakorlati jelentősége, mert ilyen magas koncentrációt alig lehet elérni (például a cukorpor felső robbanási határértéke $13\,500\text{ g/m}^3$, a tőzgeporé akár 2200 g/m^3 is lehet).

1.7.4.2 Porok koncentrációja a levegővel

Már az előzőekben megállapítottuk, hogy a por meggyújtása és az égésnek a por egész tömegére való elterjedése csak az éghető anyag és a levegő meghatározott aránya esetén lehetséges.

Ezeket az arányokat a robbanási határértékkel tudjuk jellemezni. Ehhez a porrészecskék szemcseeloszlását kell ismerni. Minél finomabb az eloszlás, minél kisebbek a porrész-

szecskék, annál könnyebben gyullad a porfelhő. Legkedvezőbbek porrobbanásra a 100 mikronnál kisebb átmérőjű részecskék, mert igen nagy a levegővel érintkező felületük (1g ilyen pornak kb. 100 m² a felülete).

Néhány tipikus por robbanó keveréket képező koncentrációját a levegővel a következő táblázat szemlélteti:

10. táblázat

A por anyaga	A robbanó keverék koncentrációjának alsó határértéke mg/l
Malátaliszt	20,0
Búzaliszt	23,0
Korpaliszt	25,0
Árpaliszt	33,0
Borsóliszt	35,0
Faliszt	25,0
Cukor	34,4
Alumínium	13,7
Kén	13,0
Keménygumi	25,0

1.7.4.2 Gyújtás jellege a koncentráció szerint

A por robbanása akkor következhet be, amikor a por a levegővel meghatározott arányban keveredik és a koncentrációt kb. 600 °C feletti hőmérséklet (például gyufa lángja, elektromos szikra stb.) iniciálja.

A robbanás bekövetkezése függ:

- a koncentrációtól,
- a por anyagától,
- a levegő szennyeződésétől,
- a gyújtás jellegétől.

A gyújtás jellegének lefolyását a következő táblázatban levő példák jellemzően mutatják.

11. táblázat

A legkisebb koncentráció mg-ban 1 liter levegőre számítva			
Anyag	A gyújtás jellege		
	Izzógyújtás	Ívfénygyújtás	Szikragyújtás
Keményítő	7,0	10,3	13,7
Kén	7,3	13,7	13,7
Cukor	10,3	17,2	34,4
Alumínium	7,0	7,0	13,7
Kőszén	17,2	24,1	nem gyullad meg

1.7.4.4 Porok égésének osztályozásai

A különféle anyagok porai nyílt lánggal, szikrával vagy izzó felülettel szemben nagyon különbözően viselkednek. Ezek szerint a porokat tűzveszélyességi fokuk szerint a már korábbi felsorolás alapján lehet csoportosítani. A porok a tűzveszélyességi osztályba soroláson túl robbanás veszélyességi osztályba is besorolandók:

- **St1 porrobbanási osztályú** az a por, amelynek az MSZ EN 26184-1:1993 szabvány szerinti robbanóképességi csúcserő (Kst = 0... 200 bar m/s) alatti;
- **St2 porrobbanási osztályú** az a por, amelynek az MSZ EN 26184-1:1993 szabvány szerinti robbanóképességi csúcserő (Kst = 200... 300 bar m/s) közötti;
- **St3 porrobbanási osztályú** az a por, amelynek az MSZ EN 26184-1:1993 szabvány szerinti robbanóképességi csúcserő (Kst > 300 bar m/s) feletti.

A Kst értéke a robbanási nyomásemelkedés sebességét mutatja, amely a következő tényezők függvénye:

- anyag jellemzői (gyulladás hőmérséklet, gyújtási energiaszint),
- por szemcsemérete,
- porszemcsék eloszlása,
- turbulencia,
- tartály vagy helyiség formája,
- gyújtóforrás jellemzői.

1.7.4.5 Poranyag veszélyességének jellemzői (gyúlékonyság)

Valamely por veszélyességének a megítéléséhez fontos meghatározni a por gyulladási hőmérsékletét, ami függ többek között nem fajlagos tulajdonságaitól, a por szemcsenagyságától, annak a tulajdonságaitól, nedvességtartalmától stb. Meghatározási módszere, hogy a porfelhőt forró felületre fújják. Ezenkívül a gyulladási hőmérsékletnél fontosabb mutatója is van a por veszélyességének, a parázslási hőmérséklet, ami a lerakódott por veszélyességét jellemzi. Ami nem más, mint valamely szabadon fekvő vízszintes forró felület legalacsonyabb hőmérséklete, amelynél az ezen a felületen fekvő 5 mm-es vastagságú porréteg meghatározott időn belül (kb. 2 óra) meggyullad.

A porok parázslási hőmérséklete 200 °C-kal vagy ennél is többel alacsonyabb, mint a gyulladási hőmérséklet. Olyan porlerakódásoknak, amelyek a gyulladás előtt megolvadnak, vagy szublimálódnak, nincsen parázslási hőmérsékletük, így kevésbé veszélyesek. Azok a porlerakódások, amelyek előzőleg elkérgesedtek vagy elszenesedtek, nem mutatnak jellegzetes parázslási hőmérsékletet.

A valóságban az így meghatározott parázslási értékek, az üzemeltetési feltételek miatt változnak. A nagyobb rétegvastagságok, a hőtorlódás, a szerves poroknál pedig a melegen való tárolás következtében fellépő fokozatos bomlás az értékek csökkenéséhez vezetnek.

1.7.4.6 A porrobbanás tűz-ötszöge

Az eddigiek alapján megállapítható, hogy a porrobbanás egy nagyon összetett, különböző fázisú anyagok égésének jellegzetességeit magán viselő égési jelenség. Összetettsége és különbözősége miatt a tűz egyszerű megfogalmazását szimbolizáló tűzháromszöget ezért ebben az esetben ki lehet egészíteni és ún. tűz-ötszöget lehet alkotni.



33. ábra: A porrobbanás tűz-ötszöge

1.7.4.7 Gyúlékony porok bomlási gázainak vizsgálata

A szerves por svélpontja az a legkisebb hőmérséklet, amelyen az adott porból már olyan mennyiségű éghető gáz (gőz) keletkezik, hogy oxigénnel elegyítve villamos szikrával ellobbantható, illetve berobbantható (meghatározása legfeljebb 5 V/V % nedvességtartalmú, 63 µm-nél kisebb szemcseméretű pormintákkal történik).

Néhány éghető por veszélyességi jellemzőit a következő táblázat tartalmazza.

12. táblázat

Anyag	A lerakódott por izzási hőmérséklete (°C)	Lebegő por	
		gyulladásági hőmérséklet °C)	alsó gyulladásági határ (g/m ³)
Alumínium	320	590	37–50
Ammónnitrát	170 °C-nál elolvad	400	–
Barnaszén (lignit)	esetenként kell meghatározni		29–30
Búza gabonapor	290	420–485	–
Búzaliszt	Elszenesedik	410–430	–
Cink	430	530	212–284
Fenyőfa fűrészpor	325	440–450	
Faszén	esetenként kell meghatározni		39–52
Kávépor	Elszenesedik	600	–
Kakaópor	245	460–540	–
Kén	119 °C-nál olvad	235	120–160
Keménygumi	Összesül	360	36–49
Korom	535	690	36–45
Porcukor	Elolvad	360	77–107
Vaspor	240	430	153–204

1.7.4.8 A porrobbanás lángterjedésének jellemzése

Ha a porfelhő egy ponton meggyullad, akkor a láng nagy sebességgel terjed a por által elfoglalt egész térfogaton keresztül. A porláng sok egyedi lángból tevődik össze, amelyek különböző szemcsenagyságok következtében különböző sebességgel égnek el.

Az égési sebesség meghatározott alakja ennek következtében nem alakul ki. A lángterjedés mechanizmusa nagyon hasonló a gázok égésének mechanizmusához. Hő hatására a rendszerben lassú égés indul meg. Az égés melegét hővezetés-hőszugárzás útján átveszik a szomszédos rétegek. A nyomás növekedése hőfokemelkedéssel, a reakciósebesség növekedésével, a porfelhő fellángolásával jár.

Kis helyen keletkező elpuffanás is további port kavarhat fel, és így robbanásra hajlamos porfelhő képződhet.

A porrendszer égése átmenetet képez a szilárd anyagok, valamint a gázok égése között. A porszemcsék kicsiny tömege lehetővé teszi a levegőbe jutott anyag lebegését hosszabb- rövidebb ideig. Minél nagyobb a porszemcsék mérete, annál kisebb a hőfelvételi sebessége, mivel az ilyen por felülete viszonylag kicsi.

Ismeretes, hogy a hőfelvétel nagyságától függ a por bomlása és ennek megfelelően az égési sebessége is. A részecskék nagyságának növekedésével jelentősen csökken a lángterjedési sebessége, és a por bizonyos szemcsenagysága esetén a láng már egyáltalán nem képes tovább terjedni, mert felmelegedésükkel sok hőt vonnak el, és így hőtorlódás nem jöhet létre.

Idővel a porfelhőből a nagy részecskék kiválnak, leülepednek, más részecskék – ütközés révén összetapadva – nagyobb részecskékké alakulnak át, majd fokozatosan kihullanak a porfelhőből. Ezzel fokozatosan kisebb szemcsékből álló porfelhő alakul ki, mely egyre hajlamosabb a meggyúlásra.

1.7.4.9 Gyújtóforrások

A leggyakoribb gyújtóforrások az alábbiak lehetnek:

Forró felületek keletkeznek a rendszerek, készülékek és komponensek normál működése közben fellépő energiaveszteségek miatt. Fűtőtestek esetén ez szándékos. Ezek a hőmérsékletértékek többnyire kontrollálhatók. Hibás működés esetén – például túlterhelés vagy megszorult csapágy – az energiaveszteség és emiatt a hőmérséklet elkerülhetetlenül növekedni fog.

Lángok és forró gázok (részecskék) keletkeznek például őrölő- vagy vágógépek normál működése közben, ezért robbanásveszélyes környezetben nem megengedett a használatuk. Forgórészekben fellépő repedések, megfelelő kenés nélkül egymáson súrlódó részek és ezekhez hasonló helyzetek szintén szikrákat okozhatnak hibás működés esetén, és ezeket a hibákra való tekintettel figyelembe kell venni.

Mechanikai eredetű szikrák keletkeznek például őrölő- vagy vágógépek normál működése közben és ezért robbanásveszélyes környezetben nem megengedett a használatuk.

Látható villamos szikrák normál esetben elégséges gyújtóforrásnak tekintendők.

Villamos kóboráramok, katódos korrózióvédelem, villamos sínezés és más földelt villamos tápellátás, például gépek villamos korrózióvédelme kóboráramot okozhat, a katódos korrózióvédelem potenciálkülönbséget okozhat a földelési pontok között.

Sztatikus elektromosság miatt a tárolt energia szikra formájában szabadítható fel, és így gyújtóforrásként működhet. Nem-villamos berendezések és alkatrészek esetén is számolni kell vele. Normál működés közben fellépő súrlódás is lehet elektrosztatikus feltöltődés oka.

(Érdekesség: Porelszívó vezetékekben a szellőztetés néhány órás szünetelése után finom részecskék maradnak vissza a levegőben, ami a szellőzés újraindításakor száraz időben a levegővel való súrlódása révén elektrosztatikus töltést vehet fel, és ennek kisülési szikrájától – porvillám – meggyúlhat.)

Villámcsapás és a villámlás hatása gyújtást okozhat robbanásveszélyes területen. Példaként vehető a villámlás által keletkezett magas hőmérséklet

Rádiófrekvenciás hullámok gerjeszthetők különféle elektromos berendezésekkel, mint például a mobiltelefon.

Egyéb lehetséges források:

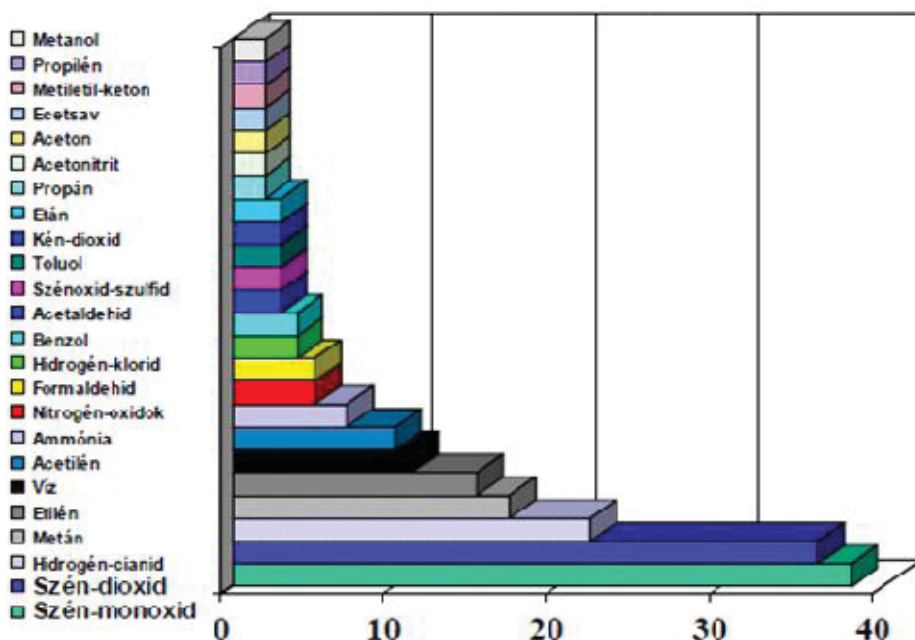
- Elektromágneses hullámok ($3 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^{15}$ Hz)
- Ionizáló sugárzások
- Ultrahang
- Adiabaticus kompresszió és lökeshullámok
- Exoterm reakciók, beleértve a porok öngyulladását

1.8 Égéstermékek

Égéstermék az éghető anyag elégése alkalmával keletkező, főként éghetetlen alkotórészeket tartalmazó termékek gyűjtőneve. Ezek részben légneműek, részben szilárdak. A gáznemű oxidok képezik az égési gázok fő alkotórészeit. Az égési gázok mellett nitrogént és egyéb, az égés folyamatában részt nem vevő alkotórészeket, valamint el nem használt oxigént is tartalmaz. A szilárd anyagok részben oxidok, részben az égési anyag el nem égett, illetve nem éghető alkotórészei.

Az égéstermékek ismerete a tűz oltásánál, valamint a keletkezési ok megállapításánál nagy segítséget ad. A füst színe a gyorsabb beavatkozást segítheti elő, mivel színéről felismerve már a külső felderítés alkalmával általában meg lehet állapítani, hogy mi ég. A hamu és salak az anyag összetételének vizsgálatára ad lehetőséget, ami viszont a keletkezési ok megállapítására döntő bizonyítékot szolgáltatathat.

Az égéstermékek összetétele az anyag kémiai összetételétől az égéshez rendelkezésre állt oxigén mennyiségétől és azoktól a fizikai feltételektől függ, amelyek között az égési folyamat végbe ment.



34. ábra: Légnemű égéstermékek tipikus összetevői és hozzávetőleges arányuk

1.8.1 Égési gáz

A füst zárt fázisa, a füstgáz legtöbbször vízgőzből és széndioxidból áll. Az összetételt az égő anyag vegyi összetétele határozza meg. Csak olyan fajtájú és mennyiségű gázok keletkezhetnek, amelyek az anyagok összetételére jellemzőek (például szén, korom). Az égő tárgytól elszálló gomolyag a legtöbb esetben ködből (gőzből) és füstből álló keverék.

1.8.2 Füst

Füstnek a gáznemű közegben lévő nagyon kicsi szilárd részecskék eloszlását nevezzük. Ezeknek a szilárd részecskéknek az átmérője 10^{-6} és 10^{-8} m között ingadozik. A nagyobb átmérőjű részecskék korom és hamu formájában kiválnak a füstgázokból. A különböző anyagok égésénél keletkező füstgázok azonban nem csupán összetételekben különböznek egymástól, hanem színük és szaguk is más. A füstgázok szaga az égő anyag összetételétől függ, és a tökéletlen égés termékeiből származik. Így a selyem, gyapjú, gumi, bőr égésénél keletkező füst kellemetlen, szúrós szagú, és maróan hat a szem és a légutak nyálkahártyáira.



35. ábra: A füst különböző megjelenési formája

Az ásványolajtermékek tökéletlen égésénél a kormon kívül telítetlen szénhidrogének is képződnek, amelyek sajátos szagúvá teszik a füstgázokat. A füstgázok színéből következtetni lehet arra, hogy az égő anyag melyik meghatározott csoportba tartozik. A füst színe azonban jelentősen ingadozhat ugyanannál az anyagnál is, az égési folyamat lefolyását meghatározó feltételek változása következtében.

A fentiek alapján a fa égésénél szürkésfekete, a papírnál, szalmánál és szénánál ezzel szemben szürkés füst keletkezik. A szövet barna, az ásványolajtermékek pedig fekete füsttel égnek el. Fehér füstöt fejleszt például a foszfor, magnézium, de ebben az esetben az égést jellemző szag és heves fényjelenség kíséri.

13. táblázat

Éghető anyag	Szín	Szag	Íz
Fa	szürkésfekete	gyantás	savanyú
Gyapjú	barna	sajátos	savanyú
Gumi	feketésbarna	kénes	savanyú
Foszfor	fehér	ingerlő	–
Kén	–	kénes	savanyú
Kálim	fehér	–	maró

A fehér füstszín megtévesztő is lehet, főleg akkor, ha a tűz még a keletkezési stádiumban van, és a felszabaduló hő csak arra elegendő, hogy a nedves anyagokból a vizet elpárologtassa. Egyes égő anyagok füstjének jellemző színét, szagát és ízét a 13. táblázat tartalmazza.

Ha egy tüzeset alkalmával füstöt egyáltalán nem vagy csak csekély mértékben észlelünk, akkor valószínű, hogy könnyen gyúló, jól éghető anyagok égésével állunk szemben, amelyek kevés füst, de annál nagyobb lángképződés mellett égnek el. Füst hiánya, illetve kevés füst jelenléte arra is figyelmeztethet, hogy az égő anyagok olyan helyen vannak, ahol bőséges a levegő mennyisége, ezáltal a tűz gyorsan terjedhet.



36. ábra: Gáz- és kőolaj-tüzelésű erőművek füstje

1.8.3 Korom

Nagyon finom, mélyfekete, víztaszító por, mely grafityszerű szénkristályokból áll. Koromkátrányok, olajok, gumik vagy szénhidrogénekben gazdag földgázok égése alkalmával elégtelen mennyiségű levegő (oxigén) esetén válik ki. Ilyenkor a hidrogén elég, a szén pedig a tökéletlen égés következtében korom alakjában található meg. A koromképződés annál erősebb, minél gazdagabb szénben az éghető anyag, s minél tökéletlenebb az égés. A finom koromrészecskék gyakran nagyobb részecskéi koncentrálnak, amelyek pelyhekben kiválnak a füstből. A pehelykorom nagyon veszélyes, mert sokáig izzik, és szikraszórásával hozzájárulhat újabb tüzek keletkezéséhez.



37. ábra: Erősen kormozó lánggal égő tüzek

A korom vízlepergető hatása, ezért tűzoltáskor a természetes formában megjelenő vízzel nem vagy csak nehezen oltható. A hatékony tűzoltás érdekében felületi feszültség csökkentő anyagot, minimális mennyiségű (kb. 1% vagy alatta) habkoncentrátumot keverünk hozzá.

1.8.4 Hamu

Az éghető anyagok tökéletes (teljes) elégetésekor visszamaradó, nem éghető szilárd alkotórészek összessége. 100 kg fa elégetése alkalmával általában 0,2–2 kg hamu marad vissza, amely karbonátok, szulfátok; foszfátok stb. változó arányú keveréke. (14 különböző eredetű fahamuban a következő anyagokat találták: 24–40% K_2O -t; 0,95–86% P_2O -t és 20,3–47,8% CaO -t.).

A tömör, összesült hamut salaknak nevezzük. Összesülésének oka, hogy az éghető anyag fémes anyagokat is tartalmaz, amely a hő hatására megolvad, majd lehűlés után szilárd anyaggá áll össze.

2. FEJEZET

A hőátadás és a tűzterjedés formái

Az égés című fejezetben az aktiválási energia formáit már meghatároztuk. Megállapítást nyert, hogy az égés megindulásához meghatározott mennyiségű hőenergia szükséges, s a hőenergia mennyiségének valamilyen formában az éghető anyaghoz kell kerülnie. Ezeket a formákat – az aktiválási energián kívül – a hőátadás formáinak is nevezhetjük. Tűz alkalmával minden esetben találkozunk az említett hőátadási formákkal, és ezért szükséges megismerni azokat a jellemző tulajdonságokat, amelyek alapján a megfelelő védőintézkedéseket meg lehet tenni. Ha két különböző hőmérsékletű test (legyen az szilárd, cseppfolyós vagy légnemű halmazállapotú) egymással kapcsolatba kerül, hőkicserélődés indul meg. A melegebb hőenergiát ad le, a hidegebb hőenergiát vesz fel. Ezt a jelenséget nevezzük lényegében hőterjedésnek.

Tapasztalatok szerint a hő az egyik testről a másikra vagy egyik helyről a másik helyre lényegében három módon terjedhet. A forró teába tett fémkanál kiálló vége hővezetés folytán melegszik fel, az alulról melegített víz vagy levegő (gáz) felső rétegei az áramlással kapcsolatos hőáramlás (hőkonvekció) miatt válnak meleggé, az izzólámpa közelébe vagy a napsugarak útjába helyezett hőmérő pedig túlnyomó részben hőszugárzás miatt mutat felmelegedést. A hőátadás formái: hővezetés; hőáramlás; hőszugárzás.

Az említett formákat – a jellemző tulajdonságok alapján – jól meg lehet különböztetni egymástól, ezért a tűz terjedésének irányát a legtöbb esetben ennek alapján előre meg lehet határozni. Éppen ezért már a tűz felderítése alkalmával a tűzoltás vezetője legyen tekintettel ezekre a tűzterjedési lehetőségekre is.

2.1 Hővezetés

Hővezetésnél a hő valamely anyagban a melegebb helyről a hidegebb felé terjed úgy, hogy anyagáramlás nem jön létre. Az anyagban a molekulák, illetve az atomok rendezett mozgást nem végeznek, hanem rendezetlen hőmozgásuk energiájának egy részét ütközés útján a szomszédos részekre adják át.

Ezt a jelenséget tapasztaljuk például, ha egy fémcső egyik végét megfogjuk, a másik végét pedig a lángok közé tesszük. Egy bizonyos idő után – hővezetés következtében – a cső kiálló vége is átmelegszik (38. ábra).

A melegítés hatására tehát a molekulák, illetve atomok mozgása a hőmérséklet nagyságának megfelelően megnő. A nagyobb mozgású részecskék ütköznek a mellettük lévő részecskékkel, ennek következtében azok mozgása felgyorsul. A mozgás hatására – a fel lépő sűrűlődés következtében – az anyag hőmérséklete is emelkedik. A magasabb hőmérséklet hatására természetesen ez a folyamat is felgyorsul, és az egész anyagra átterjedhet.

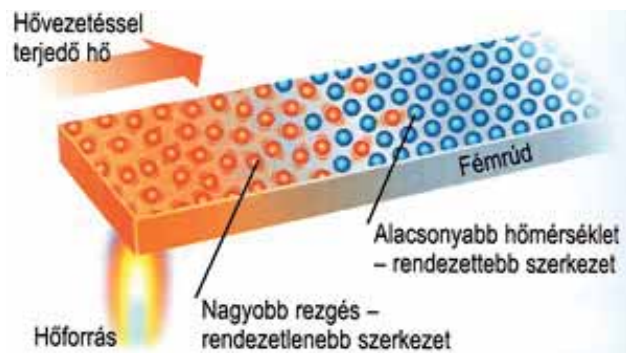
A hő az ütközések következtében terjed az anyagban, tehát a hővezetés anyaghoz van kötve, légüres térben hővezetés nem jöhet létre.



38. ábra: A hővezetés egyszerű példája

Különböző anyagok különböző mértékben vezetik a hőt. A testek hővezető képességét a hőáram erősségével (I) jellemezzük. Ezt a test valamely keresztmetszetén áthaladó hőenergia (Q) és az áramlási idő (t) hányadosa adja. Ezek szerint: $I = Q/t$. Gyakorlati mértékegysége: kJ/h.

A test anyagi minőségétől függ az ún. hővezető tényező. Ezekből látható, hogy a fémek jó hővezetők. A hővezetés erőssége egyenesen arányos a hővezető test végei között mért hőmérséklet-különbséggel, a test keresztmetszetének felületével, és fordítottan arányos annak hosszúságával.



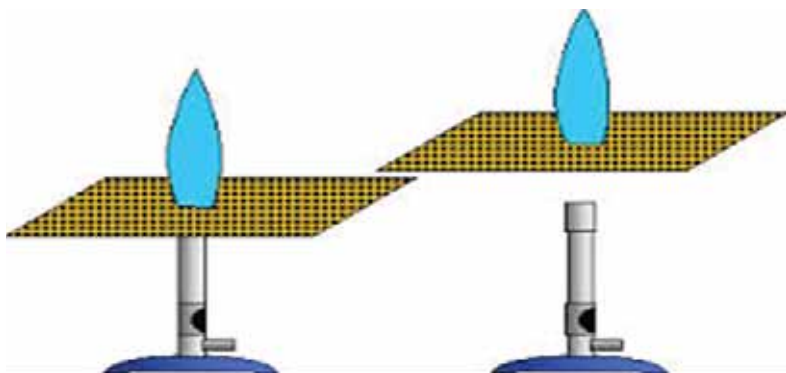
39. ábra: A hővezetés mechanizmusának szemléltetése

Az anyagok lehetnek: jó hővezetők és rossz hővezetők. A jó hővezetők közé tartoznak a már említett fémek. Rossz hővezető például a fa, papír, gumi, amelyet hőszigetelésre is szoktak használni. Ezek a jelenségek könnyen bizonyíthatók, hiszen ha egy rövidebb drót egyik végét a lángok közé vagy izzó (parázsló) felületre tesszük, csakhamar el kell engedni, mert áttüzesedik, ezért nem tudjuk kézben tartani. A meggyújtott gyufaszálat viszont tudjuk fogni, mivel a hőt nem vezeti. A fémedények fogantyúját ezért szokták hőszigetelő anyaggal bevonni. A széndioxiddal oltó tűzoltókészülék hőszórócsövének

fogantyúja is hőszigetelővel van ellátva, hogy kezünkön ne okozzon sérüléseket a gyorsan lehűlt fémes rész.

A Davy-féle bányáslámpa működésének lényege is ezen alapszik. Ez bizonyítható azzal, hogy a lámpába beépített, jó hővezetőből készült dróthálón a láng nem tör át, mert a háló olyan gyorsan vezeti el a hőt, hogy a háló fölött a gáznak nincs meg az égéshez szükséges hőmérséklete. Ha viszont a háló fölött gyújtjuk meg a lángot, akkor a háló alatt nem ég a gáz.

A fémek jó hővezetése a magyarázata annak is, hogy ugyanolyan hőmérsékletű fém és fa közül a fémeket érezzük hidegebbnek. A folyadékok, például a víz kis hővezetőképességet mutat. Példa lehet a bizonyításra a következő kísérlet: egy kémcsőben a vizet felső részén forrásig hevítjük anélkül, hogy a nehezebbel alul tartott jégdarab gyorsabban olvadna. Ha a jég a víz felületén lenne, akkor az alulról melegített víz a jeget a hőáramlás következtében hamar elolvasztaná.



40. ábra: A Davy-féle lámpa működési elve

A gázok hővezető képessége igen csekély. A legnagyobb a hidrogéné, amely a levegőnek kb. hétszerese. Ez az oka például annak, hogy megfelelő erősségű elektromos árammal melegített két egyforma platinadrót közül a levegőben lévő drót izzásba jön, a hidrogéngázban lévő azonban nem. (Levegő esetén a hő nem vezetődik el, és a hőenergia fényenergiává alakul át.)

A hővezetésnek azonban sok esetben hasznát tapasztaljuk, sőt azt a magunk javára is fordítjuk. Hővezetés nélkül lehetetlen lenne a főzés, melegítés. A robanómotorok hengerfala például izzásba jönne, ha a keletkezett hőenergia elvezetését nem biztosítanánk. Ezért bordázott a motorhenger külső fala, a központi fűtőtest, hogy a felületük növelésével a környezetnek átadott hőmennyiséget növelni lehessen.

A hővezetés alkalmával beszélhetünk belső, illetve külső hővezetésről.

- Belső hővezetés alkalmával ugyanazon test molekuláin (atomjain) keresztül terjed a hő: így például az egyik végén melegített fémtálcában, továbbá kályhának, kazánnak, szobának falában. Belső hővezetésnél feltétel az összefüggő vezetőközeg.

- A külső hővezetés alkalmával a hő terjedése két egymással érintkező idegen test között az érintkezési felület mentén megy végbe; ilyen módon adódik át például a kályha felületéről a vele érintkező levegőnek.

A hővezetés a tűz terjedésében nagy szerepet játszik, és ha nem vesszük figyelembe a lehetőségét, újabb tűz keletkezését idézhetjük elő. Ezért a felderítés és az átvizsgálás terjedjen ki a helyiségben a beépített vagy átvezető fémes anyagok (csővezetékek, tartószerkezeti részek stb.) felülvizsgálatára, és meg kell állapítani, hogy a hővezetés lehetősége fennáll-e, illetve milyen méretű, hogy adott esetben a megfelelő intézkedést meg lehessen tenni. (Hegesztés alkalmával is sok esetben lehet a tűz okozója a hővezetés. Különböző fémcsövek a hegesztés következtében áttüzesednek, és ennek következtében elvezetődik a hő.)

Nem szabad figyelmen kívül hagyni azonban, hogy nemcsak a fémek vezetik a hőt, hanem bizonyos hővezetőképességgel rendelkezik például a fal is. A hővezetés lehetősége nemcsak fémes anyagok jelenléte esetén áll fenn, hanem minden olyan anyag veszélyes lehet, amely a hőt, ha csak kis mértékben is, de vezet. Ezért ajánlatos ismerni az anyagok hővezetési tényezőjét, hiszen ez megmutatja, hogy milyen mértékben képes a hőt elvezetni. Ebben a hőátbocsátó tényező is szerepet játszik.

Ha a hőenergia melegebb közegből szilárd falon keresztül jut át a hidegebb közegbe, hőátbocsátásról beszélünk. Mértékegysége: $W/m^2 \text{ } ^\circ C$. Ilyenkor a melegebb közegből a falba való átlépéskor hőátadás, a falban hővezetés és a falból a másik közegbe átlépéskor ismét hőátadás történik.



41. ábra: A hőszigetelő anyag hatása a hővezetésre

A tűzoltásvezető– hővezetés alkalmával – az alábbi intézkedésekkel tudja a tűz terjedését megakadályozni: a felmelegedett, áttüzesedett szerkezeti elemekkel, csövekkel (általában fémes anyagokkal) érintkező éghető anyagokat el kell távolítani. A felmelegedett, áttüzesedett fémes részeket megfelelő oltóanyaggal állandóan hűteni kell. A felmelegedett, áttüzesedett fémes részeket – az éghető anyagtól – megfelelő hőszigetelővel el kell szigetelni. A hővezetés – ha erre lehetőség és mód van – megszüntethető a hővezető anyag elvágásával vagy annak részbeni kiiktatásával.

2.2 Hőáramlás (konvekció)

2.2.1 A hőáramlás fizikai háttere

A hőterjedés egyik módja a hőáramlás. Hőáramlásnak vagy konvekciónak¹¹ nevezzük a hő terjedésének azt a módját, amelynél az anyag (folyadékok, gázok vagy gőzök) egyes részecskéi helyüket külső hatásra (például szivattyú, ventilátor, elszívó berendezés) vagy fajsúlykülönbség folytán elhagyják, és hőmennyiségüket magukkal viszik. A hőáramlás alkalmával a hő az anyaggal együtt mozog, és a hőközlés a mozgó részecskék hőenergiája útján annak továbbításával történik. Hőáramlás alkalmával a folyadékokban és gázokban a hőenergiát a közeg részecskéi viszik magukkal a melegebb helyről a hidegebb felé. Az anyagáramlás nélküli hővezetéssel szemben tehát a hőáramlás anyagáramlással járó energia-transzport.

A hőáramlás megfigyelhető például vízzel telt lombik alulról való melegítése alkalmával, ha a vízbe például alumíniumport teszünk. Azt tapasztaljuk, hogy az alumíniumpor a vízzel együtt áramlani kezd, azaz mozgásba jön. Hasonlóan a négyszög alakúra hajlított üvegcsőben a víz az egyik alsó sarkon való melegítés esetén cirkulálni kezd (mozgásba jön), mintha szivattyú hajtaná a vizet. Ugyanezt a törvényszerűséget használják fel a szellőztető, valamint a kémények építésénél is. A természetben is találkozhatunk a hőáramlás jelenségével. Hatalmas arányú, rendkívül nagy hőmennyiségeket szállító hőáramlások a szelek és a tengeráramlatok is.

Ha a hőáramlást meg tudjuk akadályozni, akkor ezzel megakadályozzuk az alacsonyabb hőmérsékletű anyagok felmelegedését is. A sokrétű anyagok (például vatta, parafa, üvegyapot) főleg azért jó hőszigetelők, mert belsejükben számottevő levegőáramlás nem alakulhat ki. A ruházat melegítő hatása is a testünket körülvevő levegő mozgásának megakadályozásával, illetve csökkenésével függ össze.

A tűz alkalmával felszabaduló hőenergia hatására keletkező felmelegedett gáznemű égéstermékek állandó mozgásuk folytán érintkeznek a könnyen gyúló szilárd anyagokkal. Ennek hatására ezek az anyagok annyira felmelegedhetnek, hogy elérik gyulladási pontjukat, és meggyulladnak. A tűz ilyen irányú terjedésének a feltétele, hogy olyan mennyiségű és hőmérsékletű égési gáz áramoljon, amely minimum az éghető anyag gyulladási hőmérsékletével egyenlő. Annál előbb és könnyebben gyullad meg az anyag, minél alacsonyabb a gyulladáspontja és minél magasabb az áramló levegő hőmérséklete.

Az anyagok gyulladási pontjának ismeretéből következtetni lehet a tűz keletkezésének várható helyére, és megfelelő intézkedésekkel a tüzet meg lehet akadályozni. A felmelegedett égéstermékek állandó mozgásából (áramlásából) arra lehet következtetni, hogy a tűz terjedése abba az irányba fog haladni, amerre a gáznemű égéstermékek nagy sebességgel áramlanak, és ahol az éghető anyagok gyulladási pontja a legalacsonyabb.

Az égéstermékek nagyobb sebességgel áramlanak a felvonóakna vagy lépcsőház felé, mint az ablaknyílás irányába. Ugyanígy a tűz is erőteljesebben terjed a felvonóakna irá-

¹¹ Konvekció: latin eredetű szó, jelentése: hőt szállító, felszálló légáramlás.

nyába és ezen keresztül az emeletszintekre, sőt a tetőszerkezetre is. A fenti megállapításokat a gyakorlati tapasztalatok is bizonyítják. Előfordult, hogy a pincehelyiségben lévő tüzelőanyag égésekor a hőáramlás következtében a lépcsőházon keresztül a tetőszerkezet is meggyulladt, és komoly anyagi kár keletkezett.

A tűz terjedésének iránya a legtöbb esetben megegyezik a hő áramlásának irányával. A tűzoltás vezetője már a felderítés során – amikor a tűz terjedésének várható irányát állapítja meg – vegye figyelembe a hőáramlás irányát, az áramlási sebességet, valamint az égéstermékek útjában lévő, főleg könnyen gyúló, éghető anyagokat. Ha a tűzoltás vezetője hőáramlást tapasztal, és az elősegíti a tűz terjedését, különböző intézkedéseket kell hoznia annak megakadályozására.



42. ábra: A hőáramlás és hőszugárzás mechanizmusának szemléltetése

2.2.2 A hőáramlás csökkentésének lehetőségei

A tűzoltásvezető az alábbi lehetőségekkel, intézkedésekkel csökkentheti a hőáramlás lehetőségeit:

- A helyiség lezárása, ajtók, ablakok, akna stb. becsukása, illetve befedése. Ezzel elérhető, hogy ne jöjjön létre hőáramlás az egyik helyiségből a másik helyiségbe, illetve a lehetőségekhez képest a minimumra csökkentjük.

- Az égéstermékeknek a kevésbé veszélyes vagy veszélytelen irányba való terelése. Az ajtók, ablakok, szellőzők stb. becsukásával, illetve kinyitásával elérhető, hogy a hőáramlás irányát a tűzoltás vezetője határozza meg. Ez a mód főleg abban az esetben kerül előtérbe, ha az egyes helyiségekben könnyen gyulladó anyagokat tárolnak, és a „természetes” hőáramlás is ebbe az irányba mutat.
- Nyílások létesítése. Ha szükségessé válik és taktikai szempontból is alkalmas, nyílásokat kell létesíteni, amivel a hőáramlás iránya meghatározható. A bontást (nyílást) csak azon a helyen szabad létesíteni, ahol a forró égéstermék a veszélytelen irányba távozik. Bontás alkalmával azonban számolni kell a tűz terjedésének fokozódásával is. Ezért szükséges – még a bontás megkezdése előtt – a tűz oltásának feltételeit biztosítani. Ahol a nyílást létrehoztuk, meg kell szervezni a védelmet, hogy a tűz esetleges terjedését meg tudjuk gátolni.
- Az égéstermék hőmérsékletének – főleg porlasztott sugárral való – csökkentése. Ha a hőáramlás iránya nehezen változtatható meg, és a változtatás szükségessége feltétlenül indokolt, a hőáramlás hőmérsékletét porlasztott sugárral nagymértékben csökkenteni lehet. Ebben az esetben a sugár helyét és működésének irányát úgy kell meghatározni, hogy a veszélyeztetett irányban áramló hőt lekösse, és vízkárt lehetőleg ne okozzon.
- Elszívó-berendezések, ventilátorok stb. leállítása, illetve bekapcsolása. A mesterséges hőáramlás lehetőségét is figyelembe kell venni. Abban az esetben, ha az említett berendezések elősegítik a tűz terjedését, akkor ezeket a berendezéseket le kell állítani. Ha működésükkel a légáramlás kedvező irányba halad, vagy a tűz oltását elősegíti, akkor azok bekapcsolásáról gondoskodni kell. A mesterséges szellőző berendezések leállításáról vagy működtetéséről – a helyzetnek megfelelően – a tűzoltás vezetője köteles dönteni.

A hőáramlás nemcsak hőenergiát, hanem égésterméket (füstöt, kormot stb.) is magával visz, ami látáscsökkenést okoz, és a természetes légzést lehetetlenné teszi. Megfelelő védőfelszereléssel például sűrített levegős légzőkészülékkel, füstelszívóval ezeket az ártalmakat csökkenteni lehet. A füstelszívó berendezéssel vagy elszívjuk, vagy friss levegő befújásával eltávolítjuk a felgyülemlett égésterméket. Ez utóbbiak közé tartozik a pozitív nyomásos ventiláció lehetősége is.

2.3 Hősugárzás

2.3.1 A hősugárzás fizikai háttere

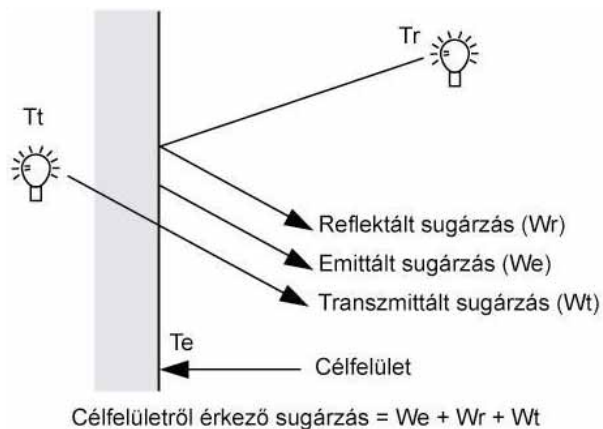
A hősugárzás a hő terjedésének egyik formája. Tűz alkalmával minden esetben találkozunk hősugárzással, amely jelentősen elősegítheti annak terjedését. A hősugárzás a hő terjedésének az a módja, amelynél sugárzás (hősugarak) útján terjed a hő, az egyik testről a másikra anélkül, hogy a két test közötti közeget melegítené. Így közli például a Nap melegét a Földdel. A hősugarak terjedéséhez nincs vezető közegre szükség, azok légüres térben is terjednek.



43. ábra: A hősugárzás mechanizmusának szemléltetése

Amikor például a Nap vagy ívlámpa sugarait hőmérőre vetítjük, a higanyszál emelkedni kezd akkor is, ha a sugarak útjába vastagabb átlátszó üveget teszünk. Ebből és hasonló jelenségekből arra lehet következtetni, hogy a testek hőenergiájuk egy részét sugárzási energia alakjában bocsátják ki, más testek pedig elnyelik a rájuk eső hősugárzás egy részét. Az egymással hősugárzási kölcsönhatásban lévő A és B testek közül például a melegebb A azért hűl le, mert ugyanannyi idő alatt több hőenergiát sugároz, mint amennyit B-nek a sugárzásával elnyel. A hidegebb B viszont azért melegszik fel, mert több energiát nyel el az A sugárzásából, mint amennyit maga kibocsát.

A testek elnyelik, visszaverik vagy átbocsátják a hősugarakat. Azokat az anyagokat, amelyek a hősugarakat nem bocsátják át, atermánoknak nevezzük.¹² Ilyen anyagok például a víz vagy a fémek. Azokat az anyagokat, amelyek a hősugarakat átbocsátják, diatermán¹³ anyagoknak nevezzük. Ilyen anyag például a levegő, üveg, gázok.



44. ábra: A sugárzás elnyelésének különböző lehetőségei

¹² Atermán: görög szó, jelentése: hősugarakat át nem eresztő test.

¹³ Diatermán: görög szó, jelentése: hősugarakat átteresztő.

A különböző testek hőelnyelő képessége anyagi minőségüktől, felületi állapotuktól és a hőmérsékletüktől függ. A sötét, durva felületű test több hőt nyel el, mint a sima és fényes felületű. A fekete testre jellemző, hogy a hősugarakat majdnem teljesen elnyeli, és eközben az elnyelt sugárzási energia arányában felmelegszik.

A sima, fényes felületű (fehér színű) testek a hősugarakat nagy arányban visszaverik. Ez a magyarázata annak, hogy a hűtőkocsikat, hűtőszekrényeket fehérre festik, valamint annak is, hogy nyáron a hősugarak ellen célszerű fehér vagy világos színű ruházatot viselnünk.

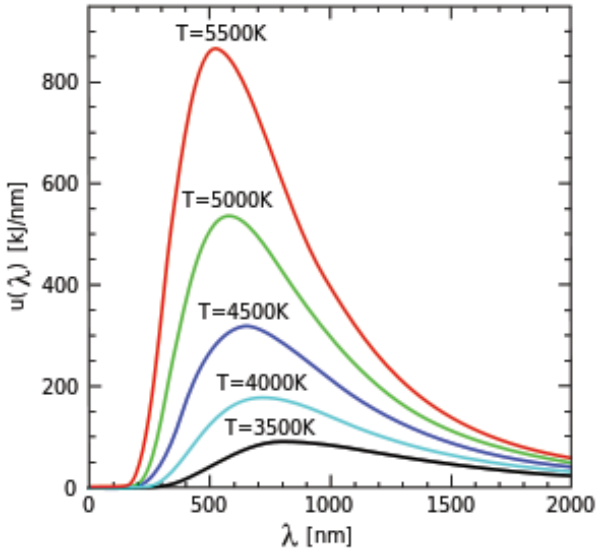
A hőkisugárzás intenzitásán azt a kalóriában kifejezett hőmennyiséget kell érteni, amely másodpercenként 1 m^2 nagyságú felületre jut. Jele: $\text{W}/\text{m}^2\text{s}$.

A sugárzási törvényeket nem lehet pontosan leírni a klasszikus energia-fogalom segítségével. Plank német fizikus 1900-ban – gyökeresen új alapokra téve – új sugárzási törvényt állapított meg. Számításaiban abból az elméleti feltételezésből indult ki, hogy az energia-kisugárzás, illetve az energia-elnyelés nem folyamatosan, hanem szakaszosan, meghatározott kis adagokban, ún. kvantumokban történik. Az energiakicserélődés azonban olyan gyorsan következik be, hogy azt a gyakorlati életünkben folyamatosnak vehetjük. Energiakvantum (E) az energiát szállító sugárzás rezgésszámával (n) arányos: $E = hn$. A h az ún. Planck-féle állandó, értéke: $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}$.

A hősugaraknál is ugyanazok a törvényszerűségek érvényesek, mint a látható fény-sugaraknál, ezek csupán a rezgésszámukban, illetve a hullámhosszukban különböznek. Ezt a meghatározást alátámasztja az is, hogy a hősugárzás magas hőmérséklet alkalmával mint fény jelentkezik. A megállapítás bizonyítható, ha egy érzékeny elektromos hőmérőt vezetünk végig az izzólámpával létesített színek különböző helyein. Azt tapasztalható, hogy a hőmérséklet emelkedésével kb. $500 \text{ }^\circ\text{C}$ -on megjelenik a látható színek sötétvörös színe, amely egyre világítóbbá, egyre fehérebbé válik. Kb. $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ -on az ultrabolya sugarak is kimutathatók. E kísérleti és elméleti kutatások alapján megállapították, hogy milyen összefüggés van a kisugárzó energia, a hőmérséklet és a hullámhossz között. Stefan–Boltzmann törvénye szerint a test egységnyi felületéről időegység alatt kisugárzott összes energia a sugárzó test abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával arányos. E törvényből következik, hogy minden szilárd és cseppfolyós test hőmérsékletétől függően sugároz energiát (hőmérsékleti sugárzás). Ha a környezet hőmérséklete megegyezik a test hőmérsékletével, látszólag nincs hősugárzás. Valójában pedig a test által kisugárzott energia és a környezet visszasugárzott energiája energiaegyensúlyt (állandó hőmérsékletet) létesít.

A hősugaraknak a testekből való kilépéséhez meghatározott energiára van szükségük. A legnagyobb energiával kisugárzott fény hullámhossza tehát annál kisebb, minél magasabb a test hőmérséklete. Ezt az összefüggést Wien fedezte fel. Bebizonyította, hogy a nagyobb energiával kisugárzott fény hullámhossza és az abszolút hőmérséklet szorzata állandó. Mindezek alapján megállapítható, hogy a tudomány mai állása szerint a fény kettős természetű: egyrészt elektromágneses hullám, másrészt foton is. Elektromágneses hullámokon terjed, a térben fotonként viselkedik, és ha az anyaggal kapcsolatba kerül, energia-kicserélődés jön létre. Fotonnak nevezte el Einstein német fizikus 1905-ben a fényenergia kvantumjait. Már 1901-ben az orosz Lebedev felfedezte, hogy a fénynek

(itt a sugárzásnak is) nyomása van, tehát meghatározott tömeggel egyenértékű. Ebből igen fontos következtetést vonhatunk le, mégpedig azt, hogy az energia és a tömeg között szoros kapcsolat van. Minden energia (természetesen a fényenergia is) meghatározott tömeggel és minden tömeg meghatározott energiával egyenértékű.



45. ábra: A test hőmérsékletének és a kisugárzott energia hullámhosszának a kapcsolata

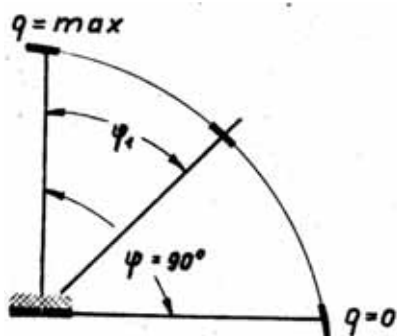
A hősugárzás minden irányba egyenes vonalban terjed, ugyanolyan sebességgel, mint a fénysugarak (3×10^8 m/s = 300 000 km másodpercenként). A törvényszerűség egyik megállapítása, hogy a hősugárzás minden irányban egyenes vonalúan terjed, ugyanúgy, mint a fénysugár. Egyenes vonalú terjedésen alapszik a sötétkamra működése, az árnyékjelenség, a nap- és holdfogyatkozás stb. Ebből a megállapításból az következik, hogy a hősugárzás is „leáryékolódik”.

A hősugarakat tehát meg lehet szakítani, ha hősugarakat át nem eresztő anyagot teszünk annak útjába. Ezeket a gyakorlatban is alkalmazzuk, például amikor a kályha és az éghető anyag (például bútor) közé hőszigetelőt teszünk, és ezzel védjük a hősugárzástól. Tűz alkalmával egyes épületrészek (melyek egymást takarják) védik az éghető anyagot a gyulladástól, és ezeket a természetes védelemlehetőségeket a tűzoltás vezetőjének figyelembe kell venni.

A hősugarak intenzitása merőleges irányban a legnagyobb. A merőleges iránytól eltérve értéke (ereje) fokozatosan csökken, és 90° -nál a 0-val lesz egyenlő.

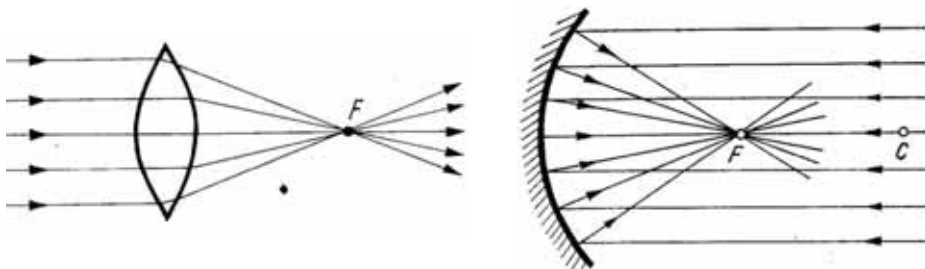
Ha a hősugárzás eltér a merőleges iránytól, akkor egy része a határfelületen visszaverődik, és az új közeg határához érve a beesési szöghöz képest ugyanakkora szög alatt verődik vissza, mint amennyivel belép a közegbe; másik része pedig irányát megváltoztatva behatol a közegbe. Ezt a jelenséget törésnek nevezzük. Ha a hősugarak törést szen-

vednek – nem merőleges becsapódás esetén –, energiájukból veszítenek. Ez érthető is, hiszen 90° -os szögelfordulás alkalmával – mivel a hőszugárzás is egyenes vonalban terjed – a felületre nem képes becsapódni és hőenergiát leadni. A fenti jelenséget gyakorlatban is tapasztaljuk, például télen a napsugár beesési szöge jóval kisebb, ezért a hőszugárzás intenzitása is kisebb lesz. Tapasztaljuk még ezt a jelenséget a reggeli és a déli napsugarak (hőszugarak) különböző erősségénél is.



46. ábra: A hőszugárzás intenzitásának és a beesési szögnek az összefüggése.

Előfordulhat, hogy a hőszugarakat egy pontba összegyűjtő anyag hatására tűz keletkezik. Ilyen anyag például az üveg, amely a nagyítólencse tulajdonságaival rendelkezik. Ezeket a lencsákat, anyagokat fizikai nyelven fénytani lencsének nevezzük. Kétfajta lencsetípus ismeretes: a gyűjtő (konvex) és szórt (konkáv) lencse. A gyűjtőlencse is lehet tehát a tűz keletkezésének okozója. A lencsén átmenő fénysugár kétszeresen megtörik. A domború lencse főtengelyével párhuzamosan beeső fénysugarak törés után egy pontban, az ún. gyújtópontban egyesülnek. Ezért nevezzük a domború lencsét gyűjtőlencsének. A gyújtópontnak a lencse fénytani középpontjától számított távolsága a gyújtótávolság.



47. ábra: Domború és homorú lencsék gyújtópontja

Abban az esetben, ha a domború üveg a hőszugarakat (fénysugarakat) egy pontban „összegyűjti”, és ott éghető anyag található – a hőszugarak egy pontban való találkozás miatt –, azt meggyújthatja. (Természetesen, ha a gyulladási hőmérsékletet eléri.) Ugyanez a jelenség tapasztalható a homorú lencse (üveg) esetén is. Ha a homorú tükörre

a tükör főtengelyével párhuzamos fénysugarakat bocsátunk, visszaverődés után a sugarak kis nyílásszög esetén egy pontban metszik egymást. Ez a pont a tükör gyújtópontja, vagy fókusza. Mivel a fénysugár útja megfordítható, a gyújtópontból kiinduló és a tükrőről visszaverődő sugarak a fénytani főtengellyel párhuzamosan haladnak. Például a homorú tükröre vagy üvegre eső napsugarak a fókuszbba helyezett papírt meggyújtják. Innen származik a gyújtópont elnevezés is. Ez is igazolja, hogy a fény sugárzó energia.

A hősugárzás hatása a hőforrás és az anyagok közötti távolságtól is függ. A hősugárzással áthaladó hőmennyiség fordítottan irányos a hőforrás, valamint az anyag közötti távolság négyzetévet. A meghatározást úgy kell értelmezni, hogy a távolság növekedésével csökken, a távolság csökkenésével pedig nő a hősugárzás intenzitása. A meghatározás második része kimondja, hogy a hősugárzás intenzitása a hőforrás és az éghető anyag közötti távolság négyzetével arányos.

Ha a két anyag közötti távolság 5 m ($5^2 = 25$), tehát 25-ször csökken a hősugárzás intenzitása a hőforráshoz viszonyítva. Ha a távolság 10 m ($10^2 = 100$), tehát 100-szor lesz kisebb a hősugárzás. A számokból megállapítható, hogy a távolság igen fontos meghatározója a hősugárzás intenzitásának. Ezt a törvényszerűséget a megelőzés területén is figyelembe vesszük. A tűztávolságok meghatározásánál arra törekszünk, hogy esetleges tűz esetén – többek között hősugárzás következtében – ne terjedjen a tűz egyik építményről a másikra. A megelőző intézkedések (a tűztávolság előírása, tűzvédelmi felszerelések biztosítása stb.) nagymértékben elősegítik a mentő tűzvédelem munkáját is azáltal, hogy például hősugárzás következtében a tűz terjedésének lehetőségét minimálisra csökkentjük.

A tűzoltás vezetőjének a hősugárzás útján való tűzterjedés megakadályozására körültekintő intézkedéseket kell hoznia. A maximális hőkisugárzás a tűzfészek azon helyén jön létre, ahol a hőmérséklet a legmagasabb. A tűzfészek hőmérsékletének csökkentésével a hősugárzás intenzitásának csökkenését is elérjük, amely lényeges kihatással lesz a tűz további terjedésére.

2.3.2 A hősugárzás csökkentésének lehetőségei

A tűzoltás vezetője a hősugárzásra tekintettel a következőket vegye figyelembe, illetve már a felderítésnél állapítsa meg:

- A tűz közelében lévő létesítmény milyen anyagból épült. Minél alacsonyabb az épületrészek gyulladási pontja, annál könnyebben és korábban fog a hősugárzás következtében meggyulladni (egyenlő távolság és beesési szög esetén).
- Az épületek egymáshoz való viszonyát. Lényegében azt kell figyelembe venni, hogy az épületek vagy anyagok egymáshoz viszonyítva milyen szöveget zárnak be.
- Az épületek egymáshoz való távolságát.
- A hősugárzás nagyságát. E megállapítás alatt az égő anyag fűtőértékét és a tűz felületének nagyságát kell érteni. Ismert, hogy az anyagok égése alkalmával különböző mennyiségű hőenergia szabadul fel, amely természetesen a hősugárzás intenzitását is meghatározza.

A tűzoltás vezető a hőszugárzásra tekintettel az alábbi intézkedéseket tegye meg:

- Elsősorban a sugárzó felületek hűtésére tegyen intézkedést. Ez történhet vízzel, habbal, de főleg olyan tüzek alkalmával szükséges alkalmazni, ahol parázslás is tapasztalható. Lánggal való égés alkalmával (a láng is bocsát ki magából hőszugarakat) oltópor vagy oltógáz használata is elegendő lehet. Ez természetesen nem „hűtés”, hanem tűzoltás, de a hőmérséklet csökkenésével a hőszugárzás intenzitása is csökken.
- A sugárzó felületek (anyag vagy szerkezeti részek) elszigetelése. Ismert, hogy hőszigetelővel a hőszugárzás megakadályozható, ezért a hőszugarakat kibocsátó anyag és az éghető anyag közé hőszigetelőt (hőszugarakat át nem engedő anyagot) teszünk, és ezáltal megakadályozható a hőszugarak terjedése. Az említett forma ismert, és a gyakorlatban a megelőző tűzvédelem területén sok esetben alkalmazzuk. Például a transzformátorok közé épített védőfal azt a célt szolgálja, hogy tűz alkalmával a hőszugárzástól megvédje a mellette lévő transzformátort.
- Az intenzív sugárzásnak kitett éghető (főleg könnyen gyúló) anyagok eltávolítása. Ez a megoldás a tűzoltás módjának egyik alkalmazása.

A fentiekén kívül a tűzoltás vezetője – a helyzetnek megfelelően – egyéb intézkedéseket is tehet a hőszugárzás megakadályozására, illetve a hőszugárzás elleni védelemre, amit adott esetben alkalmazni kell.



48. ábra: Tűzoltók vízpajzzsal védekeznek a hőszugárzás ellen

2.4 A tűz terjedésének gázcsere alapú formái

A következő részben áttekintjük az égéshez kapcsolható, a tűzoltás szempontjából fontos jelenségek, így a gázcsere általánosan ismert és különleges eseteit. Elsőként a gázcsere általános eseteivel foglalkozunk.

2.4.1 Gázcsere

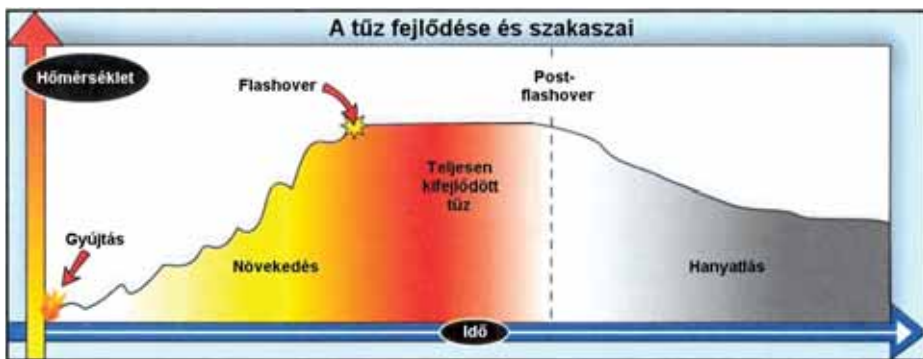
Gázcsere tűz alkalmával minden esetben létrejön a hűvösebb levegő és az égéstermék fajsúly-különbségének hatására. Ez a törvényszerűség a már eddig tanultak alapján ismert. Lényege, hogy a hőmérséklet emelkedésének hatására a gázmolekulák (levegőmolekulák) mozgása gyorsabb lesz, ezért térfogata megnő. A térfogat növekedése – az adott területen belül – fajsúlycsökkenést eredményez. Ez nyilvánvaló, hiszen például 1 m^3 gáztérben a mozgási sebesség növekedésének hatására kevesebb gázmolekula található, ezért könnyebbé válik, mint ugyanazon térfogatú gáztér. A felmelegedett gázok (levegő) mozgásba jönnek, és eltávoznak a tűz helyszínéről. A felszálló mozgás során a távozó levegő helyére nehezebb (hűvösebb) levegő áramlik. Alulról való melegítésnél a felmelegedett részek fajsúlyuk csökkenése miatt felemelkednek, és helyüket a hőforrásnál nagyobb fajsúlyú hideg részek foglalják el.

A természetes áramlás addig tart, amíg az egész hőmennyiség a hőforrással azonos hőmérsékletűvé válik. Felülről való melegítésnél nem jön létre áramlás, ekkor a közegnek a fajsúly szerinti rétegződése következik be, és ilyenkor a hő már csupán vezetés útján terjedhet a közegben.

A gázcsere áramlási sebessége annál nagyobb (gyorsabb), minél nagyobb a keletkezett égéstermék és a tűz környezetében lévő levegő hőmérsékletének különbsége. Ezt a törvényszerűséget a gyakorlati tapasztalatok is igazolják.

Az égés feltételei című fejezetben már bizonyítottuk, hogy különböző anyagok égésénél változó mennyiségű hőenergia szabadul fel (az anyag fűtőértéke), és az égéshez meghatározott mennyiségű oxigénre van szükség.

Az összefüggés is érthető, hiszen nagyobb hőenergia szabadulásához nagyobb mennyiségű oxigénre van szükség. Például a fa égéshője $21,7 \text{ MJ/kg}$, az elégéshez szükséges levegőmennyiség kb. $4,6 \text{ m}^3/\text{kg}$. Az ásványolaj értéke viszont kb. 43 MJ/kg , az égéshez szükséges levegőmennyiség pedig $10,8 \text{ m}^3/\text{kg}$. Ha megfigyeljük a számadatokat, akkor az tapasztalható, hogy a gázolaj égése során a felszabaduló hőenergia és az égéshez szükséges levegő mennyisége jóval nagyobb, mint a fa esetében. Ennek következménye tehát, hogy az ásványolaj égése alkalmával a gázcsere intenzitása is nagyobb lesz.



49. ábra: Zárt téri tűz fejlődési szakaszai

Ezeket a tudnivalókat ajánlatos ismerni, mivel a tűz oltásához szükségesek, hiszen ezek az értékek határozzák meg például a tűzoltópor és a tűzoltógáz felhasználása esetén a szükséges oltóanyag intenzitását is (lásd: Oltóanyagok c. fejezetben). Természetesen a gázcsere összehasonlítási alapját ugyanazon felületű tűzre kell érteni. Nyilvánvaló, hogy például 50 m² felületű faféleség égése alkalmával a gázcsere nagysága nagyobb, mint 10 m² alapterületű olajféleség égésénél, hiszen a felszabaduló hőenergia nagysága is nagyobb. A gázcsere –törvényszerűségénél fogva – biztosítja az égéshez szükséges oxigénmennyiség tűzhoz való jutását is, mégpedig meghatározott helyen (a tűz alsó részén).

Az említett tulajdonságok mind a szabadban lévő tüzek, mind a zárt helyiségekben keletkezett tüzek gázcsereire vonatkoznak. A tűz terjedésének azonban – a gázcsere következtében – meghatározott sajátosságai vannak szabadban és zárt helyiségben is.

2.4.2 Gázcsere nyílt területen

Ha a gázcsere (füst, gáztermék) áramlási sebessége növekszik – és szilárd halmazállapotú anyagok égnak –, akkor az izzó részek mennyisége és nagysága ennek megfelelően változik. Az izzó részecskéket (zsarátnokokat) a sebesen áramló füstgázok magukkal viszik. Ez a megállapítás igen egyszerű módon bizonyítható és szemléltethető a következő kísérlet által: vékony papírt (selyempapírt) hajtsunk össze henger alakúra és talpával felállítva tegyük az asztalra. Gyűjtsük meg a henger-papír felső részét, és azt tapasztaljuk hogy bizonyos idő után a részben elégett papírdarab felemelkedik (közben ég).

Nagy területű vagy intenzív tüzek alkalmával a gázcsere a tűz környékén olyan nagyságú is lehet, hogy nemcsak izzó részecskéket emel fel és visz magával, hanem nagyobb égő darabokat is. Az így felszálló égő, parázsló anyagok lehűlnek (égés alkalmával tömegük csökken), ezért fokozatosan veszítik sebességüket, a nehézségi erő hatására leesnek, megteremtve ezzel az újabb tűz keletkezésének lehetőségét.

Nyílt területen a gázcsere irányát a levegő mozgása (szél) is nagymértékben meghatározza. Az épületek felületére a szél meghatározott nyomást gyakorol, bizonyos helyeken pedig légörvénylést hoz létre. A légörvénylés nagysága az épület méretétől, fekvésétől, a szél sebességétől és irányától függ.



50. ábra: Gázcsere nyílt területen. Sematikus ábra

Egyirányú széljárás esetén az épület szél felőli oldalán nagy lesz a nyomás, és ha ezen az oldalon keletkezik a tűz, akkor annak felületére nagyobb mennyiségű levegő (oxigén) jut, mint a széltől védett oldalon. A széltől védett oldalon légörvénylés jön létre, melynek hatására ezen a területen az épület fala mentén ellentétes irányú légmozgás alakul ki. Az így létrejött légmozgás az égéstermékkel magával ragadja, és fokozza az égési sebességet. A légáramlás iránya eltérő több épület vagy épülethozsoport esetében. A több épület vagy épülethozsoport közötti légáramlások irányát szél alkalmával az épületek alapja, nagysága és egymáshoz viszonyított helyzete határozza meg.

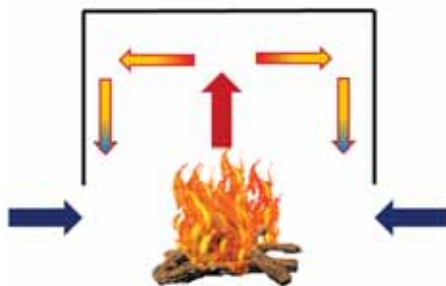
A gázcsere a tűz terjedését nagymértékben elősegítheti, sőt előfordulhat, hogy a tűz helyszínétől nagyobb távolságra újabb tüzet idéz elő. A gázcsere nagyságát és irányát kémiai és fizikai törvényszerűségek határozzák meg. Ha ilyen nagyságú gázcsere tapasztalható, tűzfigyelőket ajánlatos kijelölni (védőfelszereléssel ellátva), hogy ezáltal meg tudjuk akadályozni a tűz terjedését.

2.4.3 Gázcsere zárt helyiségben

A gázcsere zárt helyiségekben is olyan körülmények között jön létre, mint nyílt területen, mégis jelentős sajátosságokat tapasztalhatunk mind a gázcsere nagyságára, mind pedig a gázcsere irányára vonatkozóan.

A nyílások nagysága (felülete) és azok szintmagassága nagymértékben meghatározza a gázcsere nagyságát, illetve irányát. A zárt helyiségben keletkezett tűz esetén bizonyos idő után – az oxigén csökkenésével – a gázcsere lelassul, és a lánggal való égés meg is szűnhet. A gázcsere sebessége és az égés sebessége között meghatározott viszony alakul ki.

Égéskor – épületen belül – a füstgázok elsősorban felfelé, az épület födémrészre felé áramlanak. Mivel a füstgáztermék az épület födémén keresztül eltávozni nem tud, az épület felső szintjén szétterül, majd fokozatosan lefelé haladva megtölti a helyiséget.

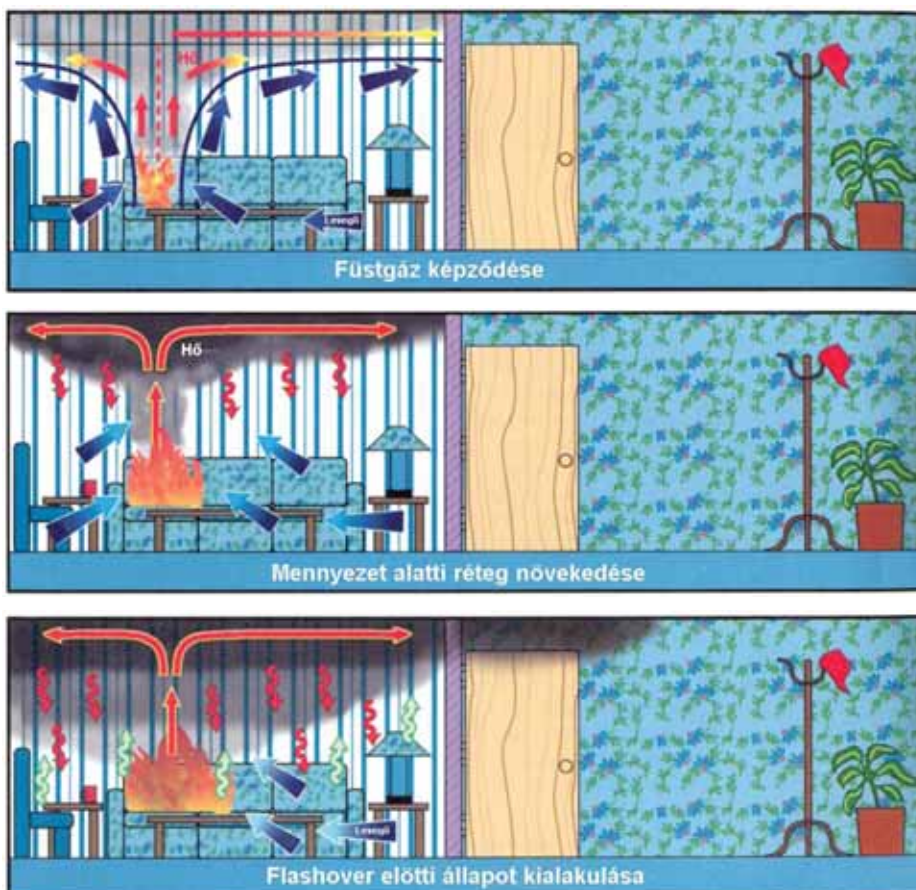


51. ábra: Gázcsere zárt/korlátozott mértékben zárt területen. Sematikus ábra

Ha egy zárt épületben több helyiség is található, vagy nem teljesen zárt a helyiség, és nyílás vezet a szabadba vagy a szomszédos helyiségbe, a füstgáztermék egy része a nyíláson keresztül megtölti a szomszédos helyiséget, vagy egy része a szabadba távozik. A helyiség nyílásain nemcsak a füstgázok távoznak el, hanem a nyílások alsó szintjén

állandóan friss levegő áramlik a tűzhöz, amely nagymértékben növelheti az égés intenzitását. A felszabaduló hő, a meleg levegő a nyílás felső részén kifelé áramlik, a hűvösebb, friss (oxigénben dús) levegő pedig a nyílás alsó rekeszén befelé áramlik.

Az említett tulajdonságot tűzoltás alkalmával is figyelembe kell venni. Például a helyiségbe való behatolás sok esetben nehézséget okoz – főleg a kifelé áramló hő következtében –, az említett fizikai tulajdonságokat a magunk javára szükséges kihasználni. Behatolás alkalmával ezért ajánlatos lehajolni, esetleg földön kúszni, kihasználva a befelé áramló hűvös levegő hőtől védő hatását, így megközelíteni a tűz fészket, hogy a tűz felderítését és oltását könnyebben el tudjuk végezni.



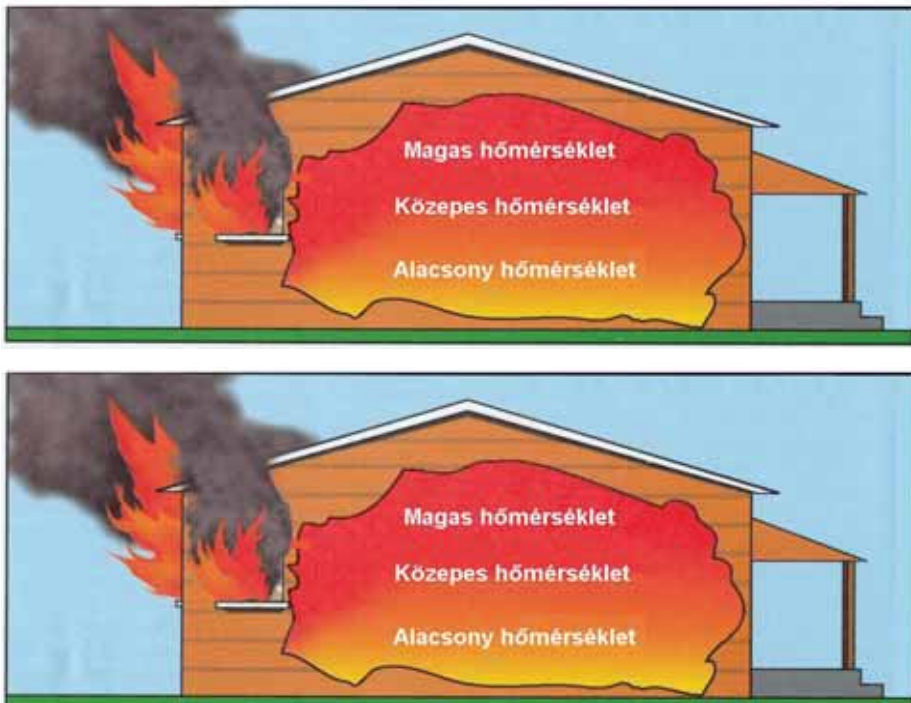
52. ábra: Hőfejlődés zárt térben

Az épületen belüli gázcsere sebessége függ a hőmérsékletkülönbség nagyságától is. A hőmérsékletkülönbség hatása a gázcsere nagyságára jól bizonyítható a következő példával: abban az esetben, ha a helyiségben $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérséklet van, a szabadban pedig $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, akkor az alábbiakat figyelhetjük meg: ha a nyílás felső részénél egy pamutszálat

lógatunk, azt tapasztaljuk, hogy az kifelé mozdul el, az alsó részhez téve a pamutszál befelé fog lebegni. Ha a helyiségben 25 °C a hőmérséklet, és a szabadban is 25 °C mérhető, akkor a kísérlet alkalmával a pamutszál elmozdulása nem tapasztalható, tehát nem jön létre gázcsere.

A nyílászáró szerkezetek nagysága, felülete nagymértékben befolyásolja a gázcsere intenzitását. Ha a nyílások területét csökkentjük, a gázcsere is kisebb lesz, ennek eredményeképpen az égési sebesség csökken. Pincetüzeknél például, ahol a nyílások felülete aránylag kicsi, rövid időn belül tökéletlen égés alakul ki. Az olyan helyiségek tüzeinél viszont, ahol a nyílások területe – az alapterülethez viszonyítva – nagy, a gázcsere növekszik, ezáltal a tűz terjedésének sebessége is gyors.

A szél nagysága és iránya a zárt helyiség tüzeinél is befolyásolhatja az égés nagyságát. A nagyobb tömegű külső levegő beáramlása folytán az épületben – annak belső körülményeitől függően – sajátos légáramlás alakulhat ki. Belső tűz alkalmával keletkezett égéstermékek kiáramlása – különösen, ha a szél sebessége nagy – nem a szél felőli oldalon következik be, hanem a szélről védett oldalon.



53. ábra: A tűzoltás hatása a gázcsere

Igen sűrű és nagy mennyiségű füstgáztermék felszabadulása esetén előfordulhat, hogy kisebb helyiségekből időközönként a szél felőli oldal nyílásain is füst távozik el. Ez is bizonyítja, hogy égéskor a felmelegedett levegő kiterjed, hiszen a szél nyomását leküzdve a gázok kifelé áramlása is bekövetkezhet, leküzdve a szél nyomóerejét.

2.5 Gázcsere különböző szinten lévő nyílások esetén

A gázcsere nagyságát a nyílások szintmagassága nagymértékben befolyásolhatja. A nyílások helyzete, szintmagassága sajátos nehézségeket hozhat létre tűz alkalmával. A nyílások helyzetük szerint lehetnek:

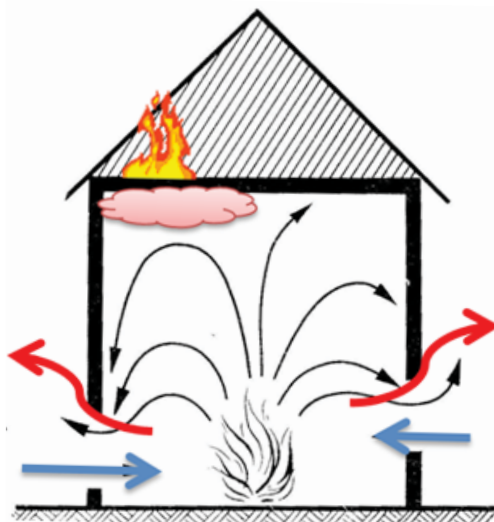
- alsó szintűek,
- alsó és felső szintűek,
- alsó és közepes szintűek.

A továbbiakban a fenti 3 eset rövid elemzését végezzük el.

2.5.1 Gázcsere alsó szintű nyílások esetén

Alsó szintű nyílás esetén a füstgáztermékek először a helyiség földmésze felé áramlanak, és fokozatosan megtöltik a helyiséget. Az alsó nyílást elérve annak felső részén megkezdődik az égéstermék kiáramlása a helyiségből. A felszabaduló hőenergia ebben az esetben is felfelé áramlik, és a helyiség felső részén felhalmozódik. Ez a jelenség több esetben káros. Előfordul, hogy a földem éghető anyagból (például fából) készül, és csak vékony vakolatréteggel van befedve. A hő hatására a vakolat lehullik, és ha a felgyülemlett hőmennyiség hőfoka eléri a fa gyulladási hőmérsékletét, az meggyullad, ezáltal a tűz átterjed a felette vagy a mellette lévő helyiségekre is.

Előfordul, hogy fémes anyag van beépítve a földmészebe, amely a hőt elvezetve más helyiségben újabb tüzet idézhet elő. A hő hatására az anyagok tartószilárdsága csökken, ennek következtében a földem leszakadhat.

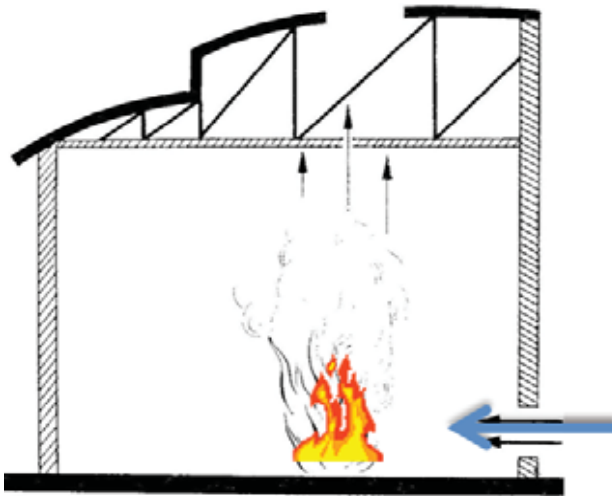


54. ábra: Gázcsere alsó szintű nyílások esetén

2.5.2 Gázcsere alsó és felső nyílások esetén

Ha a helyiségben alsó és felső szintű nyílás van, akkor a nyílás alsó részén beáramló friss (nehezebb) levegő és a nyílás felső részén kifelé áramló füstgáztermék között fajsúlykülönbség lép fel. Ennek eredményeképpen nyomáskülönbség is tapasztalható – léghuzat formájában. Ilyen esetek alkalmával a gázcsere annál nagyobb, minél magasabban vannak elhelyezve a felső szintű nyílások. A gázcsere folyamata ebben az esetben előidézí az égés intenzitásának növekedését, az alsó szinten keletkezett tűz átterjedhet a födémre és a tetőszerkezetre.

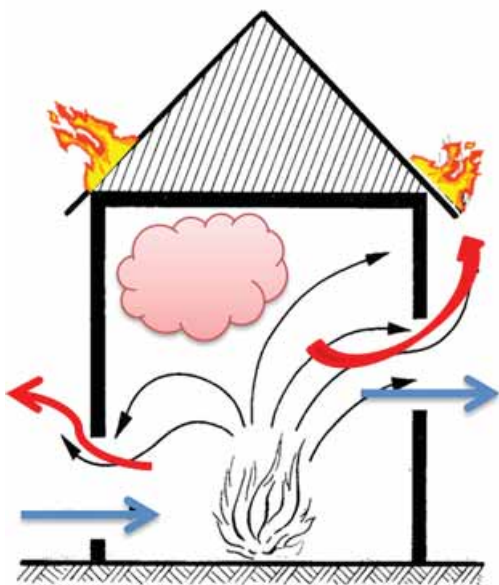
A tűz nagyarányú terjedése figyelhető meg például a színpadi tűznél és olyan helyiségekben, ahol liftaknák, függőleges szállító és szellőző csatornák vannak beépítve. Az említett megállapításokat a gyakorlat sok esetben igazolja. Előfordulhat – főleg a középmagas, magas épületeknél –, hogy a szellőző vagy kábelcsatornák a földszinttől egészen a tetőrézig összefüggően (kéményszerűen) vannak elhelyezve, és befedésükre, illetve borításukra éghető anyagot, például műanyagot használnak fel. Ha valamilyen ok következtében itt tűz keletkezik – főleg az alsó szinteknél –, a tűz terjedése rendkívül gyors, elhatárolása és oltása nagy erő és gyors beavatkozást követel.



55. ábra: Gázcsere alsó és felső nyílások esetén

2.5.3 Gázcsere alsó és közepes nyílás esetén

Alsó és középső szintmagasságban létesített nyílások esetén az égéstermék a közepes szintű nyíláson kifelé, a levegő pedig az alsó szintű nyíláson keresztül befelé áramlik. Ha a közepes szintű nyílás felületén az égési gáz nem tud eltávozni – mivel az égéstermék mennyisége több, mint amennyi a nyíláson el tud távozni –, akkor az égéstermék az alsó szintű nyílás felső részén is kifelé áramlik.



56. ábra: Gázcsere alsó és középső nyílás esetén

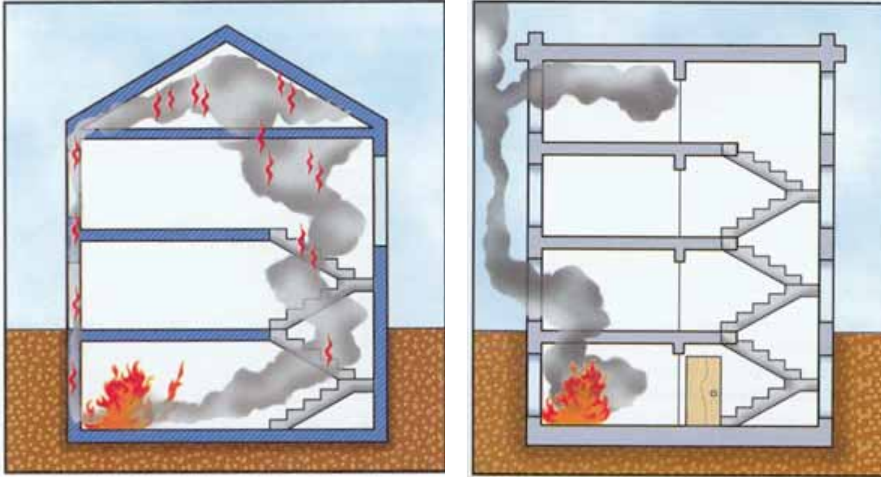


57. ábra: Homlokzati tűzterjedés

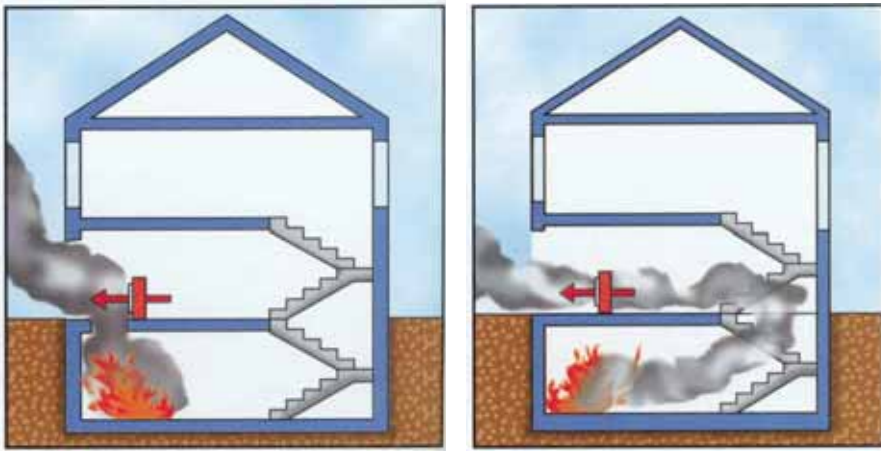
Ebben az esetben az alsó nyílásnál tárgyalta kerülnek előtérbe, mivel a nyílás felett a felszabaduló hőmennyiség ugyanúgy felhalmozódik. Ha a közepes szintű nyílás felülete elég nagy – a felszabaduló égéstermékek nagyságához viszonyítva –, akkor a felső szintű nyílásokra vonatkozó megállapítások érvényesek.

2.5.4 Gázcsere többszintes épületek esetén

A gázcsere alapvető formáit többszintes épületek esetén is felfedezhetjük, melyeket a továbbiakban magyarázó ábrák segítségével mutatunk be.



58. ábra: Függőleges tűzterjedés és homlokzati füstterjedés



59. ábra: Pincefödém megnyitása és lépcsőház használata szellőztetésre



60. ábra: Tűzoltás, illetve gázcsere elősegítése tetőszintű beavatkozással

2.6 A gázcsere semleges zónája

A semleges zóna a helyiség magas nyomású felső és alacsony nyomású alsó légtérének határa. A magas nyomású légtérben található meg azok az égéstermékek, melyek az emberi egészségre ártalmasak, ezért élettani szempontból sem mindegy, hol húzódik ez a határ.

2.6.1 A semleges zóna kialakulása

A tűz során először mindig a hőmérséklet változik, amellyel egyenes arányban a térfogat is növekedne. Azonban zárt helyiség esetén a térfogat nem tud növekedni, ezért a felső légtér nyomása növekszik. A nyomás a felső részen, a mennyezetnél a legmagasabb, lefelé haladva csökken. Ha a nyílászárók nyitva vannak, a felső nyílászáróknál pozitív túlnyomást, az alsóknál negatív, a külső környezetinél kisebb nyomást mérhetünk. Ez egy folyamatos átmenet, melynek során van egy pont, ahol a helyiségben uralkodó nyomás megegyezik a külső környezet nyomásával. Ez az a pont, vagyis a semleges zóna határa, amely felett megtalálhatók az élettanilag káros égéstermékek, míg alatta alacsonyabb hőmérsékletű, az emberi élettel összeegyeztethetőbb környezet található.

2.6.2 A semleges zóna magasságát meghatározó tényezők

A semleges zóna magassága átlagos családi ház esetében körül-belül az alsó 1/3-nál található. Ám ezt a magasságot több tényező is befolyásolhatja mind felfelé, mind lefelé.

Ezek a következők: a helyiség belmagassága, a be- és kiáramlási keresztmetszet nagysága, a beáramlási és kiáramlási levegő sűrűsége, az idő.

A helyiség belmagassága

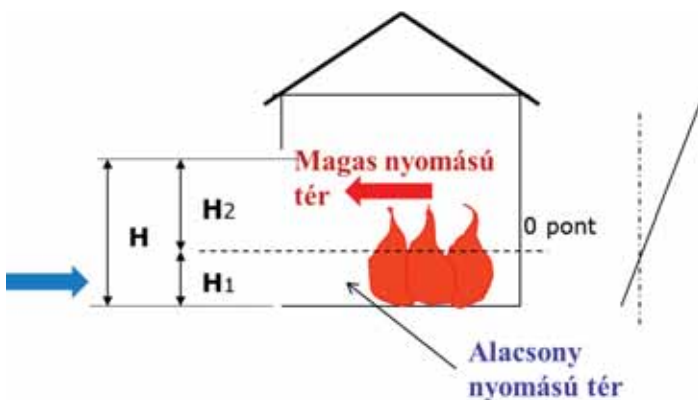
A semleges zóna kialakulásánál említettük, hogy a térfogat bár megnövekedne, de a zárt tér miatt nem tud, így a nyomás növekszik. Vegyünk példának két teljesen egyforma berendezésű helyiséget. Az egyik 2,5 méteres, a másik 3,5 méteres belmagasságú. Mivel a feltételezés szerint két egyforma berendezésről beszélünk, ezért azonos mértékű tűz esetén a felszabaduló hőmennyiség és az égéstermékek is azonos mennyiségűek lesznek. Belátható, hogy a nagyobb légtérben ugyanaz a mennyiség nagyobb tágulási lehetőséggel bír. Így a magasabb légtérű helyiségekben a nyomás értéke alacsonyabb lesz.

2.6.2.1 A be- és kiáramló levegő sűrűsége

Minél nagyobb a sűrűsége a ki-, illetve beáramló levegőnek, annál nagyobb a nyomása. Ugyanis az áramló levegő nyomását úgy lehet meghatározni, ha a sűrűségét szorozzuk a sebesség négyzetével, és azt osztjuk a nehézségi gyorsulás kétszeresével, azaz:

$$p = v^2 \rho / 2g$$

Látható, hogy a sűrűség (ρ) a számlálóban van, így minél nagyobb az értéke, annál nagyobb a nyomás értéke is. Ez természetesen fordítva is igaz, minél kisebb a sűrűség, annál kisebb a nyomás.



61. ábra: A semleges zóna kialakulása

2.6.2.2 Az áramlási keresztmetszetek nagysága

A nem megfelelően méretezett hő- és füstelvezetés az égéstermékek felhalmozódásához vezet. Fordítva is igaz. Ha a helyiség felső terében felgyülemelő égésterméket minél nagyobb hatásfokkal vezetjük ki, a semleges zóna alsó határa annál magasabb, hiszen

a felső légtér nyomását csökkentjük. Ehhez viszont az szükséges, hogy a felső nyílászárók, melyeken keresztül a nyomást csökkentjük, megfelelő felületűek legyenek, el tudják vezetni az égéstermékét. Ha megfelelő nagyságú és elhelyezkedésű a nyílászáró, akkora semleges zóna gyakorlatilag az épület teljes magasságig kiterjedhet. Ettől függetlenül már a 2 méter magasságig felemelt semleges zóna is nagyban segíti mind a menekülést, mind a beavatkozók számára a felderítést és tűzoltást. Összegezve a fentieket: minél nagyobb a be- és kiáramlási keresztmetszet, annál magasabb a semleges zóna határa.

2.6.2.3 Az idő

A semleges zóna kialakulása egy folyamat eredménye, amelyhez megfelelő idő kell. Azt, hogy ez milyen hosszú, mindazok a tényezők befolyásolják, amelyekről a semleges zóna tárgyalásánál már beszéltünk. Gondoljunk a belmagasság kérdésre, hiszen egyértelmű, hogy egy nagyobb tér később telik meg az égéstermékkel, vagy a ki- és beáramlási keresztmetszetre, mely meghatározza a gázcsere sebességét, ezáltal a semleges zóna kialakulásának idejét is. A szakirodalmak 15 perc átlagos idővel számolnak, igaz, hozzá teszik, hogy ez egyéb tényezőktől függően változhat. Mivel a gázcserénél és a semleges zóna kialakulásánál minden mindennel összefügg, ezért ezt a 15 perces nagyságrendi értéknek kell tekinteni, és beavatkozásnál ettől eltérő körülményekre is fel kell készülni.

2.6.2.4 Semleges zóna többszintes épületekben

Alapesetben a semleges zónát a tűz szintjén értelmezzük, azonban röviden áttekintjük azt többszintes épületekre vonatkozóan is. Amikor egy többszintes épület valamelyik köztes szintjén ég egy helyiség – például egy lakás szobája –, az ott felszabaduló hő a mennyezetnél megreked, vagyis a fölötte lévő szint padlózatát alulról melegíti. A melegedés hatására egy bizonyos hőmérséklet után elkezdnek kiszabadulni a padlózattal érintkező berendezési tárgyakból a gázok, gőzök. Ez azonban eleinte még nem lesz akkora mértékű, mint a különböző épületgépészeti faláttöréseken feljutó füst.

A felfelé áramló füst megtalálja a faláttöréseket, és feljut a következő szint(ek)re. Ez a kezdetekben még nem akkora mértékű, mint amennyi lent képződik, a füst nagy része az alsóbb szinten reked, illetve máshol tör magának utat. Ami feljut, az távolodva a hőforrástól lehül, mivel hiába melegszik a padló alulról, akkora hőt nem tud tovább adni, mint ami lent keletkezik. Ennek az a következménye, hogy a feljutott füst hőmérséklete csökken. Mivel csökken a hőmérséklete, ezért nem fog olyan gyors ütemben a mennyezet felé távozni. Tehát a füst nem fogja egyértelműen felülről lefele betölteni a lakást, hanem inkább elterül. Ezért amíg a tűz át nem terjed a fenti lakásra, sok esetben nem is beszélhetünk semleges zónáról.

Az ablakok nyitására persze lehetőség lenne, és a feljött füstöt meg lehetne próbálni kiszellőztetni. Azonban, ha az alattunk lévő lakás nyílászáróin keresztül már létrejött a gázcsere, akkor az épület külső fala mentén füst áramlik fel. Amikor kinyitjuk az ablakot, a felső szinten is létrejön a gázcsere, ha nem is akkora intenzitással, mint az alsónál

lévő tűznél. Tehát az ablak felső részénél kifelé áramlik a levegő, az alsó részénél pedig befelé. Emiatt a befele áramlás miatt az alsó lakás füstjének egy része bejuthat a felsőbb szintű lakásokba. Tehát a szellőztetés akár még rosszabb helyzetet is okozhat, mint amilyen kezdetekben volt. A fentiek, valamint a homlokzati tűzterjedés lehetősége miatt az égő szint fölötti részből távozva az ablakokat zárt állapotban kell hagyni.

2.7 Különleges tűzterjedési formák

Ebben a részben azokat a jelenségeket tárgyaljuk, amelyekkel tűzoltás közben találkozhatunk, a beavatkozókra veszély jelentenek, és létrejöttükben a gázcsereének valamilyen szerepe van.

2.7.1 Teljes lángba borulás (flashover)

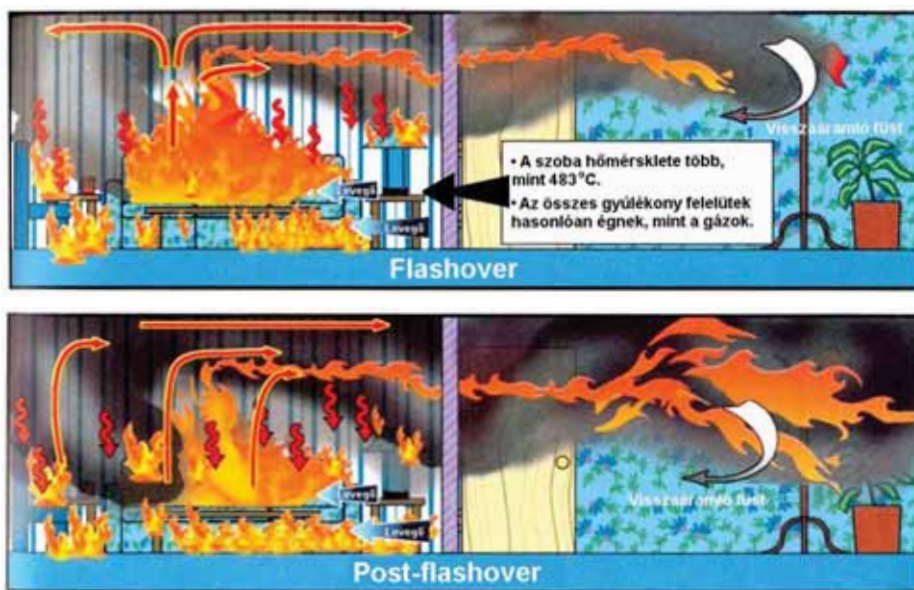
A hazai szaknyelvben is flashoverként terjedő jelenség úgy alakul ki, hogy a tűz hatására a környezetből éghető gőzök és gázok szabadulnak ki, melyek a felső, magas nyomású zónában gyűlnek össze, majd a tűz sugárzó hőjétől vagy egyéb más gyújtóforrástól égni kezdenek, és gyors, erőteljes tűzterjedést okoznak. Mivel az intenzív gyulladás már így is magas hőmérsékletű környezetben történt, ezért az a további éghető anyagokat szinte pillanatszerűen gyújtja meg és borítja teljes lángtengerbe.

A flashovernél jellemző, hogy a levegő oxigénje jut oda az éghető, gyulladási hőmérsékletet már elért gázokhoz. A flashover fizikai jellemzői közé tartozik, hogy ablakokon, ajtókon, azaz nyílászárókon kilépő láng formájában terjed. A mennyezetnél a gázok hőmérséklete eléri a 600 Celsiusot. A hőáramlás mértéke a talajszintnél eléri a 20 KW/m² értéket. Mint minden égési jelenség, a flashover is több tényezőtől függ; ezek:

- a sugárzó, áramló hő jellemzői,
- a szellőzés feltételei,
- a terület nagysága, formája,
- a tűz helye,
- a forró légréteg kémiai összetétele.

A flashover jelenség nem gyakori hazánkban. Ennek oka, hogy kialakulását leginkább a könnyűszerkezetes épületek jellemzői biztosítják. Így azokban az országokban figyeltek fel és kerestek magyarázatot erre a jelenségre, ahol ez az építkezési forma gyakori. Hiába kezelik lángmentesítő anyagokkal a faszerkezetet, az akkor is csak faszerkezet marad. Egy ideig bírja a hőterhelést, majd amikor a lángállóság megszűnik, nemcsak az égő berendezési tárgyából, hanem a falakból, mennyezetből is felszabadulnak éghető gázok és gőzök. Ezek mennyisége már sokkal nagyobb, mint az elterjedt hazai építkezési for-

máknál, ahol általában maximum a padozat és a berendezési tárgyak éghetőek, a falak és a mennyezet nem.



62. ábra: A flashover jelensége

Arról is beszéltünk korábban, hogy a különböző anyagok elégéséhez különböző mennyiségű levegő szükséges, és minél több anyag ég, annál több levegőre is van szükség. Példaként: mivel egy átlagos amerikai lakóház égésekor több éghető gáz, gőz szabadul fel, mint egy hazainál, ezért levegőigénye is sokkal magasabb. Ha a levegőigénye magasabb, könnyen előfordulhat, hogy a gázok, gőzök gyorsabban szabadulnak fel, mint ahogyan az az elégésükhöz szükséges levegőhöz jut. Így ott könnyebben kialakul a flashoverhez szükséges, el nem égett, de gyulladási hőmérsékletet elért gázrétteg, amihez ha levegő jut (például épület szerkezetének megbontásával), kialakulhat a flashover.

2.7.2 Gördülő tűz (rollover)

A flashoverért pár másodperccel megelőzheti a rollover, amely kis, apró fellobbanások formájában figyelhető meg a mennyezet alatt, így az éghető gázokat ellobbantva szinte végiggördül a felületen. Fizikai paramétereit tekintve sok mindenben megegyezik a flashoverrel tapasztaltakkal, azonban lényegi különbség, hogy a környezet hőmérséklete még nem biztosítja az önfenntartó, folyamatos égést. Hasonlóan értelmezhető, mint a lobbanáspont és gyulladási hőmérséklet közötti különbség.



63. ábra: A gördülőtűz jelensége

2.7.3 Láng-átcsapás (flameover)

Ez a jelenség még kevésbé ismert, külső jegei alapján a legtöbb flameover-t a falshoverhez sorolják. Hibásan, mert a két jelenség mechanizmusa eltérő. Ugyanis, míg a flashover-nél az a jellemző, hogy a gyulladási hőmérséklet feletti gázokhoz, gőzökhöz levegő jut be, és így történik a begyulladás, addig a flameovernél ez pont fordítva van. A mennyezetnél úgynevezett gázcsákók alakulnak ki, melyek gyulladási hőmérsékletüket már szintén elérték, de – hasonlóan a flashoverhez – oxigén hiányában nem tudnak elégni. Azonban valami fizikai hatás (például a mennyezet leszakadása) mechanikusan kitolja helyükről ezeket a gázcsákókat, amelyek nagy sebességgel a külső levegő felé tartva és azzal találkozáva meggyulladnak, égve kitörnek. A flameover lángjai nagy sebességgel, dinamikusán törnek keresztül az átforrósodott, gyúlékony gázokat kibocsátó felületeken. A flameover éppen ezért gyorsabb, hevesebb, mint a flashover, és mivel nem előzi meg a rollover, amely figyelmeztethetne rá, így veszélyesebb is.

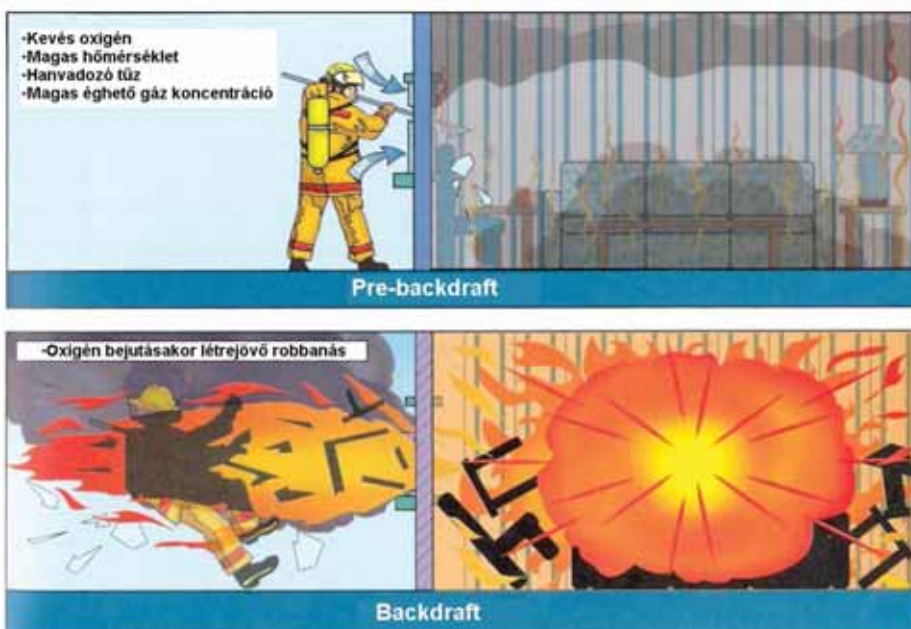


64. ábra: A rollover és a backdraft jelensége

2.7.4 Szúróláng (backdraft)

Ez a jelenség sokkal ismertebb, gyakoribb, mint a flashover és a flameover. Már egy 1931-es kiadású „A tűzoltás szabályai” című könyv is arra figyelmeztet, hogy a pincetüzeknél, behatolás előtt „gázvédő készülék” és működőképés sugár álljon rendelkezésre.

A szúróláng zárt helyiségre jellemző, ahol az oxigénhiány miatt az égés nem tudott befejeződni, éghető anyagok, gázok gőzök maradtak. Ha ez a helyiség nem hűlt gyulladási hőmérséklet alá, akkor a nyílászáró megnyitása, kitörése után a beáramló friss oxigén hatására ezek a gázok, gőzök meggyulladnak. Gyakran tisztán látható, éles határvonalú füst áramlik ki a nyíláson vagy az ajtón, ami alatt a tiszta levegő befelé áramlik az elszigetelt épületbe. Általában nagy tűzlabda keletkezik, amely az épület külső része felé terjed, és az éghető gázok a nagy mennyiségű oxigén hatására „kiégnek”.



65. ábra: A backdraft jelensége

A szúróláng nem kevésbé veszélyes a tűzoltóra, mint a flashover vagy a flameover. Ezért, ha egy épülethez érve azt látjuk, hogy az ablakai nem törtek ki, de elkormozódtak, és lángokat nem látunk, akkor mindig készüljünk szúróláng kialakulására, különösen igaz ez abban az esetben, ha az ajtó meleg. Pincetüzeknél minden behatolást úgy kell végrehajtani, hogy szúróláng kialakulásának lehetőségével is számolunk. Ilyenkor legyen rajunk légzőkészülék, a sugárcsőnél pedig víz. Az ajtót lehetőleg magunkra nyisuk, hogy védjen a kicsapó lángoktól, ne álljunk az ajtóba. Figyeljünk az említett éles elválasztó vonalra a helyiségből kiáramló füst és a befelé áramló hideg levegő között,

mert ez intenzív gázcserét mutat, vagyis magas, akár gyulladáspont feletti hőmérséklet is kialakulhatott már.



66. ábra: Összetett égési folyamatok I.



67. ábra: Összetett égési folyamatok II.

3. FEJEZET

A tűzoltás módjai és az oltóanyagok oltóhatásai

A korábbiakban az égéssel, valamint terjedésének jellemző tulajdonságaival, törvényszerűségeivel ismerkedtünk meg. Megismertük azokat a feltételeket, amelyek az égés létrejöttéhez és fenntartásához szükségesek. Ebben a fejezetben már a tűz oltásával, illetve annak módjaival ismerkedünk meg. Az oltóanyagokat mint lehetőséget (eszközt) említjük meg, mivel azok tulajdonságait és felhasználhatóságát a következő fejezetben részletesen ismertetjük.

Az égéshez éghető anyag, megfelelő mennyiségű oxigén, megfelelő hőmérséklet és ezek egy időben, egy térben való megléte (égés láncolata) szükséges. Ha ezek közül akár csak az egyik feltételt is megszüntetjük – vagy nem engedjük, hogy jelen legyen –, valamilyen módon (eszköz segítségével) az égés megszűnik, illetve nem tud létrejönni.

A tűzoltási módok az égés egy vagy több feltételének kikapcsolását jelentik. Eszerint a következő tűzoltási módokat lehet alkalmazni:

- az éghető anyag eltávolításán,
- az oxigén elvonásán,
- az éghető anyag hőmérsékletének csökkentésén alapuló oltási mód.

A továbbiakban a fentiek részletes kifejtése, elemzése történik.

3.1 Az éghető anyag eltávolításán alapuló oltási mód

Tudjuk, hogy az égéshez éghető anyag jelenléte szükséges, hiszen nélküle az égés nem jöhet létre; illetve ennek hiányában az égés megszűnik. Ennél az oltási módnál az éghető anyagot valamilyen formában el kell távolítani, illetve meg kell szüntetni annak tűzhöz való jutását. Az éghető anyag eltávolításán alapuló oltási mód ezek szerint történhet:

- az éghető anyag tűzhöz jutásának megakadályozásával,
- az éghető anyag eltávolításával a tűz helyszínéről,
- az éghető anyag eltávolításával az éghető anyagú környezetből.

A fenti módszerek ismertetése során mind elméleti, mind gyakorlati oldalról megvizsgáljuk a tűzoltás lehetőségeit.

3.1.1 Az éghető anyag tűzhöz jutásának megakadályozása

Az éghető anyag tűzhöz jutásának megakadályozása akkor alkalmazható, ha a tűz felülete és az éghető anyag között cső- vagy csatornarendszer-kapcsolat van, illetve, ha az éghető anyagnak nyomó vagy szívó vezetékrendszeren (például porelszívó) keresztül összeköttetése van az égő területtel, és ebbe a vezetékrendszerbe tolattyúk vagy egyéb elzárók vannak beépítve. Ide sorolhatók még a szállítószalagok is, melyek a tűz helyszínére vihetik az éghető anyagot, vagy az égő részt továbbíthatják az éghető anyagok közé. A két körülmény között az a lényeges különbség, hogy a szállítószalag a legtöbb esetben nyílt felülettel rendelkezik, a cső- vagy csatornarendszer pedig zártrendszer.

A csőrendszerben beépített csapok, tolattyúk vagy egyéb elzáró szerkezetek zárásával egyrészt megakadályozhatjuk, hogy az éghető anyag a tűz területére kerüljön, másrészt az égési sebességtől függően az éghető anyag azonnali (például gázömlés) vagy bizonyos idő utáni megszűnését érhetjük el.

Ilyen vezetékrendszereket igen sok üzemben, gyárban találhatunk, például a textilüzemben a tépőtől a pihentetőig, fafeldolgozó üzemben a megmunkáló géptől a porkamráig, ásványolajtelepeken a szivattyúháztól a töltőállomásig, illetve a tartályokig, gumigyárakban a benzintárolóktól a gumiodatig, malmoknál a silóktól egészen a zsákraktárig. A felsorolt példák bizonyítják, hogy ezek a csőrendszerek a tűz- és robbanásveszélyes anyagok feldolgozásánál a legtöbb esetben megtalálhatók.

Abban az esetben, ha csapok vagy tolattyúk vannak elhelyezve a csővezetékben, ezek elzárásával az éghető anyag áramlását meg lehet szüntetni. Nem mindegy azonban, hogy a csőrendszerben milyen halmazállapotú anyagot továbbítanak. Cseppfolyós, valamint légnemű anyagok szállítását a vezeték lezárásával biztonságosan meg lehet szüntetni. Szilárd halmazállapotú anyagok esetén azonban előfordulhat, hogy a tolattyúnál nagyobb anyagréteg elakad, így a csőrendszert (például porelszívót) nem tudjuk teljesen bezárni. Előfordulhat az is, hogy az elzáró szerkezet áttüzesedik, így a lerakódott szilárd éghető anyag meggyullad, és a tűz továbbterjedése bekövetkezik (ezért is szükséges az átvizsgálás).

Gyakorlatban a legegyszerűbb példa erre a tűzoltási módra az, amikor például a gázvezeték lezárják, vagy a porelszívó berendezést leállítják. Több esetben előfordul, hogy a fa megmunkálása közben – például a fában lévő szög miatt – szikra keletkezik, és ennek hatására a gép felett elhelyezett porelszívó kigyullad. Ebben az esetben egyik legfontosabb intézkedés a porelszívó berendezés azonnali leállítása. A tolattyú elzáró szerkezetének segítségével megelőzhetjük, hogy a tűz a porkamrába kerülve esetleg robbanást idézzen elő. Ez az égő anyagot tehát megakadályozza abban, hogy az éghető anyag közé jutva újabb tüzet okozzon.

Sok üzemben használnak olyan csőrendszereket, amelyeken keresztül adagolják a különböző anyagokat a feldolgozó, megmunkáló gépekhez. Ezek a rendszerek több emelet szintűek is lehetnek, vagy egész épületrészeket köthetnek össze. Főleg olyan helyeken, ahol tűz- és robbanásveszélyes anyagokat szállítanak, fontos a csővezeték elzárása már a tűz első pillanatában. Az olajfeldolgozó üzemeknél főleg ilyen anyagszállítási megoldással találkozunk.

Az éghető anyagnak a tűz területéhez való jutását megakadályozhatjuk úgy is, hogy megfelelő távolságra, ahol peremes csőcsatlakozás van, vas- vagy acéllemezt helyezünk el (vaktömítés). A lemez elhelyezése úgy történik, hogy a csőkötés csavarjait fellazítjuk, a csavarokat kivesszük, utána a vas- vagy acéllemezt behelyezzük a két cső vége közé, majd a csavarokat visszatesszük helyükre, és jól meghúzzuk.



68. ábra: Az éghető anyag tűzhöz jutásának megakadályozása.
Különböző szállítórendszerek kikapcsolása

A vezetékeket (olaj, gáz) meg is lehet csapolni, mégpedig úgy, hogy a vezetékeket – szakember igénybevételével – megfúrjuk, és szivattyú segítségével másik csővezetékbe vezetjük át az éghető anyagot. Mind a vezetékrendszerek elzárásánál, mind azok elfedésénél figyelembe kell venni, hogy azok a termelés technológiáját ne zavarják, mert előfordulhat (például gázgyárak esetén), hogy a csővezeték elzárásával robbanást lehet előidézni. Minden esetben kérjünk illetékes szakembertől ilyen irányú szakvéleményt, azt tartsuk meg, és csak az illetékes szakember meghallgatása után tegyük meg a szükséges intézkedéseket.

A feltörő gáz égése és áramlása – többek között – tolattyús elzáró szerkezettel szüntethető meg, ha a robbanás következtében nem sérült meg. A fúrás befejezése után, a termelés megkezdése előtt az ún. karácsonyfa elzárót alkalmazzák, amely a termelőcsőhöz csatlakozik. Ezen az elzáró szerkezeten 3–4 tolattyú is található, amelyből egy a főelzárást, 2–3 pedig az oldalirányú elvezető csövek zárását biztosítja. Az említett elzáró szerkezetek a magasnyomással feltörő gáz elzárására is alkalmazhatók.

A gázok égését megszüntethetjük úgy is, hogy a kitérés helyén (akna, tölcser stb.) bizonyos nagyságú területet kitöltünk vízzel, iszappal vagy egyéb agyagos anyaggal. Eredmény akkor következhet be, ha a folyadékoszlop nagysága eléri a feltörő gáz nyomását. Természetesen ennél nagyobb mennyiségű anyagra van szükség, hogy a takarás (befedés) biztonságos legyen. Ebben az esetben tehát a gáz nyomásával nagyobb értékű ellennyomást tudunk biztosítani. Ha ezt megteremtjük, akkor a gáz áramlása megszakad, ezért az égés is megszűnik. Ezt a módszert inkább a kisnyomásnál és a periodikus (nyomásváltozás) jellegű gáztüzek oltásánál lehet alkalmazni. A megfelelő ellennyomás mielőbbi elérése végett ajánlatos víz helyett nehezebb anyag: iszap vagy agyagos oldat

használata. Az említett oltási forma végrehajtása nem a tűzoltóság feladata, de ezeken a munkálatokon részt vesz, ezért az ilyen eljárás ismerete hasznos.

A szállítószalagok leállítása igen fontos tennivaló, mert előfordulhat, hogy a tűz helyszínétől az éghető anyag felé terjeszti a tüzet, vagy a tűz helyszínére nagy mennyiségű éghető anyagot szállít, ami a tűz terjedését és intenzitását megnöveli. Előfordulhat ilyen jellegű tüzeset malomépületekben is. A szállítószalagok az őrlőből a zsákolóba, onnan a raktárhelyiségekbe – a tűz helyszínére, illetve a tűz helyszínéről a különböző helyiségekbe – vihetik az éghető anyagot.

Tartályok, csővezetékek nyílásain, repedésein a gázok, gőzök, valamint a folyadékok kiáramlását is meg lehet szüntetni megfelelő hűtés biztosítása mellett azbesztlappal, vizes ponyvával történő letakarással. Ha a föld szintjétől a nyílás nincs sokkal magasabban, akkor az említett anyagokat a nyíláshoz és repedéshez tesszük, és homok vagy egyéb jól tömítő anyaggal a szétfolyást vagy a gáz kiömlését meg lehet akadályozni.

Azt, hogy milyen oltási módra van lehetőség, és az említett példák közül melyiket alkalmazzuk, az adott körülmények szabják meg. Lényeg, hogy tűz alkalmával meg kell akadályozni az éghető anyagnak a tűz helyszínére való jutását, valamint azt, hogy a tűz kerüljön az éghető anyag közé.

3.1.2 Az éghető anyag eltávolítása a tűz területéről

Ezeket az eljárásokat már a megelőző tűzvédelem is biztosítja a különböző előírásokban foglaltak érvényesítésével. Ilyen például a tűztávolság megtartása, épületeknél a tűzfal, vasútvonalak mellett már az aratás előtt védőszántás létesítése.

A tűz terjedését megakadályozhatjuk úgy is, hogy a tűz közelében lévő éghető anyagot eltávolítjuk. Természetesen ez nem a szó szoros értelmében vett tűzoltást jelent, hiszen nem közvetlenül a tüzet oltjuk, de ezzel a móddal a tűz továbbterjedését meg tudjuk gátolni. Ha a már ott lévő anyag elég – és közben a tűz oltását nem végezzük el valamilyen oltóanyaggal –, az égés a további éghető anyag hiánya miatt megszűnik.

Az említett tűzoltási módot a tűzoltással egy időben is végezhetjük, mialatt egyéb intézkedéseket hozunk, például távolsági vízszállítás, riasztási fokozat emelése. Ennek a tűzoltási módnak az a lényege, hogy az éghető anyagon vagy annak részei között megszakításokat hozunk létre, illetve, hogy a tűz felületétől elválasztjuk a még nem égő anyagot.

Ezeket a módokat régóta alkalmazzuk, főleg azokon a helyeken, ahol nincs megfelelő mennyiségű oltóanyag a tűz oltására, nagy kiterjedésű a tűz, vagy tűzoltó felszerelésekkel nem tudjuk a tűz helyszínét megközelíteni. Ilyen tűzoltási módot alkalmazhatunk elsősorban a területtüzeknél, tetőtüzeknél, avar- és erdőtüzeknél, lábon álló gabona- és kazaltüzeknél stb. Az ilyen jellegű megoldást defenzív¹⁴ módszernek is szoktuk nevezni. A megszakítások létesítésének egyik feltétele a pontos számítás és annak meghatározása,

¹⁴ Defenzív: latin szó, jelentése: védekező, védelmi.

hogy a megszakítást hol kell létesíteni. A megszakítás helyét és szélességét az égési sebesség, az égő anyag nagysága és a rendelkezésre álló erőgépek, felszerelések határozzák meg. Mindezt úgy kell végrehajtani, hogy a megszakítás munkálatait a tűz odaérkezése előtt már befejezzük.

A megszakítások létesítése a legtöbb esetben hosszú időt és nagy erőt igényel, ezért a tűzoltás vezetőjének időben gondoskodni kell megfelelő kézi és gépi erőről. A tűzoltóság létszáma a legtöbb ilyen esetben kevés, ezért a társszervek (például erdőtüz esetén az erdészet vagy az erdőtulajdonosok) segítségét is célszerű igénybe venni.

Egyéb tűzoltás alkalmával is felhasználhatjuk ezt a tűzoltási módot, például falvakban, mezőgazdasági területen keletkezett tűzoltás alkalmával. Főleg vízhiány esetén fordul elő, hogy az éghető anyagot távolítjuk el a tűz terjedésének irányából. Ekkor a tűz terjedését úgy akadályozzuk meg, hogy épületet, melléképületet bontunk meg (például tető), vagy szálás takarmányt hordunk el. Kazaltüzek oltása alkalmával előfordul, hogy a kazal megbontása után az éghető anyagot eltávolítjuk az égő részekről. Az említett tűzoltási módot a szérűskertekben vagy a kazlakban keletkezett tüzek oltása alkalmával a legtöbb esetben alkalmazzuk. Ilyenkor előfordul, hogy traktorok és kötelek segítségével elhúzzatjuk a még nem égő, de veszélyeztetett anyagokat a tűz környékéről.

Tetőtüzek oltása közben előfordulhat a tető megbontásával történő oltási mód, hiszen a tetőszerkezet éghető anyagainak megszakítása a tűz terjedését akadályozza meg.

Előtérbe kerülhet abban az esetben is, amikor értékes anyagok (például festmények) kerülnek veszélybe, és azokat oltóanyaggal oltani vagy azokkal védeni nem szabad, mert ezáltal pótolhatatlan értéket semmisítenénk meg. Vannak olyan anyagok, amelyek tüzeit nem tudjuk oltani, mivel sokszor nem rendelkezünk a megfelelő oltóanyaggal (például nátrium, kálium), ezért a nem égő anyagokat távolítjuk el, és így szüntetjük meg a további égést.



69. ábra: Az éghető anyag eltávolítása tüzzel és kézi szerszámokkal erdőtüz esetén

Tartályokban lévő folyadékok tüzeit megszüntethetjük úgy, hogy a bennük lévő éghető folyadék nagyobb részét elszivattyúzzuk, vagy átengedjük másik tartályba; a folyadék tartályban maradó részének kiegészése után a tűz magától elalszik. A folyadék leengedésénél a leeresztő csövekben azonban olyan elzáró szerkezetet (tolattyú, szűrő stb.) kell alkalmazni, amely megakadályozza a tűz áttérjedését a tartályokra. A folyadékok leeresztését a tartályfalak és a csővezeték megfelelő hűtése mellett kell alkalmazni.

Hordóstárolók tüzeinek során már sok esetben alkalmazták a hordók elgurításával az éghető anyag eltávolításán alapuló oltási módot.

A közlekedés területén keletkezett tüzek oltása alkalmával is előtérbe kerül az említett eljárási mód; például kamionok, pótkocsis tehergépkocsik égése alkalmával az egyik és legfontosabb intézkedés a járműrészek vagy a pótkocsi szétválasztása, hogy a tűz ne terjedjen át egyik részéről a másikra. Vasúti szerelvények égésénél vagy az égő vagonokat távolítjuk el a még nem égő vagonoktól, vagy a veszélyeztetett vagonokat vontatjuk el az égő vagonok közeléből. Mindkét esetben tehát az éghető anyagot a nem éghető anyagtól eltávolítjuk.

Ugyanilyen védőövetet hozhatunk létre erdőtüzek alkalmával is. Kiterjedt tüzeknél a lombozat megbontása speciális fűrésszel, esetleg egész fasorok kivágása is szóba jöhet (elsősorban külföldön alkalmazott módszer). Általános módszer az aljnövényzet eltakarítása megfelelő szélességben, ami által az égés folyamata megsűnik.

3.1.3 Az égő anyag eltávolítása az éghető anyagú környezetből

A tűz terjedését azonban nemcsak úgy tudjuk megakadályozni, hogy az éghető anyagot távolítjuk el a tűz helyszínéről, hanem úgy is, hogy az égő anyagot az éghető anyag környezetéből; például lakástűz esetén, ha kisebb bútorarab ég, az égő anyagot kivisszük a lakásból (vagy oda, ahol nincs éghető anyag), és elvégezzük a tűz oltását. Ezzel elérhető, hogy a helyiségekben lévő éghető anyag nem gyullad meg, és elkerüljük az oltásalkalmával keletkező károkat (vízkár).

Egy tüzesetnél ezt a módot alkalmazták, amikor villanyvasalót bekapcsolva felejtettek, és attól az asztal, valamint az azon lévő vasalásra előkészített ruha meggyulladt. Az égő asztalt a vasaló áramtalanítása után kivitték a köves folyosóra, és a tűz oltását ott végezték el.

Előfordult, hogy függöny gyulladt meg, és a gyors tűzterjedés következtében veszélyeztette a szobában lévő éghető anyagokat (bútorokat, szőnyegeket stb.). Ebben az esetben ajánlatos az égő függönyt tartójáról letépni, a helyiségből kivinni, fürdőkádba, mosdóba vagy egyéb helyre betenni, és a tűz oltását ott elvégezni.

Kéménytűz oltása alkalmával, amikor a parázsló vagy égő kormot kiszedjük és eltávolítjuk, szintén ezt a tűzoltási módot alkalmazzuk.

Különböző munkagépeknél, amikor azok kigyulladnak, a közvetlen környezetükben felhalmozott nagy mennyiségű éghető anyag meggyulladását úgy kerülhetjük el, hogy vontató segítségével biztonságos helyre elhúzzuk.

3.2 Az oxigén elvonásán alapuló oltási mód

Minden égési folyamat jelentékeny mennyiségű levegőt (oxigént) igényel, és megtörténhet, hogy a tüzet légmentes lezárással oltjuk el. A tűz intenzitása a levegő oxigéntartalmának csökkentésével kisebb lesz, és előfordulhat, hogy a lánggal való égés

teljes mértékben meg is szűnik. Ennek az oltási módnak a gyakorlati alkalmazásánál nemcsak arról van szó, hogy a tüzet és a lángképződést elfojtsuk, hanem a tűz fészket és környezetét az anyag gyulladási pontja alá kell hűteni a levegő újabb odaáramlása előtt. Az intézkedés azért szükséges, mert a szilárd anyagok a lángolás megszűnése után hosszabb ideig izzanak (parázslás), így a levegő újabb odaáramlásával ismételten lángra lobbanhatnak, esetleg a tökéletlen égés alkalmával összegyülemlett gáztermékek miatt az odaáramló levegővel összekeveredve robbanást idézhetnek elő. Ez a tűzoltási mód – főleg csak lánggal égő anyagok égése esetén – igen hatásos, hiszen a lángolás megszűnésével maga az égés is megszűnik. Nem alkalmazható viszont ez a módszer az oxigénhordozó anyagok égése alkalmával. Az oxigén elvonásán alapuló oltási mód két formáját ismerjük:

- a tartályok, üstök, helyiségek lefedése, illetve lezárása,
- az égő helyiség feltöltése, illetve elárasztása.

A fenti módszereket mind elméleti, mind gyakorlati oldalról megvizsgáljuk.

3.2.1 Égő helyiségek (tartályok) lezárása

Ennek az oltási módnak a lényege abban áll, hogy a helyiségben lévő összes nyílást becsukjuk: ezzel az eljárással megakadályozzuk a friss, oxigénben dús levegőnek a helyiségbe történő bejutását. Az így lezárt helyiség levegőjének oxigéntartalma addig csökken, amíg az égést már nem képes táplálni. Ezzel az oltási móddal az égés intenzitását lehet csökkenteni a tűzoltóság megérkezéséig, illetve beavatkozásáig. Tűzoltási módként csak kisebb, jól zárható helyiségekben, illetve edényekben keletkezett tüzeknél alkalmazható.

A tökéletlen égés mértékét, a lángolás megszűnését az égő anyag oxigénfelvétele határozza meg. Minél nagyobb az anyag égés közbeni oxigénfelvétele, annál előbb következik be a lángolás megszűnése. Az égést ebben az esetben három szakaszra lehet bontani: a kezdeti szakaszban az égés intenzitása és így a tűz terjedése is gyors a megfelelő mennyiségű oxigén jelenléte miatt. A második szakaszban a tökéletlen égés következtében az égés lelassul, így az égési sebesség is kisebb lesz. Ebben a szakaszban megkezdődik és felgyorsul a tökéletlen égésre jellemző széndioxidgáz és hő felhalmozódása. A harmadik szakaszban – az oxigén hiánya miatt – a lánggal való égés megszűnik, csak izzás, parázslás tapasztalható, és a tűz terjedési sebessége a minimumra csökkenhet. Bizonyos idő után a környezet lehűlésével a tűz teljesen meg is szűnhet. Példa erre, ha egy üstben bitumen vagy kátrány meggyullad, és valamilyen fedővel vagy fémlemezzel le tudjuk takarni az égő anyagot; ekkor az égés rövid időn belül megszűnik. Ezt a folyamatot szemléltetni lehet, ha egy gyertyát meggyújtunk, és üvegburával letakarjuk. Ekkor a láng mindig kisebb lesz, és végül teljesen megszűnik.

A helyiség valamilyen formában történő lezárásának alkalmazása egyedül nem minden esetben hatásos oltási mód, mivel ez általában csak az égés intenzitását csökkenti. A gyakorlati tűzoltás ritkán alkalmazza, de például bányatüzeknél jól bevált tűzoltási mód.

Ha valamilyen ok következtében (öngyulladás, robbanás stb.) a bányában nagy kiterjedésű tűz keletkezik, az aknákat, vajatokat befalazzák, vagy iszappal eltömítik, és így akadályozzák meg a tűz továbbterjedését. Lényege az, hogy az égő részeket körülhatárolják, elzárják a levegő útvonalát, és ezáltal megakadályozzák, hogy a tűz helyszínére elegendő mennyiségű oxigén jusson. Az elhatárolt területen belül az égés sok esetben hetekig, hónapokig is eltarthat, de a tűz terjedését ezzel a móddal meg lehet akadályozni.

Az égő helyiségek lezárása történhet a nyílások lezárásával vagy az ajtók becsukásával. Feltétel azonban az, hogy a nyílászáró szerkezetek jól zárjanak, és lehetőleg éghetetlen anyagból készüljenek. Az üveg a hő hatására rövid időn belül elpattanhat, így a kívánt „elzárást” nem tudjuk biztosítani. Főleg olyan kisebb helyiségeknél alkalmazható, ahol vasajtók vannak, és viszonylag jól záródnak.



70. ábra: Égő edény letakarása

Nyílások elzárása homokkal, földdel. Ebben az esetben a nyílászáró szerkezeteket (réseket, repedéseket stb.) földdel takarjuk le, hogy a levegő ne jusson a tűz helyszínére.

Nyílások befalazása téglával vagy kővel. A már említett bányatüzeknél alkalmazható a legtöbb esetben. Nyílások befedése fémlappal, vizespokróccal, takaróval. Ezeket a formákat több esetben is lehet alkalmazni. Űstben, edényben keletkezett tüzek oltását rövid idő alatt el lehet végezni az edény letakarásával.

Abban az esetben, ha az emberek ruházata meggyullad (olajos ruhára tűzveszélyes folyadék fröccsent stb.) egyetlen hatásos és jól bevált mód van: a személyt takaróval be kell fedni; így elkerülhető, hogy például vízzel újabb sérüléseket idézzünk elő. Tapasztalatok alapján ezt a tűzoltási formát is gyakran alkalmazzák.

Végezetül újra meg kell említeni, hogy az égő helyiség lezárásán alapuló tűzoltási mód a legtöbb esetben csak a tűz terjedésének sebességét csökkenti, mint tűzoltási módot – az előbb említett példák kivételével – igen ritkán alkalmazzák. A gyakorlati példák azt igazolják, hogy ismeretükre szükség van, mivel egyedüli tűzoltási lehetőségek is lehet.

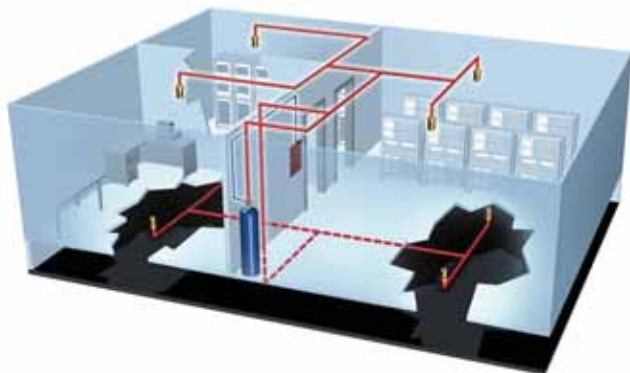
3.2.2 Égő helyiség elárasztása, feltöltése

Az oxigén elvonása történhet azáltal is, hogy a helyiségben lévő anyagot körülvevő és az anyagokás üres terét elárasztjuk éghetetlen anyaggal, vagy pedig a helyiség levegőjét annyira felhígítjuk, hogy az égés megszűnik. Elárasztásra elsősorban oltógázt, közép, illetve nagy habkiadósságú oltóhabot, valamint vizet alkalmazhatunk. A módszeralkalmazásánál lényeges, hogy a helyiség elárasztása gyorsan megtörténjen, nehogy a tűz tovább terjedjen a szerkezeti elemekre. A gyors elárasztás érdekében nagy teljesítményű felszerelésekre van szükség. Oltástaktikailag a közép és nagy habkiadósságú oltóhabot célszerű előtérbe helyezni. A cél az, hogy a vízkár elkerülhető legyen, és az elárasztás ideje minimumra csökkenjen. Aránylag igen kis vízmennyiségből rövid idő alatt nagy mennyiségű habot lehet előállítani, azt az égő helyiségbe juttatva a tűz gyorsan eloltható. Beépített tűzoltó berendezésként több üzemben is megtalálható, és például elektromos kábelcsatornák, de akár nagy légtérű helyiségek tűzvédelmét is biztosítják ilyen készülékekkel.



71. ábra: Helyiség feltöltése oltóhabbal

Az égő helyiség feltöltésére tűzoltó gázokat is alkalmazhatunk. Az eljárás lényege abban áll, hogy a lezárt helyiségekbe égést nem tápláló gázokat juttatunk, ezáltal a helyiségben a levegő oxigéntartalma annyira felhígul, hogy a további égést már nem képes táplálni. Az oltógáz vagy esetleg gőz benyomásánál számolni kell az esetleges elszívárgással, ezért szükség esetén a gáz vagy gőz folyamatos beáramlását biztosítani kell. Ez az eljárás alkalmazható generátorokban, transzformátorokban, hajó rekeszeiben, repülőgép hajtóműveknél stb. keletkezett tüzek oltásánál. A tűzoltás lényege abban áll, hogy a jól zárható helyiségbe vagy berendezésbe az oltógázt bevezetjük, a betáplált oltógáz feltölti az égő helyiséget, és oltóhatását kifejtve megszünteti az égést. Tűzoltás után ajánlatos megvárni a felmelegedett szerkezetrészek lehűlését, mert az oltógáz eltávozása után az éghető anyag visszagyulladhat. Parázslás vagy izzó részek visszamaradása az oltógáz eltávozása után újabb tüzet idézhet elő. Ezért – mint minden tűz alkalmával – az utómunkálatok során a parázslást (izzást) meg kell szüntetni. A másik feltétel pedig az, hogy a helyiség vagy berendezés teljesen zárt legyen, vagy az oltógázt a tűz helyszínére folyamatosan biztosítani kell, amíg a tüzet végleg el nem oltottuk.



72. ábra: Oltógáz alkalmazása helyiség feltöltésére

A vízzel való elárasztást csak végső esetben szabad alkalmazni. A tűzoltás vezetője vegye figyelembe, hogy a helyiségben vannak-e olyan épületszerkezetek, berendezések vagy készülékek, amelyekben a víz aránytalanul sok kárt okozhat, vagy olyan anyagok, amelyekkel a víz kémiai reakcióba lép, esetleg a víznél könnyebb fajsúlyú folyadék.

Az említett tűzoltási módot igen ritkán lehet alkalmazni. Feltétele, hogy vízkár lehetőleg ne keletkezzen, és az éghető anyag fajsúlya a víznél nehezebb legyen. Alkalmazása előtérbe kerülhet például szénkéneg égésénél, szénbunker, koromtároló tüzek oltásánál, ahol a vízzel való elárasztás igen eredményes, és vízkárt nem idézünk elő.

3.3 Az égő anyag hőmérsékletének csökkentésén alapuló oltási mód

A tűz oltását végre tudjuk hajtani, ha az anyag hőmérsékletét gyulladási pontja alá hűtjük. A tűz terjedése megakadályozható úgy is, ha az éghető anyag hőmérsékletét nem engedjük felmelegedni, ezáltal nem éri el a gyulladáspontját, tehát az égés nem következik be. Ennél a tűzoltási módnál szintén ismernünk kell az éghető anyag gyulladási hőmérsékletét, hiszen vannak olyan éghető anyagok, melyek viszonylag alacsony hőmérsékleten meggyulladnak, de vannak olyanok is, amelyek gyulladási hőmérséklete igen magas. Ebből az következik, hogy egyes éghető anyagok tüzésénél nagy hőelvonó és nagy mennyiségű hűtőanyagra van szükség, viszont vannak olyan éghető anyagok is, amelyeknél aránylag rövid idő alatt elérhető az a hőmérséklet, amelynél az égés megszűnik. Az éghető anyag hőmérsékletének csökkentésén alapuló mód tehát két formában valósulhat meg:

- az égő anyagok gyulladási (bomlási, illetve olvadási) pontja alá történő hűtésével,
- a nem égő anyagoknak a hővezetéstől, hőáramlástól és a hőszugárzástól való védelmével.

A korábbi elveket követve az oltási mód tárgyalásakor számos gyakorlati példát mutatunk be.

3.3.1 Az égő anyag gyulladási (bomlási, olvadási) pontja alá történő hűtése

Az égő anyag hőmérsékletének csökkentésére – a bevezetőben említettek szerint – jó hőelvonó képességgel rendelkező anyagra (oltóanyagra) van szükség. Minél nagyobb az (oltó)anyag hőelvonó tulajdonsága, annál alkalmasabb a hőmérséklet csökkentésére.

Ez a tűzoltási mód a legtöbb esetben és legjobban vízzel érhető el. A hőmérséklet csökkentése az égés formájától függően kétirányú lehet. Ha az anyag égése alkalmával nemcsak lángolást, hanem izzást is tapasztalunk, akkor az izzó részek hűtését kell elsősorban végezni, hiszen az izzás megszüntetésével a lángolás is megszűnik. Azért szükséges a tűz fészket (izzást) minél gyorsabban megszüntetni, mert a lángtér „hűtésével” a tűz nem oltható el.



73. ábra: Szilárd éghető anyag oltása a hőmérséklet gyulladási pont alá csökkentésével

A gázok, valamint alacsony hőmérsékleten gőzösödő (gázosodó) tűzveszélyes folyadékok égésénél a környezetet a lobbanáspont alá kell hűteni. A könnyen olvadó anyagokat olvadási pontjuk alá ajánlatos hűteni, hiszen közismert, hogy gyulladásuk csak megolvadásuk után következhet be (például kátrány, pakura). Ugyancsak figyelembe kell venni hűtés alkalmával az égő anyag fűtőértékét, mert nem mindegy, hogy égés alkalmával mennyi hőenergia szabadul fel, hiszen ez nagymértékben meghatározza a hűtés intenzitásának szükségességét.

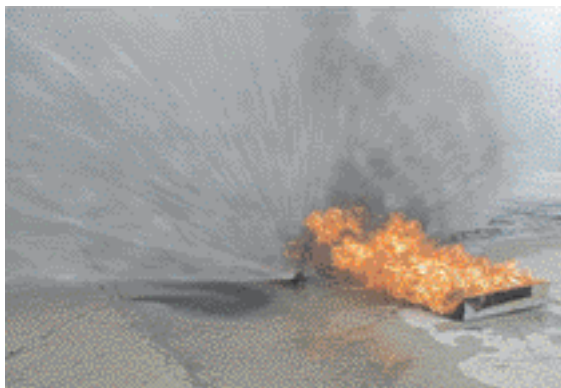
3.3.2 A nem égő anyagoknak a hővezetéstől, hőáramlástól és hőszugárzástól való védelme

A hőátadás formáinál megállapítottuk, hogy a hő (így a tűz is) általában hővezetés, hőáramlás, valamint hőszugárzás következtében terjed. A tűzoltás vezetőjének feladatait a felsorolt esetek alkalmával szintén meghatároztuk. A tárgyalt tűzoltási móddal meg kell akadályozni, hogy a nem égő anyagok elérjék gyulladási, illetve lobbanási pontjukat; ezáltal a tűz terjedését gátoljuk meg, ami adott esetben a tűz eloltását is jelentheti. Előfordulhat azonban, hogy hűtéssel nem a tűz oltását kívánjuk elérni, hanem például robbanást akarunk megakadályozni. Gázpalackok vagy megkezdett benzines hordók – ha a tűz közelében vannak – a hőszugárzás következtében könnyen felrobbanhatnak, ami a tűz terjedését méginkább elősegíti, és akár súlyos sérüléseket is okozhat. Ebben az esetben megfelelő hűtéssel a robbanás megakadályozható.

Az említett példák által bizonyítható, hogy sok esetben alkalmazzuk ezt az oltási módot. Ismételten meg kell azonban jegyezni, hogy ez nem a tűz eloltására, hanem a tűz terjedésének megakadályozására irányuló tevékenység valamilyen formában vagy valamely megfelelő eszközzel.

A beépített hűtőberendezés is ezt a célt szolgálja például a tűzveszélyes folyadékokat tartalmazó tartályok esetén. Tartálytüzeknél a hűtőberendezés bekapcsolásával elérhető, hogy az égő tartály közelében tárolt tűzveszélyes folyadék ne melegedjen fel olyan mértékben, hogy az robbanást idézzen elő, valamint ne érje el gyulladási pontját, és így ne okozhasson újabb tüzet. A habtakaró általában megakadályozza, hogy az anyag elérje gyulladási pontját.

A víz megfelelő védelmet biztosít például egy fatelep égése alkalmával; ha az egyik máglyába rakott farakás meggyullad, és a mellette lévőt erősen átnedvesítjük – és ezt a nedvességet folyamatosan fenntartjuk –, akkor a fa nem fog meggyulladni a hőszugárzás következtében, mert a hőszugarak hőenergiáját a víz leköti (elpárolog), és gőz formájában elszállítja a környezettől. Így a fa hőmérséklete nem éri el a gyulladáspontját. Lényegében ez a tűzoltás egyik alapfeltétele is.



74. ábra: Hőszugárzástól való védelem vízfüggöny alkalmazásával

Gázömlés alkalmával a környezet hűtésével elérhető, hogy a tűz ne terjedjen tovább. Kisebb tartályban lévő olajféleségek égése megszüntethető azáltal, hogy az égő anyag felszínének hőmérsékletét „átkeveréssel” lecsökkentjük. Ez a tűzoltási mód azon alapszik, hogy – főleg az égés kezdeti szakaszában – a tartályban lévő folyadéknak csak a felső, kisebb része melegeedett fel magasabb hőmérsékletre, és csak ez a rész bocsát ki magából éghető gázokat, gőzöket. A folyadék alsó tömege alacsonyabb hőmérsékleten van (a gyulladási pont alatt). Ha a nagyobb tömegű, hűvösebb folyadékot átkeverjük, akkor ez hőmérséklet kiegyenlítődést eredményez. Az átkeveréssel lehűtött folyadék hőmérséklete tehát gyulladási pontja alá kerül. Ennél az eljárásnál bár többnyire nem alkalmazunk oltóanyagot, a valóságban mégis oltási módról beszélünk.

A tűz oltási módjait áttekintve, ismételten és végérvényesen meg kell állapítani, hogy legtöbb esetben nem a tűz oltásáról van szó, hanem az égési, terjedési feltételek kialakulásának megakadályozásáról; ezzel kívánjuk a tüzet megszüntetni. Egyes csoportosítások azonban nem választhatók szét teljesen egymástól: például az éghető anyag hőmérsékletének csökkentésén alapuló oltási mód (hűtés) alkalmával – ha erre a célra vizet használunk fel – a levegő oxigénjének felhígítását is elérjük, különöse zárt térben: amikor a víz már gőz halmazállapotba megy át, a helyiség feltöltése is megtörténik égést nem tápláló oltóanyaggal.

Az oltóanyag felhasználásával történő tűzoltási módot a gyakorlatban sokszor alkalmazzák, és ezért az oltóanyagok alapos ismerete igen fontos hatékonysági tényező. Az oltóanyagok jellemző tulajdonságaival, felhasználhatóságával az Oltóanyagok című fejezet foglalkozik részletesen. Azonban az oltóanyagok nélküli tűzoltást is igen gyakran lehet alkalmazni, és előfordul, hogy más oltási lehetőség nincs is. A felsorolt példákat csak a fogalmak megértése céljából említettük, hiszen az adott helyzettől függően számtalan egyéb megoldás is lehetséges. A közölt módok azonban – a gyakorlati tapasztalatok alapján is – kivétel nélkül alkalmazhatók. A felsorolt tűzoltási módokat ajánlatos a működési terület jellegének megfelelően tanulmányozni, az alkalmazási lehetőséget biztosítani és ennek megfelelően adott esetben alkalmazni.



75. ábra: Hősugárástól való védelem habtakaró alkalmazásával

3.4 Általános tudnivalók az oltóanyagokról

A tűz helyszínére kiérkező egység parancsnokának az egyik legfontosabb feladata – a tűzoltás megkezdése előtt – az oltóanyag helyes megválasztása. Meg kell határozni, hogy melyik oltóanyag a leghatásosabb és egyben a leggazdaságosabb is a tűz eloltására. Ez a legtöbb esetben körültekintő és nagy szakértelmet követelő feladat. A beavatkozás kezdete nagymértékben meghatározza a tűz oltásának hatékonyságát.

Az oltóanyag helyes megválasztásának érdekében az alábbiak figyelembevételére van szükség:

- az égő vagy éghető anyag kémiai tulajdonsága,
- a rendelkezésre álló oltóanyagok,
- a tűz helyzetéből adódó taktikai lehetőségek,
- a felhasználandó oltóanyag értéke.

3.4.1 Az égő vagy éghető anyag kémiai tulajdonságai

Az oltóanyag megválasztásánál az égő anyag fizikai és kémiai tulajdonságainak ismerete igen fontos. Sok esetben ez határozza meg az oltóanyag alkalmazhatóságát. Tudni kell, hogy az anyag csak lánggal vagy izzással is ég. Nem mindegy tehát, hogy bizonyos éghető anyag csak lánggal vagy izzással is éghet, mert az oltóanyag megválasztása alkalmával éppen ez a tulajdonság a leglényegesebb. Ismert, hogy adott anyagok égése során tilos a víz használata. Vannak olyan tüzek, például nátrium, kálium, karbid, ahol a víz, hab, gáz nem használható az oltásra, mert ezáltal robbanást idézhetünk elő.

Ismerni kell tehát mindazokat az anyagokat, amelyek a különböző oltóanyagokkal kémiai reakcióba lépnek, és ezáltal elősegítik a tűz terjedését. Vannak olyan tüzek, ahol egyes oltóanyagok használata eredménytelen, ezért a tűz oltását nem lehet végrehajtani. Ilyen például a benzintűz oltása vízzel. Parázslás vagy izzó felület visszamaradása esetén egyes oltóporok használata hatástalan, és a végleges tűzoltáshoz más oltóanyagra is szükség van. Előfordulhat továbbá olyan tüzeset, ahol az oltóanyag csak bizonyos feltételek között alkalmazható; például a por és hab együttes használata, alkoholtűz oltása vízzel stb.

3.4.2 A rendelkezésre álló oltóanyag

Több esetben megtörténik, hogy nem a legmegfelelőbb oltóanyag áll a parancsnok rendelkezésére a tűz oltására. Ez nagymértékben megnehezítheti a tűz oltását. Szükséges tehát, hogy a fecskendőkön ne csak víz legyen: emellett feltétlenül szükség lehet még további oltóanyagra is, habra, porra.

Az oltóanyagoknak lehetőleg olyannak kell lennie, hogy azzal minél többféle, különböző jellegű tüzet el lehessen oltani. Ajánlatos, hogy az oltóanyagok kellő mennyiségben álljanak rendelkezésre. Ismert, hogy például az oltóporok sok esetben csupán kezdeti tüzek gyors lángja leverésére szolgáló oltóanyagot jelentenek. Ugyanis, ha oltóport kívánunk

alkalmazni a lángolás megszüntetésére, a tűz végleges oltásához, a parázslás megszüntetéséhez, valamint az ismételt fellángolás megelőzéséhez, feltétlenül szükséges még bizonyos víz-, illetve habmennyiség. Már a riasztás során azonnal a tűz helyszínére kell irányítani jól alkalmazható felszereléseket (például gázfeldolgozó üzem égése esetén a porral oltó, tűzveszélyes folyadék égése alkalmával a habbal oltó gépjárművek riasztása). Megfelelő oltóanyagok hiányában az ismert egyéb taktikai megoldások közül kell választani.

3.4.3 A tűz helyzetéből adódó taktikai lehetőségek

A tűzoltóanyag megválasztásánál figyelembe kell venni a tűz oltásával kapcsolatos taktikai szükségserőségeket, lehetőségeket is. Ha a lángolást gyorsan meg kell szüntetni, mert közvetlen életveszély áll fenn, vagy rövid időn belül robbanás történhet, esetleg a tűz áttérjedhet egy másik épületre – figyelembe véve a tűz nagyságát –, a lángolás megszüntetésére porsugarak alkalmazásával eredményt lehet elérni. Védelem szempontjából a víz vagy a hab is igen hatásos lehet, ha ezek az oltóanyagok alkalmazhatók. Ugyancsak figyelembe kell venni az oltóanyag megválasztásánál az időjárási viszonyokat, hiszen például erős szél alkalmával a porsugár vagy a könnyű habok használata eredménytelen lehet.

3.4.4 A felhasználandó oltóanyag értéke

Sokszor előfordul, hogy a tűz oltását könnyen el lehet végezni bármely rendelkezésre álló oltóanyaggal. Az oltóanyag megválasztásánál ebben az esetben feltétlenül figyelembe kell venni annak értékét is.

Természetesen, ha a tűz nagyobb értéket veszélyeztet, oltását a rendelkezésre álló oltóanyaggal feltétlenül el kell végezni, figyelmen kívül hagyva annak értékét.

Összegezve: az oltóanyag megválasztásánál szükséges összehasonlítani a tűz által veszélyeztetett értéket és a felhasználandó oltóanyag értékét. Figyelembe venni azonban csak abban az esetben szabad, ha több egyformán alkalmazható oltóanyag áll rendelkezésre, és közöttük csak értékkülönbség van; például egy tűzoltás alkalmával, ha a víz és az oltógáz használata egyformán megfelelő (taktikailag is), akkor a vizet kell előtérbe helyezni, mivel a tűz oltása ezáltal sokkal gazdaságosabb.

3.5 Oltóanyagok oltóhatásai

Tudjuk, hogy az égés feltétele: az éghető anyag, a megfelelő mennyiségű oxigén jelenléte, a megfelelő hőmérséklet és a láncreakció megléte. Ha az említett feltételek közül akár csak az egyiket is meg tudjuk szüntetni valamilyen formában, az égés megszűnik. Ennek ismeretében tehát a tűzoltási folyamat olyan feltételeket hoz létre, amelyek megakadályozzák, illetve meggátolják az égést.

A tűzoltási folyamat abban az időpontban kezdődik el, amikor az oltóanyag új anyagi fázisként a tűztérbe kerül. Ezek az oltási folyamatok sokféleképpen mennek végbe a különböző oltóhatásoknak megfelelően. A fő oltóhatás mellett csaknem minden oltóanyag oltóhatásához mellékhatások is járulnak. A tűzoltó anyagok tehát olyan rendszerek, amelyek a tűzoltás alkalmával egy vagy több oltóhatást fejtenek ki.

Az oltóanyagoknak három fő oltóhatása:

- hűtőhatás,
- fojtóhatás,
- antikatalitikus hatás.

A tűzoltó anyagok közé – amelyek főleg hűtő oltóhatást fejtenek ki – tartozik a víz és az oltóhab. Túlnyomórészt fojtó oltóhatásúak a gázok, tűzoltóporok és az oltóhabok. A főleg antikatalitikusan ható oltóanyagok csoportjába tartoznak a gázok és a tűzoltóporok.

Tűz oltása alkalmával igen bonyolult folyamat megy végbe. Azt, hogy melyik kerül előtérbe az oltóhatások közül a tűz oltása alkalmával, minden esetben az adott helyzet határozza meg. Azt a következtetést azonban le lehet vonni, hogy a tüzet az oltóhatások összessége együttesen szünteti meg.

3.5.1 Hűtőhatás

Az égő anyag lehűtéséhez az szükséges, hogy a tűz fészében és annak környezetében a hőmérsékletet az égő anyag gyulladáspontja alá csökkentsük. Hűtéssel biztosítható, hogy az éghető anyag a gyulladási pontot ne érje el, így az égés nem következhet be. A legtöbb éghető folyadék gyulladáspontja többszáz fok, de az ilyen tűzfészkeket is annyira le kell hűteni, hogy a fa, papír és hasonló anyagok se gyulladhassanak meg. Ez a hőmérséklet egyszerű eszközökkel nem mérhető, ezért ajánlatos biztosan 100 °C alá hűteni az éghető anyagokat, mivel ez a hőmérséklet már könnyen ellenőrizhető (például vízzel való oltás alkalmával).

Tudjuk, hogy az égéskor felszabaduló hőenergia mintegy 90%-a sugárzás, áramlás és vezetés következtében a tűz fészéből eltávozik. Így – főleg a hűtő oltóhatást kifejtő oltóanyagok alkalmazásánál – csak a maradék hőmennyiséget (aktiválási hő) kell csökkenteni.

Az oltóanyag szükséges felhasználása az égő anyag fűtőértékével egyenesen, az oltóanyag fajlagos hőelvonó teljesítményével fordítottan arányos. Az oltási idő annál kisebb, minél nagyobb az egységnyi idő alatt kijuttatott oltóanyag mennyisége, és minél nagyobb annak hőelvonó képessége. Arra azonban ügyelni kell, hogy a gyors hűtés következtében bizonyos körülmények között a tűzben lévő berendezések megsérülhetnek. Az ilyen gyors hűtéssel szemben például a kazánok fala lehet érzékeny.

A hűtőhatás oltóhatásai:

- párolgási hatás,
- szublimációs hatás,
- kiegyenlítő hatás,
- gátlóhatás.

3.5.1.1 Párolgási hatás

Cseppfolyós halmazállapotból légnemű halmazállapotba való átmenetnél a forráspontra felhevült oltóanyag felveszi a párolgási hőt. Az oltóanyagok közül például a víznek a párolgási hője igen nagy: 1 kg 100 °C-os víz elpárologtatásához 2257 kJ/kg, 20 °C-os víz esetén 1 kg víz 2591kJ hőmennyiséget köt le, illetve von el a tüztérből. Természetesen csak abban az esetben, ha mind az 1 kg víz gőz halmazállapotba megy át.

Fontos szerepet játszik a tűz megszüntetésében, hogy milyen gyorsan képes felvenni az oltóanyag a párolgási hőjét. Minél magasabb például a víz hőmérséklete, annál ideálisabb a tűz oltására, mert rövidebb idő alatt tudja elérni a forráspontját, azaz előbb veszi fel a párolgási hőjét; ezért a hűtés (hőelvonás) gyorsabban következik be. Az oltóanyag mennyisége és aprítottsági foka is befolyásolja az oltóanyag párolgását. Az égési fészkekből elvont hőenergia – gőz formájában – a gázcsere következtében eltávozik a hűvösebb környezetbe. A párolgási hő leadása közben a gáz ismét cseppfolyós halmazállapotba megy át.

A főleg hűtő oltóhatású oltóanyagok szerepe lényegében tehát abból áll, hogy a párolgási hő felvétele és elszállítása során az égési fészkekben fejlődött hőenergia szétterjed a hűvösebb környezetben, ezáltal az égési fészkek hőmérséklete alacsonyabb lesz. Ha az éghető anyag és környezetének hőmérséklete a gyulladási pont alá csökken, akkor az égés megszűnik.

3.5.1.2 Szublimációs hatás

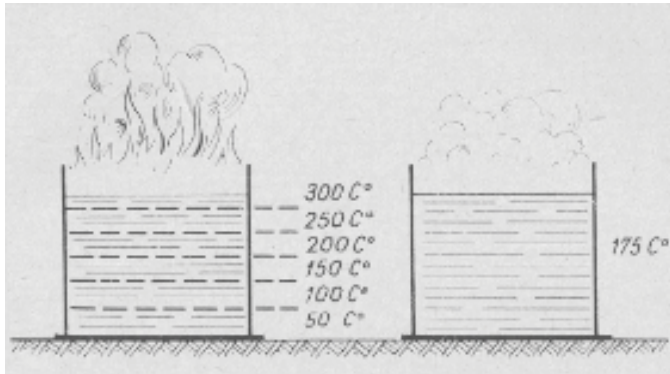
A szublimációs hatás lényegében megfelel a párolgási hatásnak, ami azonban csak a szublimáló szilárd anyagokra vonatkozik. Gyakorlatilag csak a szénsavhó szublimációja jön számításba. Mivel a széndioxid túlnyomórészt fojtóhatással olt, így a szublimációs hűtő hatás csak alárendelt mellékhatás.

3.5.1.3 Bomlási hatás

Ismeretes, hogy sok anyag a hő hatására egyszerűbb anyaggá (alkotórészeire) bomlik. Ehhez a bomlási folyamathoz hőenergiára van szükség. Az oltóanyagok a tűzfészkekbe való juttatásuk alkalmával bomlási folyamaton mennek keresztül. Ezek a folyamatok hozzájárulnak a hőmérséklet csökkentéséhez; például a tűzoltópor bomlása esetén ilyen bomlási folyamat megy végbe, amivel bizonyos hőmennyiséget a tűz helyszínéről elvon a folyamat.

3.5.1.4 Kiegyenlítő hatás

A tűzveszélyes folyadékok legnagyobb része (például az ásványolaj) az égés alkalmával sugárzás és vezetés következtében erősen felhevül, és hőmérsékletcsökkenést mutat a felület irányából a folyadék belseje felé. Ha valamilyen módon megoldható a forró felületű rétegek összekeverése a mélyebb, hidegebb rétegekkel, akkor hőmérséklet kiegyenlítés következik be, amely bizonyos körülmények között egyedül is elegendő lehet a tűz oltásához.



76. ábra: A kiegyenlítő hatás eredménye

A második tartályban már az összekevert folyadék figyelhető meg, amelynek hőfoka ebben az esetben $175\text{ }^{\circ}\text{C}$, tehát a folyadék jóval a gyulladási pontja alá van lehűtve. (Az áttüzesedett tartály falát természetesen hűteni kell.)

Ugyanilyen hőkiegyenlítő hatás történik a lángzónában a porral való oltás kezdeti szakaszában is. A pisztolyból kiáramló oltópor a lángzónán belüli hőmérsékletet mechanikai úton összekeveri, ezáltal – a magasabb hőmérséklet keveredve az alacsonyabb hőmérséklettel – a lángzónán belüli magasabb hőmérsékletű zónák hőmérséklete lecsökken. A tűz oltásához természetesen ez nem elegendő, de mint az egyik mellék oltóhatás elősegíti a tűz oltását.

3.5.1.5 Gátló hatás

A gátló oltóhatás azáltal jön létre, hogy az oltóanyag, az oltóhab takaróként, a por és szórt sugár felhőként, a csekély hővezető képesség következtében megakadályozza az égés átterjedését a tűz által még el nem ért részekre. Az éghető anyagok már eloltott részeinek ismételt felhevülését is megakadályozza. Oltóhatása lényegében abból áll, hogy az éghető anyagot megvédi a hősugárzástól, hőáramlástól, ezáltal megakadályozza (gátolja) a hő terjedését, és csökkenti a visszagyulladás lehetőségét.

3.5.2 Fojtóhatás

A fojtóhatás úgy feje ki oltóhatását, hogy az oltóanyag gáz-, gőz-, köd- vagy porfelhőként bizonyos körülmények között réteggént burkolja be az égési fészket vagy magát az éghető anyagot, ezáltal részben vagy egészben megakadályozza a levegő oxigénjének a tűzhöz való jutását. A tűzoltás sikere a fojtó oltóanyagok alkalmazásánál az időegység alatt kijuttatott oltóanyag mennyiségétől is függ. A vízcseppek és porszemcsék nagysága nagyban befolyásolja, hogy az mennyi ideig képes a levegőben lebegni és fojtó oltóhatását kifejteni. Az oltóanyag optimális szemcsenagyságának meghatározása ezért igen

fontos. Ha túl nagy a porszemcse, akkor leesik, és nem képes a lángtérben megfelelő ideig lebegni, ha túl kicsi, akkor a gázcserre gyorsan elviszi az égési fészekből, így nem éri el a kívánt oltóhatást. A fojtó oltóhatás azonban csak átmeneti, mivel a gázcserre következtében az oltóanyag az égési fészekből (lángtérből) gyorsan eltávozik.

Oxigénhordozó anyagok égése alkalmával a fojtó oltóhatású tűzoltó anyagok hatása eredménytelen. Ismeretes, hogy az oxigénhordozó anyagok égésénél nem szükséges a levegő oxigénje, mivel az oxigén már előre lekötött állapotban és megfelelő mennyiségben magában az anyagban van.

Fojtó oltóhatás alhatásai:

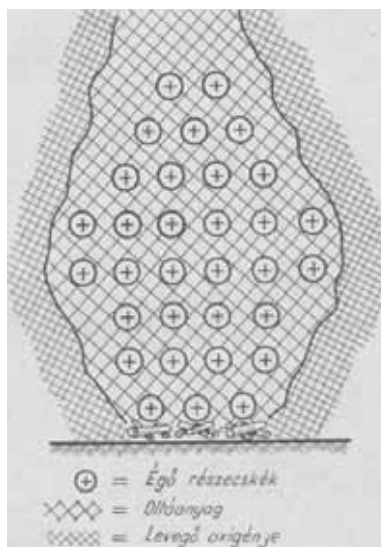
- kiszorító hatás,
- elválasztó hatás,
- takaró (fedő) hatás,
- emulgeáló oltóhatás.

3.5.2.1 Kiszorító hatás

A kiszorító hatás a levegő oxigénjének az égési fészekből való kiszorítása által jön létre. Ez a folyamat az oldalsó ábrán látható.

A vízgőz és az oltógázok nagymértékben fejtenek ki kiszorító hatást. A vízgőz térfogata például a víz térfogatához viszonyítva 1750-szeresére nő meg. Az oltógázok térfogata állandó nyomáson 1 °C hőmérséklet emelkedésekor a 0 °C-hoz tartozó térfogatának 273-ad részével nő. Az oltóanyag térfogatának növekedésével az égési zónából kiszorítja – illetve nem engedi odajutni – a levegő oxigénjét, így az égés (lángolás) megszűnik. Az égési fészket körülvevő megakadályozza a levegő oxigénjének a tűzhez való jutását, ezáltal fejt ki kiszorító oltóhatását.

A víz gőzzé válásának ilyen nagy arányú térfogatnövekedése azonban veszélyes is lehet; például kéménytűz esetén.



77. ábra: **A kiszorító hatás mechanizmusa**

3.5.2.2 Elválasztó hatás

Ismert, hogy – főleg a tűzveszélyes folyadékok égése alkalmával – a folyadék és a lángtér között kisebb-nagyobb távolság tapasztalható. Az elválasztó oltóhatás az égő vagy éghető anyag gőz (gáz) rétegének elvágását okozza az éghető anyagtól. Ez a hatás főleg a tűzveszélyes folyadékok és gőzösödő (gázosodó) vagy szublimáló szilárd anyagok habbal való oltásánál a többi oltóhatás mellett igen számottevő. A habréteg elválasztó falként egyenletesen toódik az éghető anyag, valamint az égő és nem égő gőzfázis közé.

Lényegében az oltóanyag ebben az esetben az égő gőzöket és gázokat az éghető anyagtól elválasztja. Az égő zónában lévő gőzök és gázok elégeése után a választóréteg megakadályozza az utánpótlást, így az égés megszűnik. Elválasztó oltóhatásról tehát csak addig beszélhetünk, amíg az „elválasztás” történik.

3.5.2.3 Takaró (fedő) hatás

Az éghető anyag fölre juttatott oltóanyag rétegegenállást fejt ki a még egy ideig tovább képződő gőzök (gázok) tágulási és kiáramlási törekvéseivel szemben, ezáltal megakadályozzák azok áttörését az oltóanyag-rétegen. Ezért szükséges, hogy az oltóhab szakadásmentesen, megfelelő vastagságban kerüljön az égő felületre.

3.5.2.4 Emulgeáló hatás

Néhány oltóanyag emulziót (olajhabot) képes alkotni az olajféleségekkel, főleg a zsíros olajokkal. Emulzió keletkezik valahányszor két, egymással nem elegyíthető, egymásban nem oldható folyadékot (keveréssel, összerázással stb.) olyan módon elegyítünk össze, hogy az egyik folyadék a másikban többé-kevésbé apró cseppecskék alakjában eloszoljék. Ez esetben olaj–víz emulziót nyerünk (olaj emulgeálódik a vízben, azaz a kisebb mennyiségben lévő olaj a zárt összefüggő vízben mint közegben eloszlik). Az olajat ebben az esetben „diszperz” (szétoszlatozt) fázisnak, a vizet pedig „diszperziós” közegnek nevezük. Ha sok olajat kevés vízzel rázunk össze, akkor víz–olaj emulzió (víz emulgeálódik olajban) keletkezik. Olajféleségek tüzeinek vízzel való oltása esetén is víz–olaj emulzió keletkezik. Olajféleségek tüzeinek vízzel való oltása esetén is víz–olaj emulzió keletkezik. A forró olajba jutó víz gőz halmazállapotba megy át, és közben vékony olajréteg alakul ki a gőzbuborékok felületén. Ezt a jelenség a felhabzás. Az emulgeáló oltóhatásnak az ásványolajok, illetve termékek tüzeinek oltásánál van szerepe. Az úszó olajhab – amely legnagyobb részben vízgőzt tartalmaz – oltóhatása a hűtő, elválasztó és fedő oltóhatáson alapszik.

3.5.2.5 Antikatalitikus oltóhatás

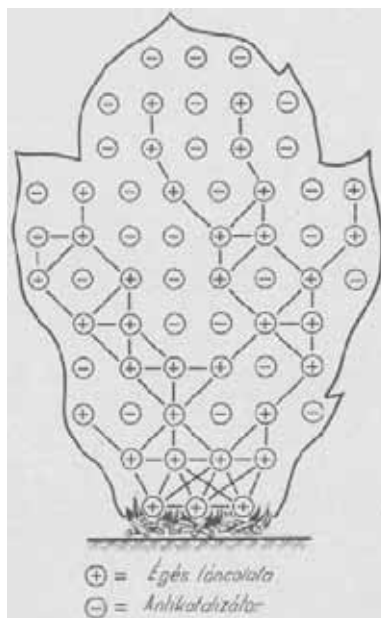
Minden olyan anyagot, amely a kémiai reakciót megindítja, annak lefolyását meggyorsítja, de magában a kémiai folyamatban nem vesz részt, katalizátornak nevezünk. A reakciók a katalizátor jelenléte és a pozitív affinitás ellenére legtöbb esetben csak akkor folynak le, ha a reagáló anyagrendszerhez bizonyos energiát (aktiválási energiát) vezetünk. A szükséges aktiválási energia csökken akkor, ha katalizátor lép a reagáló rendszerbe. A katalízis energetikai lényege, hogy a reakció (égés) mechanizmusát a katalizátor megindíthatja, mert lényegesen alacsonyabb aktiválási energiát tesz szükségessé, mint amely a nem katalizált reakciónak szükséges lenne. A tüzek katalitikusan befolyásolható reakciók. A katalitikus folyamatokat megfordítva a tüzeket negatív katalízissel olthatjuk. Olyan anyagokat, amelyek a kémiai reakciót gátolják vagy meg is szüntetik, negatív katalizátoroknak, azaz antikatalizátoroknak nevezük. Mivel egyes tűzoltó anyagok

az égést gátolják, illetve teljesen megszüntetik, antikatalizátorként hatnak. Az antikatalitikus oltóhatás folyamata igen bonyolult, és jelenleg is komoly vizsgálatok folynak háttérének megismeréséért.

Az oltásnál az antikatalitikus hatás legalább olyan jelentőségű lehet, mint a hűtőhatás vagy fojtóhatás. Az antikatalitikus oltóhatás azáltal jön létre, hogy az oltóanyag hatására a tűz fészében olyan gyökök képződnek, amelyek a reakcióláncok idő előtti megszakadását eredményezik. Az antikatalitikus oltóhatás sematikus ábrázolása az oldalsó ábrán látható. Ezeket a gyököket és ütközőrészeket (zárószemeket) végső tagoknak nevezzük. Az antikatalitikus oltóhatás gáz fázisú vagy könnyen gőzösödő (gázosodó) anyagok oltásánál domináns. Elsősorban lánggal való égésnél beszélhetünk antikatalitikus oltóhatásról. Ez a jelenség tapasztalható gázzal való oltás során is, ahol a nem éghető gáz inaktív centrumokat hoz létre, ami az égés láncolatának megszakadása következményeként a lánggal való égés megszűnését eredményezi.

Az antikatalitikus oltóhatás folytán az oltóanyag az égés láncolatába beépülve azt megszakítja, ezáltal a lánggal való égést megszünteti.

Ha ütköző partnerként – végső tagként – szilárd anyag (például porszemcse) szerepel, és az égés láncolata ezáltal szakad meg, az ún. falhatás következik be. Falhatásnak nevezzük azt az oltóhatás formát, amikor az égés láncolatát szilárd halmazállapotú anyag zárja le. A falhatás csak abban az esetben jöhet létre, ha az égés láncolatát (lángteret) teljes egészében körülvésvi az oltóanyag. Tehát az égés láncolatának elágazásai mind le vannak zárva szilárd halmazállapotú oltóanyaggal.



78. ábra: **Az antikatalitikus oltóhatás**

3.5.3 Az oltóhatásokból levonható következtetések

A tűzoltóanyagok oltóhatásaiból eddig levonható főbb következtetések a következők:

- a legfontosabb oltóhatás a hűtő-, a fojtó- és az antikatalitikus hatás;
- az alkalmazott oltóanyagoknak egyszerre több oltóhatása is lehet;
- tűzoltás alkalmával az égést az oltóhatások összessége szünteti meg.

Az égés tulajdonsága (lángolás, parázslás) nagymértékben meghatározza, hogy melyik oltóanyag a legalkalmasabb – az oltóhatást figyelembe véve – az égés megszüntetéséhez. Csak lánggal való égés alkalmával főleg a fojtó és antikatalitikus oltóhatást kifejtő oltóanyag, parázslás (izzás) jelenlétekor pedig főleg nagy hűtőhatással rendelkező oltóanyag alkalmazása célszerű, ha az egyéb feltételek alapján az alkalmazható.

4. FEJEZET

Oltóanyagok

A továbbiakban az alkalmazott oltóanyagok alapvető tulajdonságaival és az oltóhatásokkal ismerkedünk meg

4.1 A víz mint oltóanyag

A víz a legrégebben és a leggyakrabban használt oltóanyag, mert egyrészt a legtöbb esetben a tűz helyszínén vagy annak közelében kielégítő mennyiségben van jelen, másrészt sokfajta tűz oltására alkalmas. Előfordul azonban, hogy csak víz áll a tűzoltás rendelkezésére, és bizonyos esetek alkalmazásával vállalni kell az ezzel esetlegesen együtt járó vízkárokat. Vannak azonban olyan jellegű tüzek is, amelyek oltása alkalmazásával a víz részben hatástalan vagy veszélyes, így felhasználni nem célszerű, esetenként pedig tilos.

A legtöbb esetben a vizet használjuk fel tűz oltására, ezért ismerni kell fizikai és kémiai tulajdonságait, valamint alkalmazási területeit.

4.1.1 A víz kémiai és fizikai tulajdonságai

A víz hidrogén és oxigén vegyülete. Képlete: H_2O . Kémiaiilag tiszta állapotban színtelen, vastagabb rétegekben halványkék, szagtalan és íztelen folyadék. A természetben előforduló víz sohasem tiszta: még a csapadékból származó víz sem, amely porokon kívül sókat is tartalmaz. (Ilyenek például a nátriumklorid, $NaCl$ = konyhasó, $MgCl_2$ = magnéziumklorid, $CaCO_3$ = kalciumkarbonát) A vízben oldott só mennyisége a víz keménységét határozza meg. Az oldott sók okozzák tulajdonképpen a természetes víz jó elektromos vezetőképességét.

A víz $0\text{ }^\circ\text{C}$ -on szilárd halmazállapotba megy át (megfagy), $100\text{ }^\circ\text{C}$ -on pedig légnemű halmazállapotúvá válik (gőz). A vizet tehát megtaláljuk: szilárd (jég), cseppfolyós és légnemű (gőz) halmazállapotban is.

Fagyáskor a víz térfogata $1/9$ részével növekszik. A térfogat növekedésével a tartályokat, felszereléseket a megfagyott víz tönkretelheti, szétrepesztheti, ezáltal használhatatlanná válhatnak. A víztárolókban, készenléti tartályokban víz és más vizes oldatok (például haboldat) befagyását fagyásgátló anyagok hozzáadásával csökkenteni lehet.

A téli hőmérséklet alkalmazásával a medencékben, tavakban, folyókban a víz először csak $4\text{ }^\circ\text{C}$ -ra hűl le, mert a $4\text{ }^\circ\text{C}$ -ra lehűlt víz lesüllyed (itt éri el a legnagyobb sűrűséget, 1 liter $4\text{ }^\circ\text{C}$ -os víz súlya 1 kg). Ezalatt a könnyebb fajsúlyú melegebb víz felemelkedik a mélyebb rétegekből. A legnehezebb fajsúlyú, tehát a $4\text{ }^\circ\text{C}$ -os víz helyezkedik el az alsó

részen, a folyadék felszíne felé haladva pedig a hőmérséklet növekedésével a fajsúlya is mindig kisebb lesz. Miután a teljes vízmennyiség elérte a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékletet, megvége a további lehűlés, mivel a sűrűség ettől ismét csökken, a felületileg lehűlt víz így már a fennmarad. Ha elérte a fagyáspontot, akkor megfagy, a könnyebb fajsúlyú jég a felületen marad, és megvédi az alatta lévő vizet a további gyors lehűléstől. (1 liter $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os jég fajsúlya $0,918\text{ kg}$.) A víz sűrűségi „rendellenessége” okozza azt is, hogy télen is találhatóunk oltóvíz készletet a folyókban.

A hőmérséklet emelkedésével a jég megolvad. Melegedés alkalmával a molekulák sebessége annyira megnő, hogy a kohéziós kapcsolat meglazul, a kristályrács szétesik, és a test cseppfolyóssá válik. A jég olvadási hője 334 kJ/kg . Ezt a hőmennyiséget a víz rejtett hőjének is nevezzük.

Párolgás esetén a víz légnemű halmazállapotba megy át. A víz $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on eléri forráspontját. Ismert, hogy a víz párolgási hője igen nagy: $1\text{ kg } 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os víz elpárologtatásához, hogy $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os gőzzé váljon, 2257 kJ/kg szükséges. A cseppfolyós halmazállapotból légnemű halmazállapotba (gőz) való átmenet alkalmával a térfogat növekedése igen jelentős: 1 liter víz légköri nyomáson gőzként kb. 1750 liter teret foglal el.

4.1.2 A víz felületi feszültsége

Lapjával a víz felületére helyezett borotvapenge vagy alumínium pénzdarab nem süllyed le, bár fajsúlyuk nagyobb a víz fajsúlyánál. A víz felszíne a ránehezített tárgyak alatt kissé megnyomódik, mintha rugalmas hártya lenne. Ezt a tulajdonságot a folyadékrészecskék között ható kohéziós erőkkkel magyarázzuk. A belső molekuláknál, amelyek minden oldalról ugyanolyan molekulákkal vannak körülveve, a vonzóerők kölcsönösen megsemmisítik egymást. A folyadék felületén lévő molekulák viszont a folyadék felé ható erők alján keletkeznek, amelyek a felületi molekulákat igyekeznek a felületről közvetlenül az alattuk lévő folyadékrétegbe leszorítani, mert ott több vonzóerő hatású molekula van. Ez a fő oka annak, hogy a folyadékok felületüket a lehető legkisebbre igyekeznek csökkenteni.



79. ábra: A víz felületi feszültségének szemléltetése

Röviden összefoglalva: a felületi feszültség, a kohéziós erők eredője a folyadék belseje felé mutat, és ez az az erő, amely a felszíni rétegben lévő molekulákat a lehető legkisebb felületűre (gömb alakúra) húzza össze.

Sok esetben a víz alkalmazása ellen szól a nagy felületi feszültség. A hőmérséklet emelkedésével a felületi feszültség csökken. A felületi feszültség nagysága J/m^2 -ben vagy N/m -ben fejezhető ki, legáltalánosabban dinekben határozzák meg. (Din az erő legkisebb egysége, $\text{din} = \text{g cm}^2$). A dinekben megadott felületi feszültség az a húzóerő, amely a folyadék felületének 1 cm hosszú vonalára merőlegesen hat. Ez az erő a víznél $18\text{ }^\circ\text{C}$ -os hőmérsékleten 73 din/cm .

A víz felületi feszültsége nedvesítő szerek hozzáadásával csökken. Ismertebb nedvesítő szerek a különböző szappanoldatok, mosószerek stb. A tűzoltógyakorlat a víz felületi feszültségének csökkentésére a habképző anyagokat használja minimális bekeverési aránnyal (0,1–1%).

4.1.3 A víz elektromos vezetőképessége

Feladataink megoldása során sok esetben olyan tűzesettel kerülünk szembe, amelyeknél a fennálló körülmények a tűzoltási és mentési munkákat nagymértékben akadályozzák. Ilyen gátló tényezők fokozott mértékben jelentkeznek, ha nagyfeszültségű elektromos berendezésekben vagy feszültség alatt álló berendezések közvetlen környezetében keletkezik a tűz. Feszültség alatt álló berendezések tüzeinél a kikerített tűzoltó egységek a fennálló rendelkezések értelmében addig nem avatkozhatnak be, amíg a feszültségmentesítést hitelt érdemlően el nem végzik. A feszültségmentesítés bizonyos esetekben igen hosszú ideig tarthat, mert azok a felelős szakképzett személyek, akik a berendezések áramtalanítására jogosultak, nincsenek a tűz helyszínén. A tűz oltása ennél fogva később indulhat meg, és nagymértékben növekedhet a berendezésekben keletkezett tűzkár is.



80. ábra: Feszültség alatti berendezések vízzel való oltásának biztonságát vizsgáló kísérlet

A víz elektromos vezetőképességét az elektromos térben mindkét irányban vándorló ionok töltésszállítása okozza. Teljesen ionmentes oldat az elektromosságot nem vezeti.

Különösen jól vezetnek a sók és a savak oldatai. Az igen tiszta, kétszer desztillált víz vezetőképessége nagyon csekély, de még mindig mérhető.

Feszültség alatt álló elektromos berendezések tüzeinek oltása veszéllyel jár az oltó személyekre. Ezért mindig kötelező a legújabb kutatási, vizsgálati eredményeket tükröző szabályozók betartása!

A kísérletek azt mutatták, hogy 130 kV-értéknél nem nagyobb (220 kV-os névleges 3 fázisú rendszer) váltóáram esetén 5 m-nél nagyobb távolságból a porlasztott vízzel való oltás áramütés szempontjából veszélytelen. Kötött sugár alkalmazása esetén megállapították, hogy a sugárcsőnél mért áram a távolság növekedésével rohamosan csökken. Ennek az az oka, hogy a távolság növekedésével a vízszugár felbomlik, és ellenállása igen nagymértékben megnő. 5 m-nél kisebb távolság esetén a sugáron fellépő szivárgó áram akkora, hogy a biztonsági szempontokat figyelembe véve ilyen távolságból a beavatkozás megengedhetetlen. 7 m távolságon azonban 130 kV feszültség esetén sem lép fel a megengedhető 1 mA-nál nagyobb áram.

A kísérletek alapján a feszültség alatt álló berendezések tüzeinek oltása vízzel – ha megtartják a megfelelő intézkedéseket – balesetmentesen végrehajtható.

4.1.4 A víz kémiai reakciója különböző anyagokkal

Vannak olyan anyagok, amelyek a vízzel kémiai reakcióba lépnek, és ennek következményeként robbanást is előidézhetnek. Ebbe a csoportba tartozik néhány alkálifém: nátrium, kálium stb., valamint ezek karbidjai és hidridjei is. Az említett anyagok nagyon energikusan reagálnak a vízzel, eközben éghető gázokat képeznek, amelyek önmaguktól meggyulladnak, ha a reakcióhő következtében kellő mértékben felhevültek. Az alkálifémek vízzel – hidrogén képződése és hő leadása közben – reagálnak. A nátrium és víz kémiai reakciója a következőképpen megy végbe:



A nátrium és a víz kémiai reakciójából történő robbanás tulajdonképpen két részből áll. A reakció első részében a nátriumot, mivel erősen pozitív fém, a vízben lévő oxigén magához köti, és ezáltal hidrogén szabadul fel. A reakció alkalmával nagy mennyiségű hőenergia szabadul fel, amely magát a nátriumot is meggyújtja, és az világító fénnel égni kezd. A reakció második szakaszában tehát a nátrium meggyulladásával a hőenergia-képződés fokozódik, és a felszabaduló hidrogént, amely a levegő oxigénjével megfelelő arányban keveredik, meggyújtja. Ezek a reakciók rendkívül viharosan, robbanásszerűen folynak le.

A kálium és a víz reakciója a nátriumhoz hasonlóan megy végbe, a következőképpen



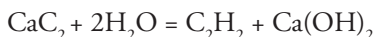
A láng az elemre jellemző színeződést vesz fel, amely a nátriumnál sárga, a káliumnál lila. A hidrogén azonban csak akkor gyullad meg, ha a fémdarab (ez különösen a nátriumra érvényes) legalább borsó nagyságú. A reakció intenzitása növekszik az alkálifémek

atomsúlyának növekedésével, azaz a nátriumtól a céziumig. A káliumnál azonban már legtöbb esetben olyan heves a reakció, hogy a megolvadt fém a robbanás következtében nagy távolságra szétfröccsen, és újabb tüzet idézhet elő.



81. ábra: Fém nátrium és reakciója vízzel

Az alkáli fémekhez hasonlóan viselkednek az alkáli és az alkáli földfémek hidridjei is: például kálium-hidrid (KH), nátriumhidrid (NaH), kalcium-hidrid (CaH). A kalcium-karbid már kevés vízzel is annyi hőt fejleszt, hogy a keletkező acetiléngáz önmagától meggyullad. A víz és a kalcium-karbid (CaC₂) egymásra hatásából acetiléngáz (C₂H₂) keletkezik, amely a levegő oxigénjével 2,5–81%-os keveredési arány mellett robbanóképes gázkeveréket alkot. A reakció az alábbiak szerint megy végbe:

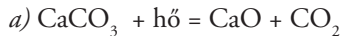


1 kg kalcium-karbidból kb. 270 liter acetiléngáz szabadul fel. Ez már 335 °C felett robbanásszerűen meggyullad, vagy kb. 1900 °C-os hőmérsékleten erősen világító, kormozó lánggal elég. 1 liter acetiléngáz tömege 1,17 kg, tehát a levegőnél valamivel nehezebb. 1 m³ acetiléngáz elége alkalmával kb. 60000 kJ energia szabadul fel.

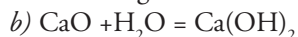
Az alkálifémek karbidjait – például nátrium-karbid (Na₂C₂), kálium-karbid (K₂C₂) – a víz robbanásszerű hevességgel bontja fel, amikor a szén elemi állapotban felszabadul.

A szilicidok, amelyek a szilícium vegyületei, különböző fémekkel (például vasszulfiddal) és vízzel vagy savakkal szilícium-hidrogént képeznek, a levegőn heves durranással meggyulladnak, és szilíciumoxiddá égnak el. A mészkőből épült épületekben keletkezett tüzek oltásánál a víz használata az épület jelentős károsodásával járhat. A hó hatására a mészkő égetett mésszé alakul át, a víz odajuttatásával pedig oltott mész (mésztej) keletkezik.

A kémiai reakció lefolyása a következő:



mészkő égetett mész

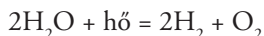


mésztej

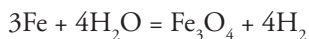
A fenti folyamatra nemcsak zárt térben, de még erdőtüzeknél is akad példa; hosszú ideig égő mészkő kanyon felülete olyannyira felforrósodott, hogy eső hatására számos helyen morzsalékos égetett mésszé vált.

4.1.5 Termikus bomlás

A magas hőmérséklet a vizet alkotórészeire, hidrogénre és oxigénre bontja, ami által durranógáz ($H_2 + O_2$) képződik, amely robbanásszerűen ismét vízzé egyesül. Ez a jelenség a következőképpen megy végbe:



A víz bomlása különösen erős, vörös izzású vas jelenlétében fordul elő az alábbi egyenlet szerint:



A vas leköti ugyan az oxigént, de a levegő oxigénjének odajutása következtében hidrogén-oxigén elegy, azaz durranógáz keletkezik.

Ugyancsak magas hőmérséklet keletkezik a magnézium, alumínium égése alkalmával. A hő hatására a víz itt is alkotó részeire bomolhat. A bomlási folyamat kb. 1500 °C-nál kezdődik és 3000 °C-nál már a víz teljes bomlása bekövetkezhet. A víz százalékos bomlása a hőmérséklet emelkedésével a következő:

- 1500 °C-nál a víz 0,03%-a,
- 2000 °C-nál a víz 0,12%-a,
- 2500 °C-nál a víz 10%-a felbomlik,
- 3000 °C-nál a bomlás fokozódik, és bekövetkezik a robbanás.

A víz gyors gőzzé válása (magasabb hőmérsékleten) és az ebből keletkező robbanásszerű jelenség nem azonos a víz bomlásánál keletkező durranógáz robbanásával.

4.1.6 A víz oltóhatásai

A víz a legtöbb esetben kiváló oltóanyag, mert több oltóhatást is képes egy időben kifejteni. A tűz fészkeire jutva elpárolog (gőzzé válik), tehát hűtőhajtást fejt ki, ugyanakkor a keletkezett gőzök fojtóhatás (kiszorító hatás) formájában szüntetik meg a lángolást, illetve az égést. Az említett két fő oltóhatás egyike is elegendő lehet több esetben a tűz oltásához. Feltétlenül meg kell említeni kötött sugár alkalmazásánál a nagy nyomással kiáramló víz ütő-, romboló hatását is, ami szintén nagymértékben elősegítheti a tűz megszüntetését.

A víz oltóhatása:

- hűtőhatás,
- fojtóhatás,
- ütőhatás.

4.1.6.1 Hűtőhatás

A hűtőhatás pontos meghatározása az oltóanyagok oltóhatásánál megtalálható. A víz esetében a hűtőhatás alhatása, a párolgási hatás a legdöntőbb. Ez annál eredményesebb, minél több víz alakul át gőzzé. A vízcsepp oltó-, hűtőhatását két részre bonthatjuk, amelynek összege adja a tulajdonképpeni hűtőhatás-teljesítményt. Az első rész a vízcseppnek a lángzónába való behatolása alatt hőlekötésből áll. Ennek hatására a gyúlékony gázok lehűlnek, és a lángok becsapódnak, így a hősugárzás csökkenése erősen korlátozza a tűz továbbterjedését. Ezáltal az utána következő vízcseppeknek is könnyebb a tűz fészkehez való eljutás.

A vízcseppek oltóhatásának második része az égőanyag hőjének lekötéséből áll, miután az a tűz fészket elérte. Ebben az esetben a parázslást (izzás) szünteti meg. A parázslást azonban csak ott szünteti meg, ahol a vízcseppel érintkezésbe kerül. Tehát a parázslás teljes felületét vízcseppekkel le kell fedni.

Ez a megállapítás bizonyítható, ha egy égő fadarab egy részét vízbe mártjuk; ekkor azt tapasztaljuk, hogy a parázslást csak ott szüntettük meg, ahol az a vízzel érintkezésbe került. Bizonyos idő után (a fa kiszáradása után) a megmaradt parázslás következtében a fadarab újra meggyulladhat. Ez a jelenség gyakran tapasztalható tűzoltásnál még abban az esetben is, amikor hosszú ideig nagy vízmennyiséget használunk fel. Ezért szükséges többek között az utómunkálatok folyamán az égett részek szétbontása, a parázslás teljes megszüntetése.

A víz eloszlási állapota nagymértékben befolyásolja a hűtőhatást. A víz hőelvonó képességét növelni lehet, ha a zárt víztömeg helyett kisebb vízcseppecskék felhőjét juttatjuk az égő anyagokra, például porlasztott sugár alkalmazásával. Az egyes apró vízcseppecskék nagy felülettel rendelkeznek és sokkal gyorsabban melegsznek fel, mint zárt víztömegben. A gőznyomás időbeli lefolyása is sokkal gyorsabban megy végbe, mert a kis vízcseppecskék rövid idő alatt elpárolognak.

Ha a vizet zárt formában juttatjuk az égő felületre, akkor csak egy része párolog el, a nagyobbik rész melegvíz formájában elfolyik. Igen fontos, hogy a víz minél több százalékban váljon gőzzé, mert az „elfolyt” víz hűtőhatása csekély.

4.1.6.2 Fojtóhatás

A víz fojtóhatása nem más, mint a kiszorító oltóhatás. Ennek lényege – a már tárgyaltak szerint –, hogy a hő hatására a vízből fejlődő vízgőz az éghető vagy égő anyagot gőzfelhőbe burkolja, és ezáltal csökkenti a tűzhöz áramló oxigén mennyiségét. Ha a vízgőz mennyisége a kb. 35%-ot eléri, az égés megszűnik. A vízgőzt mint oltóanyagot felhasználhatjuk szilárd, cseppfolyós és légnemű halmazállapotú anyagok tüzeinek oltására.

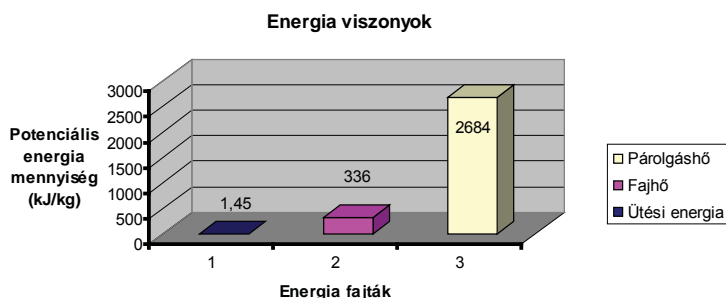
Zárt helyiségekben a tűz oltását fokozott körültekintéssel kell végezni, mert minden 10 liter víz, amelyet a helyiségbe juttatunk, és az gőz halmazállapotba megy át, a helyiségből kb. 17 500 liter izzó gáz és gőz keveréket szorít ki. Ezért zárt térben a tűz helyszínét megközelíteni csak lehajolva ajánlatos, mivel a légáramlás törvénye szerint az izzó gázok (levegő) a bejárat felső részén kifelé, a hideg levegő pedig az alsó részen

befelé fog áramlani. Ha ezt a törvényszerűséget nem vesszük figyelembe, akkor a tűz oltása nehézséget okozhat.

Ugyancsak fojtóhatásként kell megemlíteni az ún. takaróhatást is. Ide sorolható például a vízzel való elárasztás is. A fojtóhatás és alhatásai cím alatt az ide vonatkozó részek részletesen megtalálhatók.

4.1.6.3 Ütőhatás

Az ütőhatás kötött sugár esetében fejt ki legjobban oltóhatását. Lényege, hogy a nagy erővel érkező víz az égő anyagról „leszakítja” a lángokat, és ezáltal megbontja az égő felületet. Ütőhatás alkalmazása esetén ügyelni kell arra, hogy fölösleges károkat, valamint balesetet ne okozzunk. Alkalmazása általában ott kerül előtérbe, ahol a porlasztott sugár hatása eredménytelen.



82. ábra: Példa a víz ütési energiájának összehasonlítására annak potenciális hőelvonó hatásával

4.1.7 A víz felhasználásának formái

Fizikai törvényszerűség, hogy a vízcsepp annál messzebbre repül, minél nagyobb a kezdősebessége; a kezdősebesség pedig annál nagyobb, minél nagyobb a nyomás a sugárcsőnél. Míg kötött sugárnál a nyomás – ha eltekintünk a sugárcsőben fellépő veszteségektől – sebességgé alakul át, addig a porlasztott vízsugárnál a gyorsuláson kívül a víz szétozlása is létrejön. A nyugvó levegőn átrepülő egyetlen vízcsepp röppályája olyan ballisztikai görbe, amely a levegő ellenállásának és a nehézségi erőnek a hatására jön létre. A vízcsepp azonban nem bírja ki a levegő tetszés szerinti nagyságú nyomását. Ha a nyomás– és ezáltal a vízcsepp sebessége – átlép bizonyos mértéket, akkor a vízcsepp benyomódik, és kisebb cseppekké esik szét. A levegő nyomásának azt a felső határát, amelyet bizonyos vízcsepp még kibír, a vízcsepp belsejében uralkodó nyomás határozza meg.

Ezek a megállapítások nemcsak a nyugvó levegőn való áthaladás esetén érvényesek. Tűz alkalmával a gázcsere következtében a levegő is mozgásban van. Ha a vízsugárnak (cseppeknek) a mozgásban lévő légtömegeken kell keresztülhaladnia, akkor nyilvánvaló,

hogy – egyenlő kezdősebesség mellett – annál könnyebben fog eltérni eredeti irányától, minél kisebb a tömege. Mielőtt a vízcsepp érintkezésbe kerül az izzó résszel, át kell haladnia az égés által felszabadult és felfelé áramló meleg égéstermékeken. Az áthaladás ideje alatt a vízcseppecske bizonyos mennyiségű hőt nyel el, ennek következtében részben elpárolog, csökken a tömege, így behatoló képessége is kisebb lesz. Ha a vízcsepp mozgása lassú, akkor teljesen elpárologhat a füstgáztömegben történő áthaladás időtartama alatt, amely azzal a következménnyel járhat, hogy az így keletkezett vízgőz a füsttel együtt eltávozik a tűz helyszínéről. Így a parázsló anyag lehűlése nem következik be. Ebben az esetben a tűz égéstermékai által elvont hőnek sincs hasznos hatása, mert a hőelvonás a tűz fészken kívül történik, ezért nem tud közreműködni annak lehűtésében.

Mivel a vízcseppek nagysága nagymértékben befolyásolja a víz hűtőhatásának a mértékét, olyan felhasználási formát kell alkalmazni, amely a legalkalmasabb és a leghatásosabb. A víz eredményesebb felhasználásának érdekében különböző típusú sugárcsövet alkalmaznak tűzoltásra.

4.1.7.1 Kötött sugár

A kötött sugár jellemző tulajdonságai: a víz összefüggő áramlása, nagy áramlási sebesség és nagy sugárkeresztmetszet. A levegő ellenállása miatt az eredetileg kötött vízsugár bizonyos út után fokozatosan szétszóródik, vízcseppek szakadnak le. Erős szélben a szóródás fokozódik, sőt, a sugár alakja is többé-kevésbé megváltozik. Általában a kötött sugár első harmada kötött, a középső harmada kötött és szórt, az utolsó harmada pedig szórt.

A kötött sugár alkalmazása főleg akkor kerül előtérbe:

- ha a tűz helyszínét nem tudjuk megközelíteni, például tetőtűzek alkalmával. Általában követelmény, hogy a kötött sugár hatótávolsága 12–16 m legyen.
- ha az ütőoltóhatását akarjuk felhasználni, vagy a víz nagy nyomását vesszük igénybe például tűzveszélyes folyadék elterelése céljából;
- ha nagy mennyiségű víz használata válik szükségessé, például fatelep-tűzek oltása során vagy savak felhígításánál;
- ha a tűz helyszínét hőszugárzás miatt nem tudjuk eléggé megközelíteni.

Kötött sugár használatánál nagy mennyiségű vizet juttatunk a tűz helyszínére, ezért a vízkár elkerülése végett alkalmazási területe korlátozott. A kötött sugarat minden esetben a tűz fészkeire kell irányítani, mivel a víz ütőoltóhatását csak abban az esetben tudja kifejteni. Ellenkező esetben a lángteret vagy füstöt „átlövi”, így a tűz oltását nem tudjuk elvégezni.

Figyelembe kell venni a nagy nyomással kiáramló víz romboló erejét is. Abban az esetben, ha nem tartjuk meg a megfelelő sugártávolságot, akkor a tűz fészket „szétszórja”, mielőtt a végleges oltást elvégeznénk. Tetőtűzek alkalmával a tető részeit (cserép, pala stb.) az ütés következtében „ledobálja”, a vékony falakat akár le is döntheti, ezáltal baleseteket idézhet elő.

A sugárvezetők helyének megválasztása esetén ezeket a szempontokat is figyelembe kell venni, mert a nagy nyomás következtében a sugár „megtartása” nagy fizikai erőt kö-

vetel, és esetleges közeli (fal, föld) sugárütkezés alkalmával a sugárvezetőt egyensúlyából kimozdítva fel is döntheti, súlyos balesetet okozva.



83. ábra: A kötött sugár és annak szálakra és cseppekre bomlása

4.1.7.2 Porlasztott sugár (szórt sugár)

A porlasztott víz fogalma alatt olyan vízcseppek nagyságát értjük, amelyek közepes átmérője a 0,5–1 mm között van. A legjobb tűzoltási eredményt akkor érjük el, és a vízkár akkor kerülhető el, ha a víznek minél nagyobb része gőzzé válik. Ez úgy biztosítható, ha a vizet porlasztott alakban juttatjuk a tűz fészkére. A víznek porlasztott formában történő alkalmazása meggyorsítja az oltási folyamatot, mivel a hőfelvétel reakcióideje fordítottan arányos az érintkező felület nagyságával.

A porlasztott vízsugárral való oltásnál különleges viszonyok állnak fenn. A vízcseppek ellenállásának a tűz fészkenél még elegendőnek kell lennie az égési gázok felhajtó erejével szemben. Oltástechnikai okokból egy meghatározott röptávolságnak is lennie kell. Figyelmet kell fordítani arra, hogy bizonyos időegység alatt meghatározott vízmennyiséget juttassunk az égő anyag felületére, legalább annyit, hogy az ugyanazon időegység alatt fejlődő hőt lekösse.

A porlasztott sugár kúp alakú vízfüggőnyt képez. Ez a kúp teljesen ki van töltve vízcseppecskékkel. Ha a porlasztott sugarat a tűzoltó megfelelően maga elé tartja, akkor ez megvédi a hőszugárzástól, a lángoktól, gázoktól, valamint a füsttől is, és munkája ezáltal könnyebbé válik. Nagy előnye, hogy a hőszugárzástól megvédi a sugárvezetőt, ezért a tűz helyszínét jól meg lehet közelíteni vele. A sugárcsövet a csípő és a mellmagasság között tartani, mivel a kúp alakú vízfüggőny így véd legelőnyösebben a káros hatásoktól. Ellenkező esetben a tűzoltás – főleg a hőszugárzás következtében – elviselhetetlenné válhat, és égési sérüléseket szenvedhetünk, főleg az arcunkon és a kezünkön. Az alsó ábrán a porlasztott sugár helyes tartása látható, amikor a tűz oltását végző személyek a tűz fészket porlasztott sugár védelmével jól meg tudják közelíteni.

A tűzfészek megközelítésekor előre haladva a sugárcsővel állandóan köröző mozgulatot is végezhetünk, így ha lassabban is, de biztosabban nyomulhatunk előre. Egyhelyben állással a tüzet általában nem lehet megszüntetni. Ha viszont túl gyorsan haladunk előre – például tűzveszélyes folyadékok tüzeinek oltása alkalmával –, előfordulhat váratlan visszagyulladás, vagy visszalobbanás, ezért visszavonulásra kényszerülhetünk a lángok elől. A sugárcső köröző mozgatásának az a célja, hogy széles vízfüggönyt hozzunk létre, hogy védjen a hőszugárzástól, és egyben nagyobb felületen oltsa a tüzet is.



84. ábra: A porlasztott (szórt) sugár képe

Abban az esetben, ha a tűzveszélyes folyadék égését már teljesen megszüntettük, ajánlatos nyitott sugárcsővel visszavonulni, mert a működő porlasztott sugár megfelelő védelmet biztosít, mivel a szétfolyt folyadék újra visszalobbanhat, illetve visszagyulladhat.

Összefoglalva a porlasztott sugár felhasználásának előnyeit és hátrányait, a következőket lehet megállapítani:

Előnyei: a víz felületének növelése a kötött sugárral szemben gyors hőfelvételt tesz lehetővé, ezáltal meggyorsítja az oltási folyamatot. A keletkező vízgőz térfogat-növekedésével a tűz fészket igen gyorsan elzárja, megakadályozza a levegő oxigénjének oda jutását, miközben fojtó-, oltóhatást fejt ki. A porlasztott víznek a sugárzó hőt elnyelő képessége lehetővé teszi, hogy a tűz fészket jól megközelítsük. A vízkár nagymértékben elkerülhető, a vízfelhasználás pedig lényegesen kevesebb, mint kötött sugár esetén, ezért vízszegény helyen gazdaságosan alkalmazható.

Hátrányai: a porlasztott sugár hatótávolsága – a kötött sugárhoz viszonyítva – aránylag kicsi, ezért ha a tűz fészket nem tudjuk megközelíteni, nem lehet alkalmazni. Az erősen felszálló légmozgás (gázcsere) és a szél nagymértékben eltérítheti a vízcseppeket a kívánt iránytól. A gázcsere következtében a víz a lángtér belsejébe nehezen tud behatolni – főleg nagy felületű tüzek alkalmával –, így az izzó felületet is nehezebben éri el. (Ez a hátrány azonban a távolság csökkentésével megszüntethető, amelynek lehetőségét a porlasztott sugár védelme – megfelelő alkalmazás esetén – biztosítja.)

4.1.7.3 Vízköd

A vízköd fogalma alatt olyan vízcseppecskék eloszlását értjük, amelyek közepes mérete mikron (a milliméter ezredrésze) nagyságrendű. A víz nagyfokú elporlasztásának mértéke befolyásolja az oltás hatásfokát. Azt azonban, hogy a porlasztás meddig fokozható, és milyen hatása lesz az oltás eredményére főleg a nagyobb gázcserevel égő anyagoknál, egyelőre még nem tudjuk meghatározni. A kísérletek azt bizonyították, hogy a vízköd használata nem mindig eredményes. Az égés zónájában lévő felhajtóerő ugyanis magával ragadja az igen kistömegű vízcseppecskéket, amelyek a tűz fészékébe bejutni már nem tudnak.

Kísérletek alapján a vízköd szilárd éghető anyagok (fa, textil, papír stb.) tüzei esetén igen hatásos, ha a tűz még csak a felületen ég. Ha azonban már mélyebbre „beégett”, és ott parázs keletkezik, akkor a ködsugár nem olyan hatásos, mint a porlasztott vagy kötött sugár. Tűzveszélyes folyadék égése alkalmával a vízköd akkor alkalmas oltásra, ha a folyadék magas hőfokkal ég, és magas viszkozitású. A fentiekkel ellentétben azonban hatástalan erősen illó folyadékoknál.

Kísérletek bizonyították, hogy igen hatásos víznel nagyobb fajsúlyú mindenfajta olaj oltásánál, az alkoholtüzeket azonban nehezen szünteti meg, benzint, benzol oltására pedig nem alkalmas.

A vízködöt elektromos berendezések tüzeinek oltására csak korlátozottan lehet alkalmazni, mivel az elektromos áramot a víz vízköd formájában is vezeti. Védelem szempontjából (például hőszugárzás ellen) vagy gyors felületi hűtésre kiválóan alkalmas.



85. ábra: Vízköddel oltó berendezés

4.1.8 A víz felhasználása különböző halmazállapotú anyagok égése alkalmával

4.1.8.1 Szilárd éghető anyagok oltása

A víz az ismert hűtő, fojtó és ütőoltóhatásai által szünteti meg az égést. Szilárd anyagok égése alkalmával – mivel a legtöbb esetben a parázslás is megtalálható – a hűtés a legfontosabb oltóhatás.

Ismert, hogy a parázslás megszüntetésével a lángolás is megszűnik. A lángolás megszüntetésével (elfojtásával) azonban a parázslás továbbra is megmaradhat, tehát a lángolás megszüntetése nem azonos a tűz végleges eloltásával. Mivel a víz hűtőhatása kiváló, ezért kerül előtérbe a szilárd halmazállapotú anyagok tüzeinek oltása alkalmával.

Nem ajánlatos – vagy csak igen körültekintő munkával – a víz alkalmazása festmények, freskók, üvegedények és porcelánok jelenlétének. Előfordulhat, hogy tűzoltás közben igen nagy értékű vagy pótolhatatlan festmények, freskók semmisülnek meg a víz hatására. A hő hatására felhevült üveg vagy porcelán a vízzel való érintkezés következtében azonnal elpattan, széttörik. Nemcsak károkat idézhetünk elő ebben az esetben, hanem a tűz terjedését is elősegíthetjük.

Például laboratóriumokban, háztartási boltokban gyakran üvegedényekben tárolják a tűzveszélyes folyadékokat, és az üveg széttörése következtében a folyadék szétfolyik, ami megnehezíti a tűz oltását. Áruházakban, üzlethelyiségekben keletkezett tüzek oltásánál a kirakatüvegek is felhevülhetnek a hő hatására. Ha a tűz oltását nem végezzük elég körültekintően, és víz kerül a kirakatüvegre, az megrepedezik, ezáltal komoly károkat idézhetünk elő.

A vízkár elkerülése vagy minimálisra csökkentése igen fontos követelmény. A cél az, hogy a tüzet a lehető legkevesebb vízmennyiség felhasználásával kell megszüntetni, különösen olyan helyeken, ahol az kevés mennyiségben áll rendelkezésünkre.

4.1.8.2 Folyadéktüzek oltása

A tűzveszélyes folyadékok tüzeinek vízzel való oltása nehézséget okoz, és előfordul, hogy a tűz oltása eredménytelen. A nehézséget a legtöbb esetben az jelenti, hogy a tűzveszélyes folyadék fajsúlya könnyebb a víz fajsúlyánál. Ebben a részben nem kifejezetten a tűzveszélyes folyadék tüzeinek oltásáról van szó, hanem úgy csoportosítjuk a tűzveszélyes folyadékokat, hogy a vízzel milyen mértékben és hogyan lehet adott esetben a tűz oltását elvégezni. A tűzveszélyes folyadékok tüzeinek vízzel való oltását három csoportra osztjuk:

- a víznél nehezebb fajsúlyú folyadékok,
- a vízzel keveredő folyadékok,
- a víznél könnyebb fajsúlyú folyadékok.

A víznél nehezebb fajsúlyú folyadékok

Az olyan tűzveszélyes folyadékok tüzeinek oltása, amelyek a víznél nehezebb fajsúlyúak (mint például a szénkéneg), a tűz oltása nem jelent nehézséget. A víz az égő felületet betakarva rövid idő alatt megszünteti az égést. A szénkéneg tárolása a legtöbb esetben egyébként is víz alatt történik.

Vízzel keveredő folyadékok

Ebbe a csoportba tartoznak az alkohol-féleségek. Az égés megszűnése csak a 2:1 keveredési arány (két rész víz– egy rész alkohol) elérése alkalmával következik be. Az éghető molekulák felhígításuk eredményeként olyan nagy távolságra távolodnak el egymástól, hogy az égés megszűnik. Ez a feltétel (2:1 arány) azonban nehézséget is okozhat; például 100 liter alkohol égése alkalmával 200 liter víz szükséges az oltáshoz. Ebben az esetben, ha az edény űrtartalma nem haladja meg a minimum 300 litert, akkor az égést nem tudjuk megszüntetni, és a kifolyó égő folyadék a tüzet továbbterjeszti.

Ezért a vízzel való oltást megkezdeni csak abban az esetben szabad, ha a 2:1 keveredési arány lehetősége biztosítva van. A gyakorlat azonban azt mutatja, hogy ezek a feltételek ritkán vannak meg.

Víznél könnyebb fajsúlyú folyadékok

A tűzveszélyes folyadékok legnagyobb százaléka ebbe a csoportba sorolható. Ezeket a tűzveszélyes folyadékokat további két csoportra oszthatjuk vízzel való olthatóság szempontjából:

- fehér ásványolajok tüzeinek oltása (benzinféleségek),
- sötét ásványolaj (olajféleségek) tüzeinek oltása.

Az első csoportba tartozó benzinféleségek tüzei vízzel nem olthatók. Ennek ellenére azonban mégis eredményes lehet a tűz oltása bizonyos körülmények között vízzel: ha a felületen a benzinféleségek nem képeznek összefüggő felületet. Ha a szétfolyt, égő benzinféleség összefüggő felületet alkot, és eléri az egy–két milliméter vastagságot, a vízzel való tűzoltás eredménytelen. A szétfolyó tűzveszélyes folyadék irányát azonban – főleg kötött sugárral – meg lehet határozni, illetve irányítani, terelni lehet vele. Nagyobb mennyiségű égő benzinféleség felületének egy bizonyos részéről a lángolás le lehet szorítani megfelelő számú és összhangban működő sugarakkal. Ez a megoldás nagyon veszélyes, mert a víz áramlása a benzinféleséget az oltásban résztvevők háta mögé viheti, és ott újra meggyulladva baleseteket okozhat. Az említett megoldás csak átmeneti lehet, és alkalmazása lehetőleg életveszély vagy robbanásveszély elhárítása érdekében történjen.

A szétfolyt sötét ásványtermékek égése alkalmával a vízzel való oltás eredményes. A tűz oltását lényegében az emulgeáló oltóhatással érjük el. Abban az esetben, ha a vizet porlasztott formában juttatják az égő felületre, az oltás gyorsabb. A porlasztott sugár használata kettős irányú: elsődlegesen az emulziós réteg létrehozása a cél, de a porlasztott sugár megvédi az oltásban résztvevőket is a hőszugárzástól.

Az olajféleségek tüzeinek vízzel való oltása csak szétfolyt állapotban biztonságos. Tartálytüzek alkalmával természetesen ez az oltási eljárás nem alkalmazható, mivel a víz az olajféleségek tartályából való kivetődését idézheti elő. A kátrány, a pakura, valamint a petróleumféleségek tüzeinek vízzel való oltása eredményes.

Összefoglalva: a tűzveszélyes folyadékok tüzeinek vízzel való oltását illetően a következőket lehet megállapítani:

- a víznél nehezebb fajsúlyú folyadékok égése esetén jól felhasználható a tűz oltására;
- a vízzel keveredő tűzveszélyes folyadékok oltása csak bizonyos feltételek megléte esetén alkalmazható;
- a benzinféleségek tüzeinek oltására a víz nem alkalmas, csak rövid ideig biztosítható taktikai megfontolásokból, a felszín bizonyos nagyságán a lángolás időszakos „leszorítása” céljából;
- a szétfolyt olaj – valamint petróleumféleségek – tüzei porlasztott sugárral olthatók.

Légnemű anyagok égésének oltása

Nyomás alatt kiáramló gázok vízzel való oltása attól függ, hogy milyen az égő gáz nyomása. Általában csak gáztartályok és kisnyomású gázkutak égésénél alkalmazható sikerrel. A porlasztott vízsugárral való oltás általában csak akkor megfelelő, amikor a gáztartályok szelepein vagy a tartályfalak nyílásain a gáz kis nyomással áramlik ki. Meghatározza továbbá az oltás sikerét az is, hogy milyen gáz ég.

Az oltás lényege abban áll, hogy az égés felületére megfelelő számú sugarat vezetünk, ezáltal az oltás során a gázlángot vízcseppek veszik körül, ezek behatolnak a lángok közé, ott gőzzé alakulnak, csökkentik a hőmérsékletet, és gőzzel telítik az égés terét. A keletkezett vízgőz megváltoztatja a környező levegő összetételét, csökkenti az odajutó oxigénmennyiséget, és az égés oxigén hiányában megszűnik. Kisebb gázkutak oltásánál a kiáramló gáz alsó részéhez több, nagy teljesítményű kötött sugarat vezetünk. Ha ezek a sugarak a gáz lángját az alsó részen nem tudják átütni, akkor a sugarakat egyszerre, lassan felfelé kell emelni mindaddig, amíg a kisebb nyomás helyét el nem éri, ahol a sugarak a lángot már meg tudják bontani (leszakítani). Az átütés helyén a víz tömegéből (vízcseppekből), valamint a fejlődő gőzből kúpos felület képződik. A kúpos felület az égés felületét elzárja a friss gázok beáramlási zónájától, ezáltal az égés megszűnik. Ha a vízsugarakat nem egy időben és nem egyenletesen emeljük, akkor ez a gázlángok kitöréséhez vezethet, és ennek folytán nem tudjuk megszüntetni az égést.

A visszagyulladás lehetősége fennáll, ha felhevült fémek (vagy parázslás) maradnak vissza. Ezek hűtéséről vagy megszüntetéséről intézkedni kell. A tényleges tűzoltást általában csak abban az esetben szabad elvégezni, ha a gázkiáramlás megszüntetésének feltételei már biztosítottak. Ha ez nincs meg, a tűzoltás után a gáz újabb tüzet (robbanást) idézhet elő.

Az említett oltási eljárást a tapasztalatok alapján csak akkor érdemes alkalmazni, ha oltópor nem áll rendelkezésre, mivel az oltópor alkalmazásával az ilyen fajta tüzeket eredményesen lehet megszüntetni (oltóporoknál ismertetve.)

4.1.9 A víz egyéb felhasználásának lehetősége

A víz tüzeset vagy káreset alkalmával nemcsak tűzoltási célokra használható. Szakszerűtlen felhasználása azonban robbanást, újabb tüzesetet vagy balesetet idézhet elő, ezért érdemes a lehetőségeket és a veszélyeket áttekinteni.

4.1.9.1 Savak, lúgok vízzel való hígítása

A víz felhasználható különböző savak (például salétromsav, kénsav, sósav), lúgok vagy ezek vizes oldatainak hígítására is. A tűzoltóság ilyen irányú tevékenysége elsősorban az életmentésre, másodsorban a kárt okozó anyag hatásainak megszüntetésére terjed ki.

A savak hatástalanítását nagy mennyiségű víz felhasználásával végezzük. A hígítást a legtöbb esetben úgy hajtjuk végre, hogy a kifolyt anyagot bőséges vízzel hígítjuk, a gőzöket porlasztott sugárral lecsapatjuk, zárt helyiségből szellőztetéssel eltávolítjuk.

A savak közül a legveszélyesebb a salétromsav, amely szobahőmérsékleten is mérgező gázokat bocsát ki. Éghető anyaggal (főleg faforgács, szalma stb.) érintkező salétromsav reakciója gyújtóhatást eredményezhet, ami a további gázfejlődést fokozza. A keletkezett gáz vörös, később rozsdabarna színű, nehezebb a levegőnél, és erősen mérgező. Salétromsav ömlésénél – szabadban is – sűrített levegős légzőkészülék használata szükséges. Az említett tulajdonságait figyelembe véve felítására fűrészport és általában éghetőanyagot használni nem szabad. Hatásos ellenszerei az ammóniákoldatok – szóda, valamint a kenőszappan– és a mésztej. Körülhatárolására és felítására legalkalmasabb a száraz homok. Hígítására nagy mennyiségű vizet használjunk. Mérgezés esetén mesterséges légzést ne alkalmazzunk, feltétlenül orvosi beavatkozásra van szükség.

Az előforduló többi sav (például a kénsav, sósav) kevésbé veszélyes. Zárt helyiségben gázai ellen azonban szintén légzőkészülék alkalmazásával védekezzünk. Itt is szükséges a különböző védőfelszerelés, mint például a megfelelő védőcsizma, gumikesztyű stb.



86. ábra: Gázok megkötése porlasztott vízsugárral

Ha tömény sósav folyik szét, felhígítására nem szabad kevés vízmennyiséget használni, mert a vízzel való keveredés jelentékeny hőmennyiséget termelődésével jár. A víz egy része a hő hatására gőzzé válik, és erős fröcskölés közben égési sebeket okozhat. Ügyelni kell arra is, hogy a szétfolyt sav középső részébe ne juttassunk vizet, mert ezáltal – a sav szétfröcskölésével – balesetet idézhetünk elő. Felhígítását minden esetben a szétfolyt folyadék szélén kezdjük meg, bőséges vízmennyiséggel. Kénsav szétfolyása alkalmával ugyanaz az eljárás, mint a sósav hígításánál.

A lúgok közül általában ammóniával vagy annak vizes oldatával, szalmiákszesszel találkozunk a káreset helyszínén. Az ammónia folyékony állapotban egyáltalán nem, gáz állapotban nehezen ég. Levegővel keveredve azonban 17–27%-ban robbanóképes. Legnagyobb veszélye abban van, hogy a szemet és a nyálkahártyát erősen izgatja, nagy töménységben fulladást, halált is okozhat. Hígítása szintén nagy mennyiségű vízzel történik, légzőkészülék, valamint védőruha használatával.

4.1.9.2 Por lekötése vízzel

A poros helyiségekben keletkezett tüzek oltásának megkezdése – főleg kötött sugárral – a porrobbanás veszélye miatt nehézségekbe ütközik. Az ilyen helyiségek tüzei alkalmával

vízzel – porlasztott sugár formájában – a lerakódott vagy a levegőben lebegő port le lehet kötni. A por lekötése után már kötött sugarakat is szabad használni a tűz oltására.

4.1.9.3 Vasszerkezetek hűtése

A magas hő hatására a beépített vagy burkolat nélküli acélszerkezetek főleg hossztagulást szenvednek. Ezt a jelenséget vonalas (lineáris) hőtágulásnak nevezzük. Ha a testek hosszúsága jóval nagyobb, mint a szélessége, akkor csak a vonalas hőtágulást vesszük tekintetbe. A szilárd és cseppfolyós testek hőtágulási együtthatója az anyagra jellemző érték, a légneműeknél pedig minden gázra állandó. Mértékegysége: $1/^\circ\text{C}$. Ezek szerint megkapjuk, hogy a test eredeti, 0°C -on mért hosszának hányad részével tágul 1°C hőmérsékletváltozás hatására.

Néhány szilárd test vonalas tágulási együtthatója az alábbiakban látható:

- alumínium 23×10^{-6}
- sárgaréz 18×10^{-6}
- vas, acél, beton 11×10^{-6}
- öntöttvas 9×10^{-6}
- üveg 8×10^{-6}

Látható, hogy a vas és a beton tágulási együtthatója egyenlő, ez teszi lehetővé a vasbeton alkalmazását az építkezéseknél. Ezt a tulajdonságot használják fel, amikor a tűzjelzőn és az elektromos védőberendezésekben két különböző hőtágulási együtthatójú fémből, például rézből és vasból (ikerfém) készült lemezt (bimetallszalag) alkalmaznak. A hő hatására a bimetaliszalag elgörbül, és a célnak megfelelően az áramkört nyitja vagy zárja.

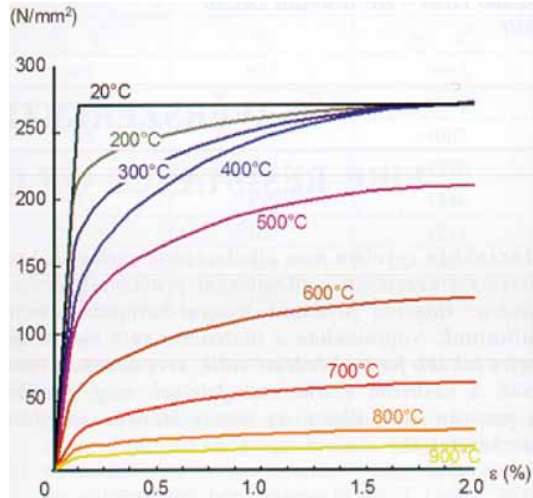
A testek vonalas hőtágulási együtthatója 0 – 100°C hőmérsékletű határok között elhanyagolhatóan kismértékben változik. 100°C -nál magasabb hőmérséklet alkalmával már nagyobb tágulási együtthatóval kell számolni. A 12. táblázatban például az acél és az alumínium tágulási együtthatóját láthatjuk különböző hőmérsékleti határok között.

14. táblázat

	100–200 °C	300–400 °C	500–800 °C
Acél	13×10^{-6}	15×10^{-6}	17×10^{-6}
Alumínium	24×10^{-6}	25×10^{-6}	27×10^{-6}

Ha a test hő okozta tágulását mindhárom irányban tekintetbe vesszük, a tágulást térfogati (köbös) tágulásnak nevezzük. A testek térfogati tágulása egyenesen arányos az eredeti térfogattal, a hőmérsékletváltozással, ugyanakkor az anyag minőségétől is függ. A hőtágulás következtében a beépített vasszerkezeti részek megnyúlhatnak, ezáltal a falakat szétnyomhatják, és ennek következtében az épület össze is dőlhet. A vas kb. 600°C -ig nyúlik, és 600°C feletti hőtől pedig deformálódik. Az acélgerenda 500°C -nál már kb. csak a fele teherbíró képességű, 600°C -on pedig már egyharmadára csökken a teherbíró képessége. Ennek következménye lehet az épület vagy épületrész összeom-

lása. Adott esetben már az oltás kezdeti szakaszában szükséges lehet a vasszerkezetek vízzel való hűtése, hogy az épületek szilárdságát biztosítani tudjuk. A magas hőmérsékleten lévő fémszerkezetek hűtését lassan kell megkezdeni, majd amikor a hőmérséklet kb. 350–550 °C-ra csökken, intenzív hűtés is alkalmazható. A hűtésre főleg porlasztott sugarat, nagyobb távolság vagy nagy felület hűtésére pedig kötött sugarat használunk. A kezdeti gyors hűtés hatására azonban a szerkezeti részek megrepedhetnek, eldeformálódhatnak, ami az adott objektum összeomlását idézheti elő.



87. ábra: Az acél szilárdsági jellemzőinek változása a hőmérséklet függvényében

4.1.9.4 Megolvadt fémek megszilárdítása

A megolvadt és szétfolyó fémek megszilárdítására (megkötésére) a vizet fel lehet használni. A megolvadt fémre a kezdeti időszakban nagy mennyiségű vizet juttatni a robbanásveszély miatt nem szabad (lásd termikus bomlás). Ugyancsak tilos kötött sugárral a szétfolyó fémbe lövellni a vizet, mivel a nagy hő hatására az hirtelen gőzzé válik (térfogata hirtelen megnövekszik), a megolvadt fémet robbanásszerűen szétveti, és újabb tüzet vagy balesetet idézhet elő.

A vizet porlasztott sugár formájában alkalmazzuk a hűtés kezdeti szakaszában úgy, hogy ne a megolvadt fémet, hanem az előtte lévő teret hűtsük, illetve nedvesítsük át. A megolvadt fém így lassan lehül, és a szélétől kezdve megszilárdul (megmerevedik). A megszilárduló vagy később már megszilárdult fém hőmérsékletét ezután már intenzívebben is – a helyzetnek megfelelően – csökkenteni lehet.

4.1.10 Nedvesvíz

A víz felületi feszültségénél már említettük, hogy különböző anyagok hozzáadásával a víz felületi feszültségét csökkenteni lehet. Különböző ilyen célra gyártott adalékanyagot ismerünk. Ezeket az anyagokat az oltóvízhez keverve kapjuk az ún. nedvesvizet.

A nedvesvíz a természetes vízhez hasonló, de attól a felületi feszültség értékében eltérő oltóanyag. Az égő tárgyon a nedvesítés bonyolult folyamat. A tapasztalatok szerint a nedvesvíz behatolási képessége csak a már lehült felületen valósul meg. Magasabb hőmérséklet (100 °C felett) esetén a nedvesvíz természetben található vízként viselkedik, vagyis azonnal elpárolog. A kétfajta oltóvíz között ebben az esetben nincs különbség.

A nedvesvizet különféle portüzek (szén, korom, liszt stb.), nagy fajlagos felületű anyagok (gyapjú, gyapot stb.) és nehezen nedvesedő anyagok (például gumi) tüzeinek oltásánál célszerű alkalmazni. Felhasználható természetesen minden olyan helyen is, ahol a vízzel történő oltás is elegendő. A nedvesvízzel történő oltásnál az is cél, hogy egyenletesen tudjuk az égő vagy még nem égő anyag felületét átnedvesíteni. Ez a nedvesvízzel nagymértékben sikerül is, azonban olyan porlasztott sugárra van szükség, amelyben a vízcseppek mérete elegendő ahhoz, hogy azok eljussanak az égő anyag felületére. Mivel a porlasztáshoz szükséges energia a nedvesítőszer hatására nagymértékben lecsökken, a porlasztás kisebb szivattyúnyomással is elérhető. Elvileg a nedvesvízből könnyebb a porlasztott sugár előállítás, a víz felületi feszültségének csökkenése miatt.

A tapasztalat azt mutatja, hogy az említett oltóanyag hatásfoka nagyobb, mint a természetes vízé, de a felhasználás közben károkat is okozhatunk; például lakástűz esetén a nedvesvíz nemcsak az égő felületre jut, hanem annak környezetére is. Ennek elkerülése érdekében a nedvesvíz használatát a minimális mennyiségre kell csökkenteni. A szétfolyt vagy szétfröcskölő vizet a lehető legrövidebb idő alatt el kell távolítani (felitatni, letörölni stb.). Követelmény a nedvesítőszerrel szemben:

- a hatása olyan legyen, hogy a víz felületi feszültségét legalább felére csökkentsék;
- ne tegye tönkre sem a tároló edényt, sem más anyagokat a tűzoltás során;
- mérgező hatása ne legyen, a bekeverési arány legyen alacsony (így gazdaságos).

A gyakorlatban a habképző anyagok nagyon alacsony bekeverésével érjük el a kívánt célt, a gyártó előírásait követve ez az arány kb. 0,1–1% között mozog.

A nedvesvíz felhasználhatóságát figyelembe véve meg lehet állapítani, hogy oltóanyagként történő alkalmazása kiszélesítette a vízzel oltás területét. Alkalmassá teszi a vizet olyan felhasználásra is, amely eddig csak kisebb hatásfokú volt.

4.2 Az oltóhab

A legveszélyesebb tüzek (mint például a tűzveszélyes folyadékok tüzei) megbízhatóan habbal olthatók el. A tűzveszélyes folyadékok fajsúlya a legtöbb esetben kisebb, mint a vízé, ezért szükséges olyan oltóanyag alkalmazása, ami a víz fajsúlyánál kisebb, a tűzveszélyes folyadék felületén megmarad, így alkalmas a tűz oltására. A közép és nagyhabkiadóságú oltóhab felhasználásával új oltási eljárásokat lehet végrehajtani. Nagy előnye, hogy aránylag rövid idő alatt el lehet érni a tűz oltását, vízkár elkerülésével.

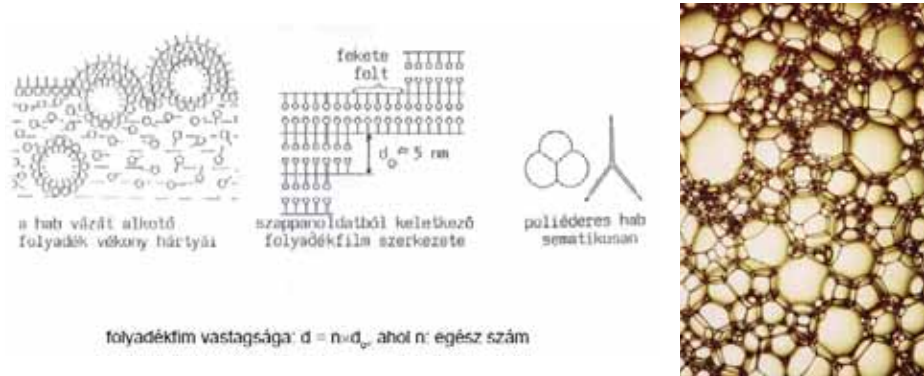
4.2.1 Mechanikai hab (léghab)

A mechanikai hab folyékony és légnemű anyagok keveréke. A mechanikai habot – mint neve is mutatja – mechanikai úton állítják elő. Összetétele: habképző anyag + víz + levegő.

A habképző anyagot számos módon elő lehet állítani. A fehérje típusúhoz tartozókat állati és növényi fehérje anyagokból koncentrált viszkózus oldatként nyerik. A kiindulási

termék legtöbbször hulladékanyag, amelyet vagy fehérjékből állítanak elő, vagy nagy százalékban tartalmaz fehérjét.

Ma már egyre inkább a szintetikus módon előállított habképző anyagokat használjuk, mert használatuk – magasabb költségeik ellenére is – számos szempontból előnyösebb.



88. ábra: A hab szerkezete

4.2.2 A mechanikai hab jellemzése

Az égés megszüntetéséhez kielégítő stabilitású és meghatározott habmennyiség szükséges. Ennek biztosítása érdekében az oltóhaboknak megfelelő tulajdonságokkal kell rendelkezniük. Az oltóhab legfontosabb tulajdonságai: a gördülékenység, a habkiadósság, a fajsúly, az állékonyság és a vízkiválás ideje.

4.2.2.1 Gördülékenység

Ez szabja meg, hogy az oltóhab mennyi idő alatt képes teljesen letakarni az égő felületet. A gördülékenység akkor megfelelő, ha az oltóhab a tűz felületét folyamatosan, szakadásmentesen fedi be. Az oltóhab hideg, valamint meleg időben eltérő gördülékenységgel rendelkezik.

A gördülékenységet a keverékben lévő habképző anyag százalékos mennyisége jelentősen befolyásolja. Minél több habképző anyagot juttatunk a keverékbe, annál keményebb a hab, ennek következtében gördülékenysége kisebb lesz, így azonos felület teljes letakarása hosszabb ideig tart. Minél kevesebb a habképző anyag százalékos keverési aránya, annál gördülékenyebb az oltóhab, mivel annál jobban hasonlít a víz tulajdonságaihoz.

Tűzoltás alkalmával a gördülékenység megválasztása (keverési százalék) fontos tényező. Ha a felület gyorsan le kell takarni, és vékony habréteg is elegendő, akkor kevesebb habképző anyagot kell felhasználni. Ferde felület letakarásához azonban keményebb habra van szükség, ezért a habképző anyagot nagyobb százalékban kell felhasználni. Ebben az esetben az oltóhab tapadása sokkal nagyobb.

4.2.2.2 Habkiadósság

A habkiadósság az oltóhab mennyiségére jellemző viszonyszám, amely megmutatja, hogy hányszor nagyobb a fejlesztett hab térfogata a felhasznált oldat térfogatánál. A habkiadósság függvénye a habképzőanyag minőségének, a bekeverési százaléknak, az oldat nyomásának és az alkalmazott habsugárcsőnek. A habkiadósság az oltóhab fajsúlyának reciproka: $Hk = 1 / Fs$.

Minél kisebb az oltóhab fajsúlya, annál nagyobb a habkiadósság. Példaként, a 7-szeres habkiadósság azt jelenti, hogy 1 liter habképzőanyag és 24 liter víz keverékéből 175 liter hab keletkezik. A közép és nagy habkiadósság esetén ugyanezt a számítási módot kell alkalmazni. Például 1000-szeres habkiadósságon azt kell érteni, hogy 1 liter keverékből 1000 liter habot állítunk elő. A mechanikai habot habkiadósság alapján három osztályba soroljuk:

- nehézhab (20-as habkiadósságig),
- középhab (21-től 200-as habkiadósságig),
- könnyű léghab (201-től történő habkiadósságig).



89. ábra: Oltóhab alkalmazása

4.2.2.3 Fajsúly

Az oltóhab fajsúlya a habképzőanyag minőségétől, vegyi összetételétől és a habban lévő levegőbuborékok térfogatától függ. A fajsúly a habkiadósságot is meghatározza. Az oltóhab fajsúlyára viszont a habot előállító rendszer is hatással van. A tűzveszélyes folyadékok oltását nehezebb fajsúlyú oltóhabbal ajánlatos elvégezni, mert a gőzök és gázok felhajtóereje a könnyű habot egyszerűen megemelheti, és így az összefüggő habtakarót megszakíthatja.

A habfajsúlyt az oltóhab súlyának (kg) és az oltóhab térfogatának (literben) viszony-száma határozza meg.

4.2.2.4 Állékonyság

A habtakaró minőségi jellemzője az ún. állékonyság. A hab állékonysága alatt azt az időtartamot értjük, amíg a fel nem szakadozó takarás mellett a habtakaró rétegvastagsága fele méretre csökken. A hab állékonyságát percben mérjük, és annak megkívánt értéke hideghabnál (+20 °C-os alaphőmérsékletnél) tűzveszélyes folyadékok felszínén mérve 30 percnél kevesebb nem lehet.

Állékonynak nevezzük azt a habot, amely például 60 cm kezdeti vastagságnál 30 percen belül nem esik 30 cm vastagság alá.

Ugyancsak itt kell megemlíteni azt is, hogy fontos tényező az oltóhab hő hatására történő kiszáradása, valamint, hogy a feltörő gázok nyitnak-e csatornákat a habrétegen, vagy csak puffogással távoznak, majd utána a habtakaró összezár.

4.2.2.5 Vízkiválás

A vízkiválás a hab stabilitására jellemző érték. A tűz oltásánál nagy szerepet játszik a habtakaróból kiváló víz mennyisége, mert az jelentős mennyiségű hőt képes elvonni a folyékony, égő anyagból. A szilárd anyagot – nedvesítő képességénél fogva – átnedvesíti, s mivel finom elosztásban válik ki a víz, könnyen gőzzé alakul át, ezért nagy a hűtőhatása.

Kétféle vízkiválásról beszélhetünk:

5 perces vízkiválás

Az 5 perces vízkiválás azt jelenti, hogy az oltóhabból 5 perc alatt hány % víz válik ki, $Vk_5 = 5$ perc alatt a kivált víz kg-ban $\times 100$ % a hab mennyisége kg-ban

Az eredményt százalékban kapjuk. Az 5 perces vízkiválást a vízbe kevert habképzőanyag minősége és mennyisége, valamint a víz oldatnyomása döntően befolyásolja.

Félvíz-kiválás

A félmennyiségű vízkiválás azt jelenti, hogy az oltóhabban lévő víz fele hány perc alatt válik ki. Ebben az esetben követelmény, hogy a félmennyiségű vízkiválás legalább 15–30 perc legyen.

Mind az 5 perces vízkiválás, mind a félvíz kiválás az eredeti keverékre (víz+habképző anyag) vonatkozik. Az oltóhab annál jobb, minél tovább tartja a benne lévő vizet.

4.2.3 A hab oltóhatása

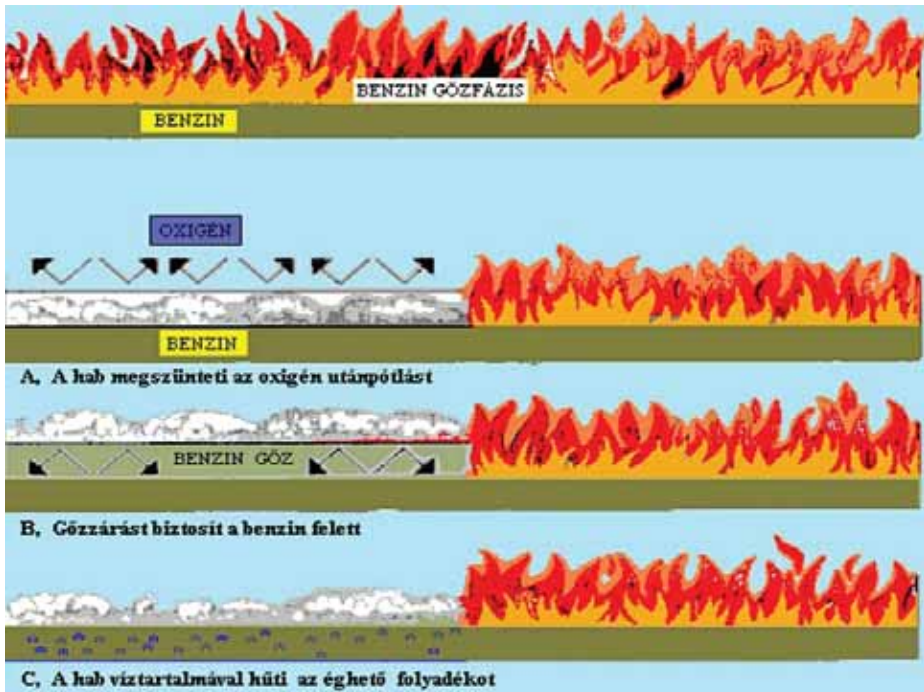
Az oltóhab fő oltóhatásai a takaró-, illetve a hűtőhatás. Az oltóhab takaróhatása kétféleképpen vesz részt a tűz oltásában. Egyrészt az égő anyagot elzárja a levegő oxigénjétől, ezért a tűz oxigén hiányában megszűnik, másrészt a habtakaró megakadályozza, hogy az éghető gőzök és gázok kiáramoljanak, és azok a habtakaró fölött újra meggyulladjanak. Nagy jelentőségű az oltóhabnak az a tulajdonsága is, hogy a lassan kiváló víz egyenletesen eloszolva és aránylag lassan jut az égő felületre, ott gőzzé válik, és közben hőelvonás útján (párolgás) hűti az égő felületet. Az oltóhabból kiváló vízceppcsekék hűtőhatása

a szilárd anyagok oltásánál fokozódik azzal is, hogy a kivált vízmennyiség jó nedvesítő hatású, az anyagba beszívódik, így a további égést meggátolja.

A hab oltóhatása: 100 °C feletti felületi hőmérséklet esetén hűtőhatás, 100 °C alatti felületi hőmérséklet esetén pedig takaróhatás. Ha tehát az anyag felületi hőmérséklete 100 °C felett van, hűtőhatásról beszélhetünk, hiszen a habban lévő víz a hőmérséklet hatására elpárolog – a hab megsemmisül –, és az aránylag kevés habképzőanyag már nem tud fedőhatást biztosítani. (Például 175 liter hab vízének elpárolgása esetén csak 1 liter habképző anyag marad vissza, amelynek nagyobb százaléka a hő hatására szintén elpárolog.) A 100 °C alatti felületi hőmérséklet alkalmával – mivel a habban lévő víz már csak kismértékben párolog – az oltóhab megmarad, és takaró (fedő) oltóhatást fejt ki. Felületi hőmérséklet alatt természetesen az égő anyag felszínén lévő hőmérsékletet kell érteni. Tehát mindaddig, amíg az anyag felülete 100 °C felett van, a takaróhatás nem tud kialakulni.

A fojtóhatás alhatásaként jelentkező elválasztó hatásnak is nagy szerepe van, főleg a takaróhatás kialakulásának szempontjából. Figyelemreméltó továbbá, hogy a léghabnak nagy a térfogata, és így kiszorító oltóhatást is kifejt. A kiszorító oltóhatásnak – főleg a közép- és nagykiadósságú oltóhab alkalmazása esetén – igen nagy jelentősége van.

A habból kiváló víz számos tűzveszélyes folyadékkal emulziót (olajhabot) alkot, amely éghetetlen fedőréteget képezve hozzájárul a tűz oltásához. A hab oltóhatása is sokrétű, egymással összefüggő és nagyon változó folyamat.



90. ábra: Az oltóhab oltóhatásainak komplex szemléltetése

4.2.4 Habtörés

Tűzoltás alkalmával a hő és az oltandó anyag gőzei megsemmisíthetik az oltóhabot, ezért a hab mennyisége csökken, és a takaró oltóhatás létrejöttét megnehezíti, esetleg meg is akadályozza. Mindazokat az eseteket, amelyeknél a habtakaró külső behatásra térfogatából veszteséget szenved, habtörés gyűjtőnéven foglaljuk össze. A habtörést okozó külső behatások: a magas hőmérséklet, a mechanikai hatások, valamint a vegyi hatás.

4.2.4.1 A magas hőmérséklet habtörő hatása

A habképző anyagok tulajdonságaitól, valamint a stabilizátor hatékonyságától függően a hab buborékai kisebb-nagyobb mértékben ellenállnak a folyadék-gőzök és a gáz alakú égéstermékek, valamint a hőmérséklet hatásainak. A habbuborék különösen gyorsan pattanhat szét, ha a környezet hőmérséklete gyorsan növekszik. A habban lévő gázok (levegő) nyomása nagymértékben megnő, nagyobb lesz, mint a gázokat (levegőt) körülvevő hártya szilárdsága, és a habbuborék szétpattan. A hőmérséklet csökkenésével csökken a habban lévő víz felületi feszültsége is, ami szintén elősegíti a habtörést.

A magas hőmérsékletet mint a habtörés okát főleg a felmelegedett, áttüzesedett fémes részek idézik elő. Forró felületen a habtörést két tényező is kiválthatja: egyrészt a már említett gáz nyomása, amely szétfeszíti egymástól a hab buborékait; másrészt, hogy a habban lévő víz elpárolog, így a hab „összetörik”. Ez a jelenség tartálytüzek alkalmával tapasztalható, főleg alsószintű égés esetén. Ekkor az ún. „katlanhatás” érvényesül. A katlanhatás fogalma alatt azt kell érteni, hogy az alsószintű égés miatt a tartály fémes része áttüzesedik, és az intenzív hőszugárzás következtében a tartály alsó részében, a „katlanban” a magas hőmérséklet hatására megsemmisül az oltóhab. Ennek elkerülése érdekében a feltüzesedett fémes részeket hűteni kell, hogy az összefüggő habtakarót ki lehessen alakítani. Tartálytüzek esetén a habbal való oltás megkezdése előtt a fémes részek (tartályok) intenzív hűtése elsődleges feladat.

4.2.4.2 Mechanikai hatások

Többféle hatásról is beszélhetünk. Ha az oltóhabot nagy magasságból vagy nyomás alatt az égő folyadékba juttatjuk, az a felforrósodott folyadékkal összekeveredik, „megfürdik”. A jelenlévő magas hő hatására a víz elpárolog a habból, ezáltal megsemmisül. Annak érdekében, hogy az oltóhab a mechanikai hatások következtében ne menjen tönkre, alkalmazzuk a habcsúszdákat és a habfolyatókat. Ezekkel elérhető, hogy az oltóhab ne essél, hanem ráfolyással kerüljön az égő anyag felszínére.

Szétfolyt, nagy mennyiségű tűzveszélyes folyadék, valamint védőgödörben keletkezett tűz oltása alkalmával kerülni kell, hogy a habot nagy erővel juttassuk az égő folyadék felületére, mert az ismert módon a hab nagy része megsemmisülhet, és a habtakaró szakadásmentes kialakítása is nehézségekbe ütközik. A tűz oltását a folyadék szélén ajánlatos megkezdni. Védőgödör oldala, domboldal, lejtő stb. esetén az oltóhabot arra a részre kell lövellni, ahonnan a hab rá tud folyni az égő felületre. Így elérhető, hogy

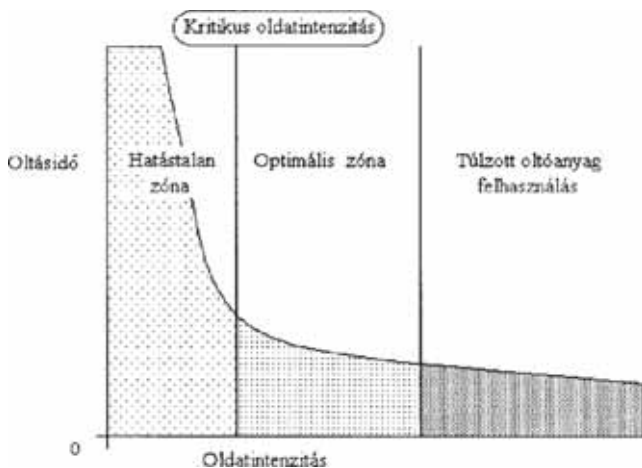
aránylag kevés oltóhab vesztéssel (habtöréssel) a szükséges szakadásmentes habtakaró rövid idő alatt kialakuljon.

Az oltóhab és a tűzoltópor együttes használata esetén szintén habtörés következhet be. Ma már vannak kompatibilis megoldások, azonban ennek bizonytalansága esetén a habtakaró kialakítása után a porral való oltás tilos, mert az összefüggő habtakaró a porszemcsék hatására megsemmisül, és a kiáramló égési gázok újra meggyulladhatnak. Fordítva ugyanez természetesen nem igaz: a porral való oltás után a habtakaró kialakítását szakszerűnek tekintjük.

4.2.4.3 Vegyi hatás

A poláris csoportokat tartalmazó tűzveszélyes folyadékok (alkoholok, éterek, észterek stb.) égése alkalmával csak az arra alkalmas oltóhabot szabad használni. Az alkohol tartalmú anyagok esetében az alkohol az oltásokra nem alkalmas haboknál a buborékok külső burkolatát alkotó vizes-sós oldat felületi feszültségét annyira lecsökkenti, hogy a habbuborékok elpattannak. Az alkoholféleségek a habban lévő vizet elnyelik, ezáltal az oltóhab megsemmisül. Minél nagyobb a tűzveszélyes folyadék alkoholtartalma, annál nagyobb mértékben roncsolja szét az oltóhabot. Ilyen habtörő anyag még például az éter, benzol, toluol stb.

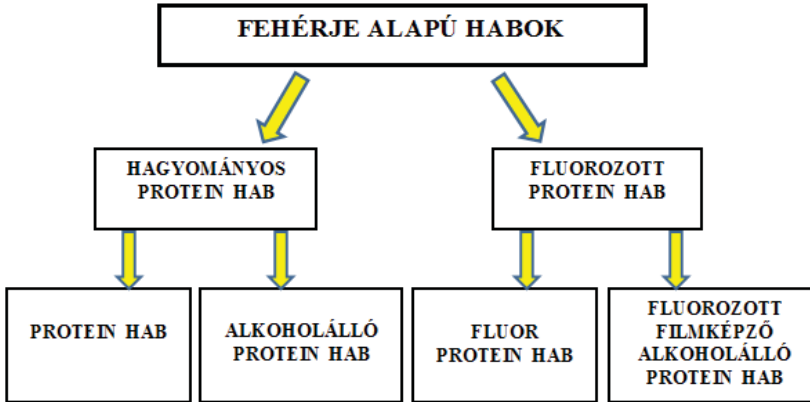
Mind a magas hőhatás, mind a mechanikai vagy vegyi hatás következtében megsemmisült oltóhab mennyiségét esetenként a habtörés mértékétől függően – főleg, ha az nem kerülhető el – a hab intenzitásával pótolni lehet. Ha nagyobb mennyiségű habtöréssel kell számolnunk, és a habbal való oltás válik szükségessé, a habfolyatók és habgátlók számát a szükségnek megfelelően növelni kell.



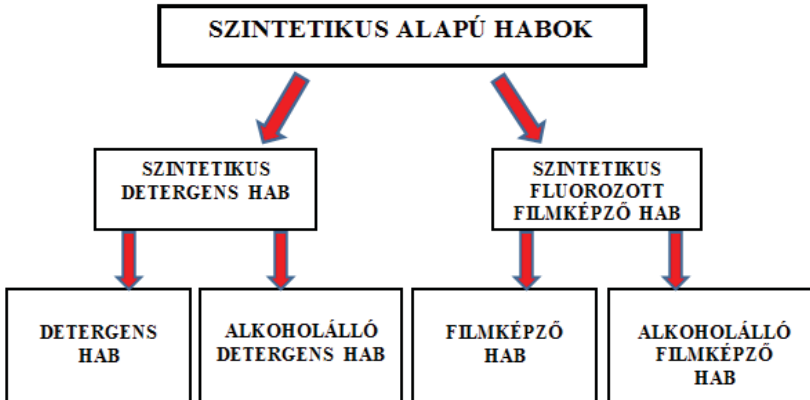
91. ábra: Az oltási idő és az oldatintenzitás összefüggése

4.2.5 A habok típusai

Elsősorban a vegyi hatás kiküszöbölése érdekében, illetve a habok hatékonyságának növelése érdekében a habképző anyagok különböző típusait fejlesztették ki. Ezeket két fő csoportra lehet osztani, az elsőt a fehérje alapú, a másodikat a szintetikus alapú habok alkotják. Ezeken belül is megkülönböztetünk különböző típusokat, amelyek a következő két ábrán láthatók.



92. ábra: A fehérje alapú habok felosztása



93. ábra: A szintetikus alapú habok felosztása

Az oltóhabok fejlesztésének következtében azok hatékonysága jelentősen megnőtt, különösen az olyan anyagok tekintetében, amelyeknél a habtörést csak jelentős mennyiségű habintenzitással lehetett ellensúlyozni. A következő ábrán a filmképző és kettős filmképző hatás kerül bemutatásra.



94. ábra: A szintetikus habok működési mechanizmusa

4.2.6 Az oltóhab felhasználásának lehetőségei

Az éghető folyadékok tüzeinek oltását a legtöbb esetben oltóhabbal tudjuk eredményesen elvégezni, mert fajsúlya könnyebb, mint az égő folyadékoké, s így aránylag rövid idő alatt megfelelő takarást tudunk biztosítani. Az oltóhab utánpótlását a lángok eloltása után mindaddig nem szabad abbahagyni, amíg a megfelelő vastagságú habtakaró nincs biztosítva. Ha a habömlesztést a lángok megszűnése után azonnal megszüntetnénk, a forró folyadék gőze és az izzó tartály felülete a vékony habtakarót elröncsolná, így az éghető anyag újra meggyulladna. Ezért a fémes részek hűtését a habtakaró befejezése után is mindaddig folytatni kell, amíg az éghető folyadék hőfoka a gyulladási pont alá nem süllyed.

A habintenzitás, valamint a habrétegvastagság meghatározása szempontjából a tűzveszélyes folyadékot két csoportra osztjuk:

- az 50 °C lobbanáspont alatti,
- az 50 °C lobbanáspont feletti.

Tartálytűz oltásánál az 50 °C lobbanáspont alatti tűzveszélyes folyadékok esetén a habtakaró vastagságának legalább 90 cm-nek, 50 °C lobbanáspont alatt pedig 65 cm-nek kell lennie. Védőgödör tűznél 45 cm-es habtakarót kell biztosítani.

Oltóhab a szilárd anyagok tüzeinek oltására is eredményesen használható, főleg olyan esetekben, ahol a víz nagy károkat okozhat. Előnye, hogy a tüzet gyorsan le tudjuk feketíteni, a víz az anyagot kiválóan átnedvesíti, ezáltal az égést megszünteti. Szilárd anyagok tűzoltása alkalmával a habtakaró vastagságát 15–20 cm-re ajánlatos méretezni. A habtakaró egyenletes kialakítása már nem olyan fontos, mint a tűzveszélyes folyadékok oltásánál, mert ahol az égő anyagot egyszer már (megfelelő vastagsággal) letakartuk, a tűz megszűnik, és így már nem áll fenn a visszagyulladás veszélye.

A vizet sokkal gazdaságosabban tudjuk felhasználni hab formájában, ha figyelembe vesszük, hogy a vízzel való tűzoltás alkalmával igen sok víz elfolyik, amivel végeredményben tűzoltást nem is végeztünk.

Salétromsav-ömlés által keletkezett tüzek oltásánál is célszerű lehet oltóhabot használni, mert a hab egyrészt – takaróhatásánál fogva – elzárja a levegő oxigénjét, így az égés megszűnik; másrészt pedig a salétromsav bomlásakor keletkező gőzöket és gázokat a habból kiváló folyadék részben elnyeli. Különböző savak ömlésénél e tulajdonsága miatt az oltóhab jól alkalmazható.

Jól lehet alkalmazni oltóhabot ferde felületen, ahol a víz elfolyik, de a hab megmaradva biztosítja a tűz oltását vagy az éghető anyag védelmét. Függőleges felület égésénél felülről lefelé folytatott habbal kell az oltást végezni. Az oltóhab nemcsak tűz oltására, hanem a tűz terjedésének megakadályozása érdekében is felhasználható. (Például tűz alkalmával a hőszugárzás következtében a tűzveszélyes folyadékot tartalmazó hordó veszélyeztetve van, akkor habtakaróval letakarjuk, és így védjük. Célszerűbb ezt a megoldást alkalmazni, mint az állandóan vízzel való hűtést, mert megfelelő vastagságú habtakaró hosszú ideig tökéletes védelmet biztosít.

A Habtörés című részből ismert, hogy a fehérje alapanyagú oltóhab alkalmazása a tűzveszélyes folyadéktüzek oltásánál korlátozott. Mivel a már említett folyadékok általában a vegyiparban, különösen a szesziparban használatosak, feltétlenül szükséges ismerni azokat az anyagokat, melyek habtörést idéznek elő. A habtörés nagysága is fontos tényező, mivel a hab intenzitásának növelésével adott esetben a habbal való tűzoltás eredményes lehet.



95. ábra: Szénhidrogéntároló tartály tűzoltása nehéz habbal

Feszültség alatt lévő elektromos berendezések tüzeinek oltása habbal csak az arra alkalmas habok esetén (tűzoltó készülékek) és csak olyan feszültségig lehet, ameddig az jelölve van.

Minden olyan égés alkalmával, ahol az égő anyagok a vízzel kémiai reakcióba lépnek, ezáltal a tűz oltása veszélyessé válik, a habbal oltás tilos.

4.2.7 Nagykiadósságú léghabok

A habképzés mechanizmusa a következő: a habzóképes oldatot egy szita felületére permetezik. Az egyenletesen szórt oldat vékony, filmszerű réteget képez a szita felületén, és igyekszik onnan lefolyni. A habfejlesztéshez szükséges levegőt könnyűléghab esetén (200-szoros habkiadósság felett) ventilátor szolgáltatja, amely a lefolyni igyekvő oldat filmrétegét átfújja a szita lyukacsain. Az így „feldarabolt” oldatfilmréteg a szita másik habképző oldalán a levegő hatására buborékokat képez, hasonlóan a szalmaszállal fújt szappanbuborékokhoz. A képződött habbuborékokat az utána következők választják le a szita felületéről. A habtovábbítás roncsolásmentes, mert a habbuborékok egymást még nyomás esetén sem roncsolják, azaz nem pukkadnak szét.

Oltóhatását tekintve a közép- és könnyűhab megegyezik a hagyományos (például fehérje alapanyagú) habnál tárgyaltakkal, de egyes oltóhatások előtérbe kerülnek. A leglényegesebb oltóhatás elsősorban a kiszorítóhatás, főleg a könnyűhab esetén. Rövid idő alatt kialakítható egy vastag, összefüggő habtakaró is, ezért az elválasztó és takaróhatás szintén nagy szerepet játszik. A kialakított védő habtakaró rossz hővezető képessége miatt a már letakart részek meggyulladás (visszagyulladás) – megfelelő utánpótlás esetén – teljesen kizárt. A rossz hővezetőképesség miatt jelentős a gátló oltóhatás is.

A könnyű habtakarót a folyadék gőzei, gázai képesek a felszíntől akár 8–10 mm magasságra is megemelni, és így az nem is érintkezik magával a folyadékkal. A gőzök által okozott habtörés már kisebb jelentőségű.

Nyílt területen lévő tüzek oltására – erősebb légmozgás esetén – a könnyűhab nem alkalmas. A viszonylag kis fajsúly következtében a légáramlás (szél) a habot magával ragadja, és elviszi a tűz helyszínéről, így az összefüggő habtakaró nem tud kialakulni. Ezért szükséges ebben az esetben a habkiadósságot – a helyzetnek megfelelően – csökkenteni. Ebben az esetben a hab fajsúlya nagyobb lesz, és ellenáll a légmozgásnak. A nagykiadósságú habnak két formája ismert: a középkiadósságú hab és a könnyűhab.

4.2.7.1 Középkiadósságú léghab

Középkiadósságú léghabról akkor beszélünk, ha a habkiadósság 21 és 200 között van. Előállítás a kézi léghab-sugárcsővel történik. Az általunk használt léghab-sugárcső habkiadóssága 30–150-szeres. A középkiadósságú léghabot ugyanúgy állítják elő, mint a hagyományos léghabot, különbség a léghab-sugárcsőben van, amelyben a már említett szita van elhelyezve. (A habképzés azonos a már ismertetett folyamattal.)

Alkalmazása főleg a tűzveszélyes folyadékok tüzeinek oltásánál kerül előtérbe. Fajsúlya következtében a légmozgásnak (gázcsere, szél stb.) ellenáll, így a habtakaró jól kialakítható. Könnyen kezelhető, semmilyen „különleges” felszerelés nem szükséges az előállításához.



96. ábra. Középkiadósságú hab terülése

4.2.7.2 Könnyűléghab

Könnyűléghabról 201-szeres feletti habkiadósság esetén beszélhetünk. A könnyűléghab az 1000-szeres habkiadósságot is elérheti: 1 liter keverékből 1000-szeres habkiadósság esetén 1000 liter, azaz 1 m^3 habot lehet előállítani. A habosítandó oldat vízből és 1,5–2%-os nedvesítőszer típusú anyagból tevődik össze. 100 m^3 léghab előállításához kb. 98 liter víz és 2 liter habképző-anyag szükséges. Ez a tulajdonság főleg vízszegény helyen előnyös, hiszen 100 liter oldatból 100 m^3 léghab állítható elő, ami igen számottevő.

1000-szeres habkiadósságú léghab fajsúlya 1 kg/m^3 , levegőtartalma 99%. Ennek következménye, hogy rendkívül rossz hővezető. 1 m^3 hab közel 2 millió habbuborékot tartalmaz. Egy hagyományos habképző rendszerrel 200 liter folyadékból percnként közel 200 liter oltóhabot tudunk előállítani: könnyűhab esetén ugyanilyen mennyiségű oldatból ugyanannyi idő alatt 200 000 litert. Ez a tulajdonság nagy előnyt jelent tűzoltás alkalmával, hiszen nem mindegy, hogy egy felületet, helyiséget mennyi idő alatt tudunk letakarni, illetve elárasztani.

Például ha egy pincetűz 20 m hosszú, 15 m széles és 2,5 m magas helyiségben van; a habbal való elárasztást – figyelembe véve a hő által okozott kb. 50%-os habtörést is – 7–8 perc alatt el lehet végezni, és az ehhez szükséges vízmennyiség csak 1500 liter.

Ha figyelembe vesszük azt, hogy a vízmennyiség fele elpárolog, úgy csak 750 liter víz marad hab formájában a pincehelyiségben. Ezek a számok azt jelentik, hogy 200 m^2 alapterületű pincehelyiség tűzoltását 1 db kombinált szórt sugárral is ugyanannyi vízzel lehet elvégezni – a gyakorlatban ez nem lehetséges –, mivel vízfelhasználásuk kb. azonos. A számok tükrében az is megállapítható, hogy a vízkár nagymértékben csökkenthető.

A könnyűléghab előállításához generátorra van szükség, amely a ventilátor meghajtásával a megfelelő levegőmennyiséget biztosítja, és magát a habképzést is szolgálja. A nagykiadósságú generátor működés közben a következő ábrán látható. Hátránya, hogy a habot nem lehet „lővelni”. A habkiadósság fordítottan arányos a habkilövellési

távolsággal. Ezért tehát nem lövellhető, csak ömleszthető. A tűz megközelítése eseténként nehézségekbe ütközik. A léghabot ebben az esetben nagy átmérőjű (0,5–0,8 m) polietilén vagy műanyaggal impregnált textiltömlőkön szállítják a habgenerátortól a tűz felületéig. Alkalmazása esetén a habtakaró vastagsága nyílt területen a 2–2,5 m magasságot is elérheti.

Alkalmazási területe főleg zárt helyiségek tűzének oltására korlátozódik. Ebben az esetben az ún. elárasztó módszert ajánlatos használni.



97. ábra: Könnyűhab előállítása habgenerátorral



98. ábra: Könnyűhab nyílttéri alkalmazása

Hajók és uszályok tüzeinek oltására is alkalmas a könnyűhab. Beépített tűzoltóberendezésként is felhasználható főleg gumigyárak, műanyagfeldolgozó üzemek, tűz- és robbanásveszélyes raktárak (például festékraktár), valamint elektromos kábelcsatornák és berendezések tüzeinek esetén. Bányatüzek alkalmával – a gyakorlati tapasztalatok szerint – igen hatásos oltóanyag. Célszerű a berendezést ott elhelyezni, ahol a tűz és robbanás nem veszélyezteti.

A könnyűhab bevezetésének szükségessége jelentkezhet a radioaktív porszennyeződések és azokkal kombinált tüzek oltása esetén. A gyorsan és nagy felületen kialakított habtakaró a porszennyeződést megköti, a további porfelszabadulást pedig megakadályozza. Ezután a habtakarót szórt vízsugárral meg lehet semmisíteni. A képződött radioaktivitással szennyeződött sár szétszóródási veszély nélkül eltávolítható. Természetesen a beavatkozó személyek védelméről gondoskodni kell, mert a habtakaró sugárvédelmet nem biztosít.

4.3 Tűzoltógázok

4.3.1 A tűzoltógázok alkalmazásáról

Tűzoltás céljára a nem éghető gázokat régóta felhasználják. Alkalmazásuk ma már nem csupán tűzoltó-készülékekre korlátozódik, ettől függetlenül általában csak kezdeti, kis felületű tüzek oltására alkalmazzák. Zárt helyiségek (például transzformátor, generátor stb.) tűzvédelmét esetenként oltógázzal biztosítják. Alkalmazásuk korlátozott.

A gázzal történő oltás szerepe elsősorban azoknál az alkalmazásoknál meghatározó, ahol valamilyen speciális ok miatt a vizes alapú oltószerek vagy oltóporok nem elfogadhatóak. Például: bonyolult szerkezetű, nagy értékű berendezések, állandó felügyeletet igénylő vezérlő, irányító termék, műkincsek, könyvtárak, repülőgép hajtóművek stb. védelmére.

A környezetvédelmi megfigyelések az 1980-as években indították el azt a folyamatot, amely a Föld légkörének védelme érdekében korlátozni igyekszik a halogén (fluor, klór, bróm) tartalmú szénvegyületek felhasználását. Ennek a folyamatnak meghatározó nemzetközi megállapodása a Montreali Jegyzőkönyv, amelyhez 1987-óta gyakorlatilag az egész világ csatlakozott. Ebben a folyamatosan felülvizsgált és módosított szerződésben a különböző szerves halogénezett oldószerek mellett korlátozzák a Halon néven ismert tűzoltóanyagok felhasználását is. A környezeti kutatások során elméletek születtek a légkör felső zónájában (5–11 km magasságban) található ózonréteg pusztulásának okairól és az ózon molekulák mennyiségének változásával összefüggő jelenségekről.

Az ózon a Nap káros ultraibolya (UV A és UV B) sugárzását csökkenti azért, hogy a kémiai szerkezetének köszönhetően képes elnyelni a Naptól érkező ártalmas energiájú fotonokat. Az élő szervezetek fejlődésük során hozzászoktak egy átlagos UV szinthez, mely lejut a bioszférába, így ha az UV sugárzás megnövekszik, az ártalmas elváltozásokat és káros következményeket okoz. A kutatások szerint az UV szint növekedését az optikai szűrőként működő ózonmolekulák számának csökkenése okozza. Ezek a mo-

lekulak pedig azért fogynak, mert a képződésük folyamatába beavatkoznak az ember által alkalmazott mesterséges anyagok, alapvetően a kémiaiilag igen stabil halogénezett szénhidrogén származékok sztratoszférába felemelkedő vegyületeiből lehasadó halogén gyökök – klór és bróm. Az egyes halogén vegyületek károsító hatását kísérleti úton, a jelenség laboratóriumi körülmények közötti modellezésével állapítják meg. A halogén tartalmú vegyületek ózonréteggel szemben mutatott károsító hatásának relatív mutatójaként szolgál az ún. ODP index. Az ODP –Ozone Depletion Potential–, azaz ózontartó képesség egy relatív, kísérleti adatokból származtatott szám, mely az illető vegyület ártalmasságát jelöli.

15. táblázat

Oltógáz	ODP
Halon1211	4
Halon1301	10
Halon2402	7

Ózonkárosító hatásuk miatt a halogénezett szénhidrogének, köztük az oltóanyagok felhasználását is nemzetközi egyezmények korlátozzák.

A halon oltóanyagok alkalmazásának egyezményi visszaszorítása azt eredményezte, hogy a jól bevált, általánosan elfogadott halon oltóanyagok helyettesítésére számos olyan új terméket fejlesztettek ki, melyek betölthetik a halon kivonás által okozott űrt ezen a területen.

A fejlesztések alapvetően három irányban folytak és folynak ma is:

1. Halonhelyettesítő anyagok kutatása, melyek tartalmaznak halogén elemeket (aktív oltóanyagok), azonban léghőrt károsító hatásuk nincs.
2. Közömbös (passzív) oltóanyagok, melyek a széndioxidhoz hasonló elven működve az oxigénkoncentráció csökkentése révén oltanak.
3. Egyéb megoldások, például: tűzoltó hatású aeroszolok, melyek égéstermékeik által keletkező bomlástermékeik révén alkalmasak a tűzoltásra.

Összességében a gázzal oltás területén a montreali egyezmény kényszerítő hatásának köszönhetően óriási fejlesztés ment végbe – elsősorban hatóanyag tekintetében, ami egyrésztől bővebb mozgásteret nyújt az alkalmazók számára a megfelelő anyag kiválasztásában, másrésztől azonban a műszaki megvalósítások sokféleségét és az alkalmazási területek kölcsönös átfedését eredményezi.

4.3.2 A gázzal oltás alapelvei és oltóhatások

A gáznemű anyagokkal történő tűzoltás két alapvető mechanizmus szerint folyhat:

- kizsorításos (passzív),
- katalitikus (aktív) módon.

A kizorításos elven működő oltógázok az égés reakciózónájába jutva jelenlétükkel lecsökkentik az oxigén térfogategységre eső mennyiségét. Megnehezítik, hogy az égést tápláló közeg az éghető anyaggal a reakció fennmaradásához elegendő mértékben reagáljon. Az oxigén 14t⁰% koncentrációja alatt a közönséges anyagok égése megszűnik.

A gázbevezetés természetesen az oltás szempontjából kedvező kísérő hatásokat is eredményez, mint például a hűtőhatás, amely a cseppfolyósított gázok expanziója és elpárolgása, a felületen végbemenő fázisátalakulás hőelvonó hatása révén fokozottan jelentkezik.

A katalitikus elven működő oltás elmélete némileg összetettebb az oxigénkizorításos módszernél. Ebben az esetben a reakcióterbe juttatott oltóanyag molekuláinak bomlása következtében keletkező, kémiaiilag aktív vegyület-csoportok beépülnek az égési folyamatok reakcióláncolatába, és megakadályozzák azok továbbfejlődését.

Ha egy-egy oltóanyag molekula több aktív reakciófolyamatot is képes blokkolni, úgy az oltóanyag hatékonysága javul. Ez a mechanizmus elsősorban a halogén vegyületeket tartalmazó oltógázokra jellemző, míg a kizorításos oltási elv az inert– kémiaiilag inaktív, közömbös – gázokra, gázkeverékekre, melyek sajátossága, hogy a lángterbe vagy a reakciózónába jutva nem bomlanak, kémiai folyamatokban nem vesznek részt (például: szén-dioxid, argon, nitrogén).

A tűzoltógázok oltóhatását másoldalról is meg lehet közelíteni, igaz, ez pont a korlátozás alá eső halogénekre vonatkozik leginkább. Oltóhatásuk azok antikatalitikus tulajdonságán alapszik, de emellett meg kell említeni fojtó oltóhatását is. Hűtő oltóhatásuk nagyon csekély, ami az alacsony párolgási hővel magyarázható.

A következő folyamat megy végbe a tűz fészében gázzal való tűzoltásnál. A tűzoltógáz nehezebb fajsúlya következtében (cseppfolyós halmazállapotában) az égési fészek alsó részébe jut. A tűzoltógázt a lángtér alsó részébe és nem a láng közé kell juttatni. A gázcsere következtében a levegővel keveredve már gáznemű halmazállapotban az égési fészekbe kerül. Itt az égési gőzöket és gázokat körülveszi, és beépülve az égés kémiai láncolatába megszakítja azt. Ez lényegében nem más, mint antikatalitikus oltóhatás. A tűzoltógáz a hő hatására kitágul, és az égő vagy még nem égő részeket körülvéve a levegő oxigénjének tűzhöz jutását gátolja.

Az említett jelenség a fojtóhatás alhatásaként jelentkező kizorító hatás. Ahhoz, hogy az oltási folyamat végbemehessen, megfelelő intenzitású (mennyiségű) tűzoltógázra van szükség. Ha az oltógáz megfelelő mennyiségben az adott időegység alatt biztosítva van, az égés megszűnik.

A tűzoltógázok csak a lángolást szüntetik meg. A tűzoltógázok oltóhatása a többi oltóanyaghoz viszonyítva jónak mondható. Például ha a vizet vesszük figyelembe, igen kevés oltóanyag-mennyiség szükséges a tűz eloltásához.

Egy kísérlet alkalmával égő olajjal telt 1 m²-es tálcában összehasonlító tűzoltási kísérletet végeztek, és megállapították, hogy oltóhatás szempontjából 1 liter porlasztott víz átlagos felhasználása egyenlő értékű kb. 400 gramm metil-bromid felhasználásával. Meg kell azonban jegyezni azt is, hogy az oltógáz igen drága oltóanyag, tehát az említett összehasonlítás csak elméleti jellegű.

Egy másik kísérleti eredmény is szemléletes módon mutatta, hogy milyen csekély mennyiségű halogén származékú tűzoltógáz szükséges az antikatalitikus oltásnál. Az égés

(lángolás) megszüntetéséhez metilbromidból átlagosan 6%, maximálisan 8% oltógáz szükséges. Összehasonlításképpen nitrogénből 40%, illetve 75% szükséges az égés teljes megszüntetéséhez.

4.3.3 Az oltógázok alkalmazási területe

A gáznemű oltóanyagok alkalmazhatóságát erősen befolyásolják a környezeti feltételek, mivel hatékony működésük akkor valósul meg, ha az égő anyag környezetében megfelelő ideig, megfelelő koncentrációban megmaradnak. Alkalmazásuknál figyelembe kell venni a következő megfontolásokat:

1. Megfelelő koncentráció kialakítása annyit tesz, hogy a választott anyagból biztosítani kell az oltóképes koncentráció minimális szintjét. A kiszorításos elven működő gázok esetében ez magasabb, akár az 50 tf%-ot is elérheti, míg a katalitikus elven működők esetében 4–12 tf% között mozog. Ha az oltani kívánt anyag környezetében olyan légmozgás van (szél, huzat), hogy a szükséges oltóanyag-koncentráció nem alakul ki, vagy nem tartható fenn a megfelelő ideig, úgy kicsi az esély a sikeres beavatkozásra.
2. A szükséges időtartam az adott éghető anyag típusától függően az oltóanyag koncentrációjának fenntartásához szükséges idő. A gázok és folyadékok tüzeinél, ahol a gáz-, illetve gőztérben zajlik az égés– és feltételezve, hogy nincs jelen egyéb állandó gyújtóforrás, illetve a folyadék nem melegeedett az öngyulladás hőmérséklete fölé –, a lángoltást követően nem kell számítani az újragyulladásra. Ilyen esetekben a sikeres tűzoltáshoz elegendő néhány másodpercig (10–30) fenntartani a szükséges oltóanyag koncentrációt.

Az ,A' típusú, izzón, parázslón égő tüzek oltásához azonban ennél hosszabb időre van szükség, abból adódóan, hogy az oltógázok hőelvonó képessége a helyileg felhalmozódott hő mennyiségéhez képest csekély. Noha a jelenlétükkel a lángtérben folyó reakciókat megakadályozzák, a felhevült égő szilárd anyag hőjét nem képesek rendelkezésre álló rövid idő alatt elvezetni. Az ilyen helyzetekben az oltóképes gázkoncentráció fenntartása mellett, a ,BC' (folyadék és gáz) tüzekhez képest lényegesen hosszabb várakozási idő (10–30 perc) is szükséges lehet, hogy a hűtődés és a felhevült éghető anyagok lehűlése megtörténjen.

A gázzal oltás alkalmazhatóságát tehát nagymértékben meghatározzák, illetve befolyásolják a környezeti feltételek.

A gázok szabadtéri alkalmazása szélcsendes időben, továbbá ,B' és ,C' tüzek oltására javasolt elsősorban és olyan helyeken, ahol lehetőség van a szükséges oltóképes koncentráció helyi kialakítására. Ilyen nyílttéri alkalmazásra példa lehet egyes vasúti vagy közúti tartálykocsi töltő rendszer beépített széndioxiddal oltó berendezése, mely bár nyílttérben üzemel, automatikus indítás esetén az oltóanyag nagy feleslegben történő árasztásával képes megfékezni a töltőberendezés környezetében kialakuló kezdeti tüzet.

A zárt terekben alkalmazott oltógázok – számítógépteremek, kapcsolószekrények, irányítóhelyiségek, könyvtárak, műkincsek, különféle robbanásveszélyes elszívó és csővezeték rendszerek esetén – beépített védelmi berendezések részeként, megfelelő érzékelő és indító automatikával kiegészítve kezdeti tüzek elfojtására alkalmasak.

A zárt terekben történő gázzal oltás megvalósítása az alábbi két jellemző változatban történik:

- helyi irányított elárasztás (készülék, gép részegység, kapcsolószekrény védelme a várható tűzgóc közvetlen környezetében kialakított magas oltóanyag koncentráció révén);
- teljes elárasztás (az egész rendelkezésre álló tér oltógázzal történő feltöltése a minimális oltóképes koncentráció fölé, és ennek a koncentrációnak megfelelő ideig történő fenntartása).

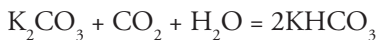
Ismételten: a tűzoltógázok oltóhatásuk alapján csak tisztán lánggal égő tüzek esetében alkalmazhatók. Minden olyan helyen tehát, ahol a visszagyulladás lehetősége fennáll, az egyszerű tűzoltás eredménytelen lehet, ha a felhevült anyagok (fémek, kövek stb.) hűtéséről nem gondoskodunk. Ha ez nem lehetséges, akkor a tűz oltását mindaddig kell folytatni, amíg a felhevült anyagok annyira le nem hűlnek, hogy azok már ne tudják előidézni a visszagyulladást. Oxigénhordozó anyagok tüzeinek oltására nem alkalmasak. Mivel számos esetben mérgezőek, ezért alkalmazásuk a legtöbb esetben korlátozott.

Alkalmazhatók elektromos berendezések tüzeinek oltására is, mivel az elektromos áramot nem vezetik. Ebben az esetben azonban az érintési távolságot feltétlenül meg kell tartani.

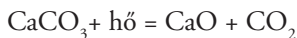
4.3.4 Szén-dioxid (CO₂)

4.3.4.1 Gáz halmazállapotú széndioxid

Szén és oxigén vegyülete. Szén elégetésénél, szénmonoxid égésénél, alkoholos erjedésnél, rothadásnál keletkezik. Iparilag füstgázokból lehet előállítani úgy, hogy ezek széndioxid tartalmát kálium-karbonáttal nyeletik el, a keletkezett kálium-hidrokarbonát oldatból pedig a széndioxidot kiforralják. Kémiai reakciója:



Karbonátok hő okozta szétesésénél is széndioxidgáz keletkezik. Ez a folyamatismert, a mészkeő égetésnél alkalmazzák:



Fajsúlya 1,5 kg/dm³, de hő hatására kb. 165 °C-on a levegőnél könnyebbé válik. Kritikus hőmérséklete: 31,1 °C. Kritikus nyomása: 73 bar.

Szintelen, gyengén savanykás szagú és ízű gáz. Sűrűsége kb. másfélszerese a levegő sűrűségének, úgyhogy egyik edényből a másikba folyadékként átönthető. Már szobahőmérsékleten kb. 55 atm nyomással cseppfolyósítható. A cseppfolyós széndioxid színte-

len, könnyen mozgó folyadék, amely a vízzel nem elegyedik, de éterben és alkoholban jól oldódik.

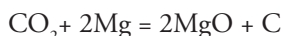
A cseppfolyós széndioxidot acélpalackban tárolják. A széndioxid gáz formában vízben jól oldódik, szobahőmérsékleten kb. 1–1 térfogat arányban. Az oldás nem tekinthető tisztán fizikai folyamatnak, minthogy a vízzel részben szénsavvá egyesül. A széndioxidmolekula nagyon stabil, csak magas hőmérsékleten bomlik szénmonoxidra és oxigénre. Bomlási foka 2000 °C-on kb. 7%. A folyékony széndioxid pillanatok alatt átalakul gázzá, és térfogata 0 °C-nál 500-szorosára növekszik.

Oltóhatását tekintve a tűzoltógázok közül a legrosszabb. Ez annak tulajdonítható, hogy kritikus hőfokon (31 °C) gyakorlatilag nincs párolgási hője (–56 °C-on 25 kJ/m³). A széndioxidgáznak azonban számos olyan tulajdonsága van, amely alkalmassá teszi tűz oltására. Nagy előnye, hogy saját maga hozza létre a kézi tűzoltó készülékekben lévő szükséges nyomást. A széndioxidgáz képes behatolni és elterjedni az égő és nem égő részekben, és ha a levegő 1/4 részét kiszorítja, akkor a lángolás megszűnik.

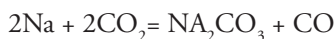
A legkisebb elméleti szénmonoxid mennyiség – százalékban meghatározva –, ami a tűz (az égés) eloltásához szükséges:

- aceton 26%,
- benzin 31%,
- etán 33%,
- hidrogén 62%,
- metilalkohol 26%,
- kenőolajok kb. 28%.

A reakcióképes fémekkel (nátrium, kálium stb.) kapcsolatos tüzek nem olthatók el széndioxiddal. A magnézium égése során a széndioxidtól elvonja az oxigént, és a szén hátrahagyásával éghetővé válik.



Ha fémes nátriumot CO₂-vel hevítünk, akkor karbonát képződik, egyidejűleg azonban szénmonoxid válik szabaddá, ami köztudottan igen gyúlékony (robbanásveszélyes) gáz.



99. ábra: Oltógáz alkalmazása nyílt területen

A széndioxid mint túlnyomórészt fojtó oltógáz korlátozott kiterjedésű, csak lánggal égő tüzek oltására alkalmas. Egyetlen parázsló anyag, amely az oltásnál visszamarad, különösen az igen gyorsan párolgó éghető anyagok alkalmával, megsemmisítheti a tűzoltás eredményét. A széndioxidgázt csak kezdeti tüzeknél ajánlatos használni, mert rövid égési időtartam után az égő anyagok környezete (fémek részek) olyan erősen felmelegszik, hogy a tűzoltás után ismét lángra lobbanás következhet be, ha a felmelegedett oltógáz-felhő eltávozott az említett területről. Bizonyos körülmények között – többszöri oltással – a tüzet ebben az esetben is meg lehet szüntetni.

A széndioxid az elektromos áramot szilárd, folyékony és gáz halmazállapotában sem vezeti, ezért a feszültség alatt álló elektromos berendezések tüzeinek oltására veszély nélkül használható. Ugyancsak alkalmas belső égésű motorok és egyéb gépi berendezések tüzeinek oltására. Alkalmazható továbbá főleg zárt helyiségek (például hajó légtereiben, repülőgépek motorjainak) égése alkalmával és minden olyan helyen, ahol a légáramlás nem vagy csak korlátozott mértékben viszi el az oltóanyagot.

Ugyancsak előnyösen használható laboratóriumok tüzeinél és sok olyan helyen, ahol a víz nem alkalmas tűz oltására. Különböző zárt helyiségek védelmére beépített tűzoltóberendezésekben is alkalmazzák (például transzformátorok védelme).



100. ábra: Széndioxid alkalmazása

A széndioxidgáz nem hatásos tűzoltóanyag az olyan anyagok tüzeinek oltásánál, amelyek oxigént tartalmaznak (oxigénhordozók). Enyhén mérgező hatású, bizonyos körülmények között eszméletlenséget, esetleg halált – fulladást – okozhat, ha a tűz oltása közben nagyobb mennyiségben van jelen. Kb. 9%-nyi töménységnek majdnem minden személy ellen tud állni anélkül, hogy néhány percen belül elveszítené eszméletét. Hosszú ideig tartó, 5%-os széndioxid töménység azonban már halálos is lehet. 20%-nyi töménység esetén mintegy 20–30 perc után bekövetkezik a halál, ha nem viszik a mérgezet friss levegőre. Oxigén hiánya esetén – ha ezt tűzoltás alkalmával tapasztaljuk – mesterséges légzéssel az élesztés rendszerint gyors eredményre vezet.

4.3.4.2 Szénsavhó – szilárd halmazállapotú széndioxid

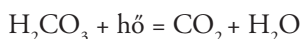
A széndioxid szilárd halmazállapotában szénsavhó néven ismert. A széndioxidgáz nyomással és hűtéssel könnyen cseppfolyósítható, amely a gyors nyomásesés hatására lehül, szilárd anyaggá (szénsavhóvá) alakul át. Ha a tűzoltókészüléket megnyitjuk, a széndioxid saját gőzének nyomása alatt kifolyik, s oly gyorsan párolog, hogy a párolgási hő elvonása következtében egy része hőszerű, fehér tömeggé fagy meg. Szárzajégnak is nevezik. A párolgás időtartama alatt – a párolgás következtében – a hőmérséklet – 78 °C-ra hűl le. Érdekes, hogy a széndioxidnak szénsavhóvá alakulása nem pillanatszerűen történik, hanem közönséges körülmények között rövid, de mérhető (kb. 20 mp) időt vesz igénybe.

A szénsavhó oltástechnikai bevezetésének alapja az a gondolat volt, hogy a szénsavhó bizonyos időt igénybe vevő szublimációjával az égő tárgy felett tartózkodási idejének meghosszabbítását érik el. Oltóhatása megegyezik a széndioxid-gáz oltóhatásaival, de ebben az esetben már hűtőhatásról is beszélhetünk, hiszen a hőfok kb. –78 °C. A hűtőhatás azonban csak mellék oltóhatásként szerepel, bár a szénsavhótól– korlátozott területen – erős lehűlés következik be. 1 kg szénsavhó elpárologtatása alkalmával 572 kJ hőmennyiséget von el a tűz környezetétől.

Meg kell említeni a szublimációs oltóhatást is, hiszen ha szilárd halmazállapotú anyag gáz halmazállapotú anyaggá válik, akkor hőenergiát használ fel, a hőenergiát pedig a tűz fészektől vonja el. Lényegében a lehült széndioxidgáz a levegő nedvesség tartalmát lekötve „hóvá” alakul át, és így kerül a tűz helyszínére. Ez a folyamat a következőképpen megy végbe.



Újra gázfázisba kerülve a folyamat megegyezik a széndioxidgáznál tárgyaltakkal. A reakciója a következő:



Alkalmazhatósága azonos a széndioxidgázéval. Különbség csak abban van, hogy beépített tűzoltóberendezések formájában nem használják.

4.3.5 Halogéntartalmú oltógázok

4.3.5.1 Halonok

A halonok (halogéntartalmú szénvegyületek) széleskörű elterjedését a hatékony oltóképesség, robbanás-megelőző/elfojtó hatás mellett jelentős mértékben elősegítette az, hogy elektromosan nem vezetnek, gyorsan eloszthatók, szennyező maradék nélkül alkalmazhatók, továbbá emberre gyakorolt mérgező hatásuk csekély.

A halonok fokozott oltóhatása döntő mértékben az inhibíciós vagy antikatalitikus hatáson alapul, azáltal, hogy az égési láncreakciókban keletkező láncvivő gyököket befogják, blokkolják. Ehhez azonban a halogén vegyületeknek maguknak is szabadgyökök állapotba kell kerülniük. Ezt biztosítja a C-X kötés felszakadása (ahol X a halogén atom:

Br,Cl,I,F). A lángtérbe jutó és felhevült molekulából halogén atom hasad le, és a keletkező szabadgyökök fékezik az égési láncreakciót.

A szén-tetraklorid (CCl₄) volt az első halogénezett vegyület, melynek tűzoltási képességeit már a 19. század elején felismerték. 1900-tól árusították oltóanyagként, de ma már általánosan be van tiltva mérgező tulajdonságai miatt. Másik fontos állomás volt a halonok fejlődésében a metil-bromid (CH₃Br), de ugyancsak toxikus volt miatt ez sincs használatban.

A II. világháború nagy lendületet adott az oltóanyag-fejlesztésnek, és ennek köszönhetően jelentek meg a halogéntartalmú vegyületek különféle variációi. Mintegy 50 anyagból három típus maradt tartósan használatban.

Több halogénre meghatározták a tűz oltásához szükséges gázmennyiséget, és a talált értékek fontos felvilágosításokat adtak. Az így megállapított sorrend azt mutatja, hogy a halogének oltóhatása az atomsúlyuk emelkedésével növekszik. Figyelemreméltó tehát a tűzoltógázok kívánatos nagy fajsúlya, hogy a tűzoltóanyag gőzként, illetve gázként az égési gázok felhajtó ereje ellenére a láng (tűz) belsejébe kerüljön.

16. táblázat

Halon1301	CF ₃ Br	beépített berendezésbe
Halon1211	CF ₂ ClBr	kézi oltókészülékbe
Halon2402	C ₂ F ₄ Br ₂	beépített berendezésbe

Könnyűfémek (nátrium, kálium stb.) tüzeinek oltására oltógázt alkalmazni tilos. A korábbi oltógázok közül a széntetraklorid égő nátriummal hirtelen, robbanásszerűen vegyül. A nátrium és a széntetraklorid egyesülése során a nátrium kiragadja a klórt a széntetrakloridból, és nátrium-kloriddá alakul át, ami nem más, mint a mindenki előtt jól ismert konyhasó. A széntetraklorid éghetetlensége viszont csak nagy klórtartalmán alapszik. Tehát, ha a klórt kivonjuk belőle, akkor a széntetraklorid teljesen elveszti oltóhatását, egyidejűleg felszabadul a szén, s mint éghető termék a tűz robbanásszerű terjedését segíti elő.

A tűzoltás megkezdésének pillanatában, amikor a széntetraklorid vagy metilbromid az égő nátriumra került, a tűzijátékra emlékeztető szétfröccsenő robbanás következett be. A robbanás mindaddig megismétlődik, amíg a nátrium teljesen meg nem semmisül. Ez a jelenség mind a tiszta széntetraklorid használatakor, mind a metilbromid gáz alkalmazásánál egyaránt bekövetkezik, azzal a különbséggel, hogy a tiszta széntetraklorid alkalmazása esetén még hevesebb a robbanásszerű égés, mint a tiszta metilbromid használatánál. Ez abból adódik, hogy a széntetraklorid cseppfolyós halmazállapotban, a metilbromid pedig gáz halmazállapotban érintkezik a tűzzel. A metilbromidnak a cseppfolyós halmazállapotból a gáz halmazállapotba való átmenetét elősegíti az a körülmény, hogy forráspontja lényegesen alacsonyabb, mint a széntetrakloridé. Abban az esetben, amikor a metilbromid közvetlenül cseppfolyós halmazállapotban jut az égő fémnátriumra, a reakció még hevesebbé válik.

Kísérletek bizonyították, hogy nemcsak tiszta széntetraklorid, illetve tiszta metilbromid használatánál következik be a reakció, hanem a széntetraklorid és metilbromid vegyes alkalmazásakor is. (A tetraoltó töltete: 51% széntetraklorid és 49% metilbromid.) A reakció nem következik be, ha például folyékony széntetrakloridba tesszük a nem égő nátriumot. A vegyi folyamat feltétele, hogy a gázoltóanyag égő fémnátriumra kerüljön. A reakció lefolyásához feltétlenül szükséges a megfelelő hőmérséklet, ami csak az anyag égése alkalmával szabadul fel, mivel az oltógáz a nem égő anyaggal (például nátriummal) nem lép kémiai reakcióba.

A robbanás előfeltétele, hogy az említett anyagok égjenek, ellenkező esetben a robbanás nem jön létre. A veszély még nagyobb, ha például az égő nátrium gázzal való oltását zárt térben végezzük.

A metilbromidot, freon 12-t, de különösen a széntetrakloridot karbidtüzek oltására alkalmazni tilos (nem is eredményes), mert az égő karbidot szétbontja, és gázfejlődés közben a keletkező acetilént meggyújtja.

Ha a tűzoltás helyszínén emberi vagy állati fogyasztásra alkalmas anyagokat tárolnak (élelmiszer, gyógyszer stb.), a gázzal való oltást ne alkalmazzuk, mivel a mérgezőhatás következtében az ott tárolt anyagokat nem lehet felhasználni.

Tűzoltás alkalmával, különösen zárt helyiségekben oxigénes légzőkészülék használata kötelező. Tűzoltás után a helyiség azonnali és tökéletes szellőztetéséről gondoskodni kell. A tűzoltás kezdeti szakaszában – rövid ideig – lángmegnyugvást, illetve intenzív égést tapasztalunk, főleg a metilbromid alkalmazásánál. Ez a jelenség annak következménye, hogy 1000 °C felett (tehát magas hő hatására) az oltógáz egy része is felbomlik alkotórészeire, és így az is éghetővé válik. A hőmérséklet azonban igen rövid idő alatt lecsökken, és így az oltógáz az égést az ismertek szerint megszünteti. Ezért nem szabad a lángmegnyúlás alkalmával az oltást abbahagyni, hanem mindaddig folytatni kell, amíg az égés teljesen meg nem szűnik.

4.3.5.2 Halogénezett halonhelyettesítők

Az 1980-as évek végétől a Föld légkörének károsodását okozó halogén tartalmú szénvegyületek felhasználásának korlátozása kiterjedt a jól bevált oltóanyag típusokra is.

A vegyipar ismételt fejlesztésbe kezdett, hogy új technológiák révén újabb tűzoltási célokra alkalmas, a halonokhoz hasonlóan jó teljesítményű vegyületeket találjon. Számos termék került piacra, azonban általánosságban elmondható, hogy egyik sem teljesíti minden vonatkozásban a halon típusok által állított magas követelményeket. Egységnyi tömegre vonatkoztatott oltóképességük elmarad az elődökétől, toxicitásuk megítélése változó, az élettani vizsgálatok, különösen a hosszú távú hatások tekintetében rendkívül költségesek és időigényesek.

A beépített rendszerekbe ajánlott halogéntartalmú vegyületeket a Halon1301 helyettesítésére a 17. táblázat foglalja össze.

A cupburner teszt adata olyan kísérleti körülmények között megállapított gázkoncentráció, melynek jelenléte mellett a kísérleti modellégő lángja kialudt. Ez az érték tekinthető a tervezési koncentráció kiindulási pontjának, miután ennél kisebb gázkon-

centráció mellett nem remélhető eredményes oltás. Különböző típusú éghető anyagoknál ez az érték eltérő, így a tervezésnél figyelembe kell venni az adott védeni kívánt térben előforduló anyagokat és eszerint megvalósítani a megfelelő alkalmazási koncentrációt. Célszerű a gyártóval és/vagy forgalmazóval előzetesen konzultálni. Az alkalmazott koncentráció értékét az egészségügyi feltételek is befolyásolhatják!

17. táblázat

Márka név	HFC kód	Összeg - képlet	Gyártó	Bizt.t. N/Cb*2	Cupburner teszt %	Akut inhal. tox. 4óra	LOAEL t%	NOAEL t%
FM 200	HFC227e a	C ₃ F ₇ H	GLCC	1,3	5,8-6,6	>80%	10,5	9,0
NAF S-III	keverék A	*1	NAFG	1,14	7,3	*3 64%	>10	10
Halotron II	HFC-134a	C ₂ H ₂ F ₄	H.Inc.	-	9-11	50%	>10	>8
FE - 13	HFC-23	CHF ₃	DuPont	-	12-13	-	-	50
FE - 25	HFC-125	C ₂ HF ₅	DuPont	-	8,1-9,4	-	-	7,5
Halon 1301	H 1301	CF ₃ Br	-	1,4-1,7	3-3,9	80%	7,5	5

Megjegyzések:

*1. 82% HCFC 22, 4,75% HCFC-123, 4,5% HCFC-124 és 3,75% egyéb szerves vegyület

*2. A biztonságtechnikai tényező: NOAEL/(Cupburner konc.x1.2)

*3. Ez a mutató 15 perces terhelésre vonatkozik!

A Halon 1211– a kézi tűzoltó készülékek hatóanyagának – helyettesítésére gyártott halogénezett szénvegyületek adatai a következő táblázatban szerepelnek:

18. táblázat

Márka név	HFC kód	Összegképlet	Gyártó	Moltömeg	Forrpont °C
FM 100	HBFC-221B1	CHF ₂ Br	GLCC	130,92	-15,5
PFC 614	FC 5-1-14	C ₆ F ₁₄	3M	338	-38,3
Halotron I	HCFC-123	C ₂ HF ₃ Cl ₂	APC	150,7	+27°C
Halon 1211	H1211	CF ₂ ClBr	-	165,38	-3,4

A két táblázatban szereplő anyagok közös jellemző tulajdonságai, hogy:

- elektromosan nem vezetők;
- maradék nélkül elpárolognak;
- cseppfolyósított gázok;
- a halon töltetű készülékekre jellemző technikai háttérrel tárolhatók, felhasználhatók,

- alkalmazásukhoz jó néhány technikai részlet módosítása szükséges (fűvóka kialakítása, tömítés alapanyag);
- többségük nitrogén túlnyomással üríthető;
- oltóképességük gyengébb, mint a halonoké;
- ezzel összefüggésben több, a tűzoltás során fejlődő toxikus bomlástermékkel lehet számolni (főként halogénsavak – HF, HCl);
- mindegyikük jóval drágább, mint a H1301 vagy a H1211.

4.3.5.3 A halonok toxicitásáról

A táblázatokban szereplő NOAEL rövidítés jelentése az, hogy az anyag adott koncentrációja mellett még nem lép fel káros élettani hatás. A LOAEL az a koncentráció, amely mellett már megfigyeltek a tesztyedeken káros hatást.

A halogénezett szénhidrogének jellemzően szív működési zavarokat okozhatnak. Ez az adrenalinnal szemben mutatkozó szív működésbeli érzékenységet jelent.

Az oltóanyag mérgező hatása szempontjából két hatást kell megkülönböztetni:

- Hidegen mérgezőség: mely az oltóanyag gőzével, aeroszoljával való érintkezés következtében lép fel. (Ezt jellemzik a LOAEL és NOAEL értékek.)
- Melegen mérgező hatás: mely akkor jelentkezik, ha az anyag forró felülettel, égő anyaggal érintkezve mérgező bomlástermékeket fejleszt. Ez a mérgező gáz fejlődés minden halogén tartalmú oltóvegyület esetében fellép, azonban a képződő veszélyes gázok (foszgén, halo-savak, sósav, fluorsav) mennyisége megfelelő tervezéssel minimálisra szorítható. A halosavak és mérgező gázok keletkezése az oltás kezdeti fázisára jellemző, arra az időszakra, amikor az oltóképes koncentráció még nem alakult ki. Ilyenkor az anyag bomlása fokozottabb. E hatás mérséklése érdekében elengedhetetlenül fontos, hogy az oltóanyag ürítési ideje az előírt 10 másodpercen belül legyen.

4.3.5.4 Környezetvédelemmel kapcsolatos kérdések

A szabályozott halogénezett szénhidrogén vegyületeket halogén tartalmuk szerint a következő csoportokba sorolják:

- CFC – fluor és klór tartalmú szénvegyület, magas ODP index, a montreali szerződés alapján felhasználásuk korlátozott, illetve megszűnik.
- HCFC – hidrogén, fluor és klór tartalmú szénvegyület, átmeneti helyettesítésre engedélyezett anyagok, korlátozásuk a közeljövőben várható. ODP indexük kb. 0,2–0,01.
- HFC – hidrogén és fluor tartalmú szénvegyület, ODP=0, de a Föld felmelegedésére gyakorolt ún. üvegházhatás tényezőjük (GWP) magas, főként a hosszú légköri élettartamuk miatt (30–500 év).
- FC – perfluorozott szénvegyületek, ODP=0, GWP és légköri élettartam magas.
- HBFC – hidrogén, fluor és bróm tartalmú vegyületek, viszonylag magas ODP ($\approx 0,02$), a közeljövőben várható korlátozásuk. OLTÁSELMÉLET 14

4.3.6 Inert gázkeverékek

Ez a tűzoltási megoldás alapvetően klasszikusnak tekinthető, hiszen inertizálja a védett zárt tér levegőjét, és az O_2 szintet 12–14 tf%-ra csökkentve megszűnik a lánggal égés.

19. táblázat

Márkanév	Összetétel	Gyártó	Tárolási nyomás	Alkalmazási konc.
IG - 541	$N_2 = 52 \% \pm 4 \%$ $Argon = 40 \% \pm 4 \%$ $CO_2 = 8 \% \pm 1 \%$	ANSUL	150 bar (21°C)	35-50 %
Inergen	$N_2 = 50 \%$ $Argon = 45 \%$ $CO_2 = 5 \%$	Deugra	–	–
IG - 55	$N_2 = 50 \% \pm 5 \%$ $Argon = 50 \% \pm 5 \%$	Securiplex Ginge Kerr	300 bar (30 °C)	35 - 50%

Ezek a gázok a halogénezett oltóanyagoktól a következő különbségeket mutatják:

- Nem cseppfolyósíthatóak, tárolásuk nagy nyomáson történik, nagy a tárolótér igényük, hasonlóan a nagy nyomású CO_2 rendszerekhez.
- A kiürítendő anyagmennyiség nagy, az ürítési idő 1-2 perc is lehet. Ez gyorsan kifejlődő tüzek oltására alkalmatlanná teheti.
- Inert gázból nem fejlődik toxikus bomlástermék, nem szenved az anyag hőbomlást, de hosszabb kiürítési idő és az O_2 hiányos légtér CO képződést okozhat.

Az oxigén kiszorítása az emberi életfeltételek határa alá alapvető kockázatot rejt. A csökkentett oxigéntartalmú terek egészségügyi hatását, következményeit ma is számosan vizsgálják. Megegyezés körvonalazódik azonban abban a kérdésben, hogy az inert gáz túlzott kockázat nélkül alkalmazható olyan terek védelmére is, ahol személyek tartózkodnak.

Az Inergen 5% CO_2 tartalma azt a célt szolgálja, hogy felgyorsult légzést kiváltva gyorsabb légcserével ellensúlyozza az emberi szervezetben a külső tér csökkentett oxigénkoncentrációjának hatását.

Az inert oltógázoknak sem ózon réteget károsító, sem üvegház-hatása nincs.

4.4 Tűzoltóporok

Már a görögök és rómaiak is alkalmaztak tűz oltására homokot és hamut. Főleg akkor fordult elő alkalmazásuk, ha nem állt rendelkezésre elegendő mennyiségű víz a folyékony vagy képlékeny állapotú anyagok tüzeinek oltásához. Ezeket a szilárd oltóanyagokat, a homokot, a hamut úgy tekintjük, mint a jelenleg alkalmazásra kerülő, különböző összetételű tűzoltóporok elődeit.

A különböző oltási eljárások között rendre előtérbe kerül az oltóporral való oltási eljárás is, amelyet a tűzoltóporok alkalmazási lehetősége, megbízhatósága biztosít. Az oltópor alkalmazása hosszú ideig csak kézi oltókészülékekre korlátozódott.



101. ábra: Oltópor alkalmazása tálcatűz oltásához

4.4.1 A tűzoltóporok jellemzése

Az oltóporok a következő tulajdonságokkal jellemezhetők:

- porszemcse nagysága,
- fajlagos felület,
- fajlsúly,
- szállíthatóság (továbbíthatóság),
- mérgező hatás,
- elektromos vezetőképesség,
- nedvtszító képesség (hidrofobizálás),
- oltóképesség,
- anyag,
- tartósság (állékonyosság).

4.4.1.1 A porszemcse nagysága

A porszemcse nagysága nagymértékben befolyásolja az oltópor képességét. Azonos kémiai összetétel ellenére gyakran nagyok ezek az eltérések; ez jelenség azokkal a fizikai tulajdonságokkal kapcsolatos, amelyek a szemcse alakjára, nagyságára vonatkoznak. A gördülőképesség, tömlőkön történő szállíthatóság és a porszemcse nagysága összefüggő kérdések.

A porszemcse nagyságának meghatározásánál figyelembe kell venni a gázcsere felhajtó erejét és azt, hogy az oltópor megfelelő ideig porfelhőt képezzen. Ha a porszemcse nagy, akkor a porfelhő kialakítása nem lehetséges, mivel az nem képes „lebegni”, hanem lehullik. Ha kicsi, akkor a gázcsere könnyen magával ragadja, és nem tud a lángtér belsőjébe behatolni. Meg kell tehát határozni azt az optimális szemcsenagyságot, amelynél a szállítóképesség és az oltóhatás egyaránt maximális.

Az általunk használt „hidrofob” oltóporszemcse nagysága kb. 20–80 mikron nagyságú. Az átlagnagyság kb. 40 mikron, ami igen jónak mondható (1 mikron a milliméter ezredrésze).

4.4.1.2 Fajlagos felület

Az oltóhatás szempontjából az oltópor felületének nagy szerepe van. A nagyobb felülettel rendelkező oltópor oltóhatása kedvezőbb, azonban bizonyos határon túl az oltóhatás már csökken. A fajlagos felület a szemcsenagysággal, a szemcsenagyság viszont a szállítóképességgel függ össze. Az általunk használt 1 gramm oltópor felülete $1200 \times 300 \text{ cm}^2$.

4.4.1.3 Fajsúly

Az oltópor-felhő kialakításánál az oltópor fajsúlya nagy szerepet játszik. Fajsúlyát annak összetétele (egyforma szemcsenagyság esetén) is meghatározza. A „P” jelű oltópor normál fajsúlya $2,02 \text{ dm}^3/\text{kg}$. Tömörített fajsúlya $2,05 \text{ dm}^3/\text{kg}$. Kiömlési fajsúlya pedig $0,95 \text{ dm}^3/\text{kg}$.

4.4.1.4 Szállíthatóság (továbbíthatóság)

Az oltópor jó tulajdonságai közé tartozik, hogy tömlőkön továbbítható legyen. A „folyékonyosság” (továbbíthatóság) annál jobb, minél tökéletesebben kialakul az egységes szemcsenagyságú oltópor. Ez a tulajdonság főleg abban az esetben fontos, ha az oltóport tömlőkön keresztül juttatjuk a tűz helyszínére.

Követelmény, hogy a tömlő végén (oltópisztolynál) tetszés szerint bármikor elzárható legyen, és nyitás után a tömlőben a por egyenletesen, lökés nélkül áramoljon. Nagyobb kapacitású porral oltó gépjárműveknél monitorokat is használnak.

4.4.1.5 Mérgező hatás

Mindén tűzoltóanyag egyik döntő feltétele, hogy alkalmazása esetén mérgezést ne okozzon. A nátrium-hidrokarbonát alapú oltóporok esetében ez a követelmény teljesedik.

Kísérletek arra mutatnak, hogy az oltópor nem okoz károsodást az érintett személyeknél. Kisebb zárt helyiségben a tűz porral való oltása esetén vagy ha ez indokoltá válik – az előbbi megállapítás ellenére – zárt légzőkészülék használata kötelező, mivel az erős fizikai munka következtében az oltópor légzési nehézségeket okozna.

4.4.1.6 Elektromos vezetőképesség

Az elektromos átiütések elkerülése érdekében az oltóporoknak nagy szigetelőképesseggel kell rendelkeznie. Szükséges, hogy az oltópor-felhő ne vezesse az elektromos áramot; ne létesítsen vezető összeköttetést az áram alatt álló vezeték és a földelt berendezés között. Az összefüggő portömeg alkalmával az elektromos áram vezetése elvileg lehetséges, ha az oltópor oldatának képződése következtében az égés hőjében az oltóporból olvadék keletkezik.

A nátrium-hidrokarbonát alapú oltópor száraz felületű szigetelőn a villamos berendezés üzembiztonságát nem veszélyezteti. Nedves szigetelőre rakódva akkor válik veszélyessé, ha egybefüggő réteget alkotva borítja annak felületét. Kiszáradás esetén azonban veszélytelenné válik, és a szigetelőről könnyen eltávolítható. Ezért a villamos berendezéseken vagy azok közelében végzett tűzoltás után, a feszültség alá helyezés előtt célszerű a szigetelőket az oltóportól megtisztítani.

A nátrium-hidrokarbonát alapú tűzoltópor használata – a megfelelő biztonsági távolságok megtartása esetén – közvetlenül a feszültség alatt lévő berendezésre irányítva sem veszélyes, a készülék kezelőjét azonban a villamos berendezések tüzeinek oltására megfelelően ki kell oktatni.

4.4.1.7 Nedvztasító képesség (hidrofobizálás)

A tűzoltópor alapanyaga nedvszívó. Ez azzal a veszéllyel jár, hogy az oltópor tárolása során csomókat képez, ezáltal elveszíti a tömlőn keresztül történő szállíthatóságát. A tűzoltóporokat vízztasító anyagokkal kell kezelni, hogy azok hatására a levegő nedvességét a portól távol lehessen tartani. Ezeket az anyagokat „hidrofobizáló” anyagoknak nevezzük.

Hidrofob mindazon anyag, amely nedvztasító (nedvességet át nem eresztő). Ennek ellenkezője a hidrofil, amely nedvszívót (nedvkedvelőt) jelent. A hidrofobizálás lényege, hogy a porszemcséket fémsztearátokkal őrlik össze. A porszemekre fizikai úton „felkenik” a fémsztearátot, amelyek ezáltal vízztasítóvá válnak. A hidrofobizált oltóport, ha vízbe tesszük, bizonyos idő után a nátrium-hidrokarbonát felolvad, és tűz oltására alkalmatlanná válik. A fémsztearát tehát csak a levegő nedvességével szemben védi meg az oltóport.

Korábban az oltóporok hidrofobizálására magnézium-sztearátot használtak, ami fehér színű, vízben oldhatatlan, nagy fedőképességű, jól tapadó por. Tulajdonsága, hogy bizonyos vízmennyiséget magába szív – ezáltal telítődik, és utána válik „vízztasítóvá”. A nedvesség teszi „tapadóvá” is. A magnézium-sztearát helyett újabban különböző összetételű hidrofobizáló anyagot használnak.

A hidrofobizálás az oltópor továbbíthatóságát is nagymértékben elősegíti, hiszen nem csomósodik; felülete jobban csúszik, ezáltal könnyebben továbbítható és kilövellhető.

4.4.1.8 Oltóképesség

A tűzoltás hatásfokát az időegység alatti láng köbméterenként meghatározott pormennyisége alapvetően befolyásolja. Az irodalmak és a gyakorlati tapasztalatok alapján ez az oltópormennyiség 300 g/sec lángköbméterenként. Ez a számérték azonban átlagérték, ami azt jelenti, hogy vannak olyan tüzek, amelyeknél kisebb, vannak azonban olyanok is, ahol nagyobb porintenzitás szükséges. Gyakorlati tapasztalatok bizonyítják, hogy a metántól a hidrogénig ez a számérték növekvő értéket mutat, és a legnehezebben oltható gáz (a hidrogén) esetén a por intenzitása eléri a 600 g/sec lángköbmétert. A por intenzitása a porpisztolyok, illetve monitorok teljesítménye alapján meghatározható és biztosítható. Ezek teljesítménye széles határok között változhat, és általában 0,2 kg/sec-től 90 kg/sec-ig terjed.

4.4.1.9 Anyag

A tűzoltóporok fő alkotórésze általában nátrium-hidrokarbonát. A habbal való összeférhetőség igényeinek kielégítésére a kálium vegyületeinek (bázison gyártott oltópor) elterjedése tapasztalható.

A könnyűfémek rohamos elterjedése (alumínium, magnézium, nátrium, kálium stb.) miatt előtérbe került a különböző összetételű (alapanyagú) oltóporok előállításának szükségessége. Az erre vonatkozó irodalmak és tapasztalatok még nem egységesek.

4.4.1.10 Tartósság

A tűzoltóport bizonyos körülmények között több éven keresztül is lehet tárolni. Tárolás alkalmával a következő főbb előírásokat kell megtartani:

- A tárolásra alkalmas raktárhelyiségnek olyan zárt épületrésznek kell lennie, amely hibátlan földemmel és oldalfalazattal, állandóan száraz padozattal rendelkezik.
- A levegő hőmérséklete a környezet hatására nem süllyedhet -5 °C alá, illetve nem emelkedhet $+30\text{ °C}$ fölé; páratartalom szempontjából a helyiség száraz jellegű legyen.
- A tűzoltókészülék tartályban való tárolás ideje alatt sem állhat össze, nem képződhetnek csomók, és ezáltal nem veszítheti el szórási képességét.

A gyakorlati tapasztalatok alapján a tűzoltópor csomagolása a termikus bomlással is összefüggésben van. A reakciótermékként keletkezett víz hatására a nátrium-hidrokarbonát szemcséjét összeragaszthatja, és kisebb-nagyobb csomók keletkezhetnek az oltóporban. A csomók kialakulását még a nagy felületen lévő hidrofobizáló anyag sem tudja teljes mértékben megakadályozni, mivel nemcsak a kívülről bekerülő levegő nedvessége, hanem az anyagban bomlás útján keletkező víz is elősegítheti a csomók képződését. A kísérleti eredmények azt bizonyították, hogy a csomósodás majdnem teljes mértékben

elkerülhető, ha az oltóport előzetesen a felületen lévő nedvességtől megszabadítjuk, 50 °C-on kiszárítjuk, és a bomlást lezárt edény alkalmazásával meggátoljuk.

4.4.2 A tűzoltóporok oltóhatása

Nehéz pontosan meghatározni, hogy milyen folyamatok játszódnak le tűzoltáskor porral való oltás esetén. Az erre vonatkozó tudományos feltevések megoszlanak. Hosszú időn keresztül az volt a feltételezés, hogy az oltópor oltóhatása a por felbomlásánál felszabaduló vízgőz hűtőhatásán és ugyancsak a bomlás alkalmával keletkező CO₂ fojtóhatásán alapszik.

A nátrium-hidrokarbonát alapú oltópor hővel való érintkezése alkalmával az alábbiak szerint bomlik fel:



Egy molekula (84 g) nátrium-hidrokarbonátból bomlás után 0,5 molekula (9 g) víz és 0,5 molekula (22 g) széndioxidgáz keletkezik. Tehát ezek szerint 1 kg nátrium-hidrokarbonátból 0,62 kg szóda, 0,11 kg víz és 0,28 kg széndioxidgáz keletkezik a hővel való érintkezés alkalmával. E számítás alapján 10 kg említett oltóporból 1,1 kg vízgőz és 2,6 kg széndioxidgáz szabadul fel.

Egyes irodalmak és elméletek a porfelhő fojtóhatását helyezik előtérbe, és a levegő (oxigén) távoltartásával magyarázzák az oltóhatást. A fojtóhatás ténye valóban fennáll, de csak kis százalékban vesz részt a tűz oltásában, és ez nem biztosítja önmagában a tényleges tűzoltást. Az oltópor oltóhatása az égési láncreakció kinetikájával magyarázható. A tűzoltás folyamán a lángtérbe juttatott szilárd részecskék (porszemcsék) antikatalizálása játszódik le falhatás formájában: A láncvivő szabad atomok és aktív gyökök ütköznek a porszemcsékkel, ennek hatására azok energiája annyira lecsökken, hogy a láncreakció mechanizmusa megszakad, így lánctörés következik be, melynek következtében a lánggal való égés megszűnik.

A por oltóhatása tehát bonyolult és összetett oltási folyamat. Az bizonyos azonban, hogy adott oltási sorrend (nem az oltóhatás fontossága szempontjából) fennáll a tűzoltás ideje alatt. Tűzoltás alkalmával az alábbi oltási folyamatokról, illetve oltóhatásokról beszélhetünk:

- hőkiegyenlítőedés,
- hűtőhatás,
- fojtóhatás,
- antikatalitikus hatás.

4.4.2.1 Hőkiegyenlítőedés

A lángzónában különböző értékű hőmérsékletek helyezkednek el. Az egyik ponton például 150 °C, a másik ponton viszont 400 °C. A lángzónába áramló sűrű oltópor-felhő hatására gyors hőkiegyenlítőedés történik; mivel a magasabb a hőmérséklet keveredik

az alacsonyabb hőmérséklettel. A lángzónában lévő összes hőmennyiség ugyan nem változik, de a magasabb hőmérséklet megszűnésével az égés intenzitása lelassul. Ezt a folyamatot az oltópor ún. örvénylő mozgása nagymértékben fokozza. Az örvénylő mozgás ugyanakkor a porfelhő, gyors kialakítását is elősegíti, ami döntő szerepet játszik a lángolás megszüntetésében.

Az oltópor örvénylő mozgása tehát fontos tényező a tűz oltásában. Ismeretes, hogy a hagyományos kézioltókészülékek esetében (oltópisztollyal nem rendelkezők) az oltópor kilövése alkalmával, egyenes irányba halad, és szinte „átlövi” a lángzónát. Ez a megoldás először: nem gazdaságos, hiszen az oltópor igen kis százalékban vesz részt a tűz oltásában, másodsor: az oltóporfelhő kis felületen érintkezik a lángtérrel. Ezáltal a hőkiegyenlítődés, a későbbiek folyamán pedig a fojtó- és fal-hatás nem érvényesül a kívánt mértékben. Az örvénylő (spirálszerű) mozgás tulajdonképpen az oltópornak a lángzónában való tartózkodási idejét is megnöveli, ezért az oltópor sokkal nagyobb százalékban képes a tűz oltásában részt venni és oltóhatást kifejteni. Ez a megoldás lényegében gazdaságosabb és oltástechnikai szempontból is jóval előnyösebb (például az oltópor-felhő kialakítása szempontjából).



102. ábra: Kézi porraloltó készülék alkalmazása

4.4.2.2 Hűtőhatás

Az oltópor hűtőhatása nem számottevő, hiszen annak csak kis százaléka bomlik fel alkotórészeire, a tűz oltásában azonban – ha kismértékben is – részt vesz. Az oltópor hűtő- és oltóhatása három periódusban is tapasztalható.

1. Először, amikor az oltópor a lángtérbe való lövellése következtében a hűvösebb levegőt nagy felületen magával ragadja, az bekerül a lángzónába, és annak hőmérsékletét ezáltal csökkenti.
2. Másodsor, amikor az oltópor a felbomláshoz szükséges hőenergiát elvonja a tűz fészkekből (ez a hőelvonás igen kismérvű).
3. Hármadsor, amikor bomlás után a keletkező oltóanyagok a lánggal való érintkezés alkalmával felmelegszenek, ezáltal ismét hőenergiát vonnak el az égés fészkekből.

Az oltási folyamat alkalmával 1 kg nátrium-hidrokarbonát alapú oltópor teljes elbomlásához kb. az alábbi hőmennyiségre van szükség:

- | | |
|--|--------|
| – nátrium-hidrokarbonát (fajhője alapján) | 60 kJ |
| – nátrium-hidrokarbonát (bomlási hője alapján) | 40 kJ |
| – víztartalom párolgási hője kb. | 250 kJ |
| – szóda (fajhője alapján) | 10 kJ |

A fentiek összesen kb. 360 kJ/kg, tehát 1 kg fenti oltópor elbomlásához 360 kJ energia (hő) szükséges.

A víz hűtőhatásával összehasonlítva megállapítható, hogy 1 kg 20 °C-os víz teljes gőzzé válásához (hogy 100 °C-os gőzzé váljon) kb. annyi hőenergia szükséges, mint kb. 7,2 kg oltópor elbomlásához. Az oltópor hőelvonó-képessége (bomlása következtében) kb. hétszer kisebb, mint a 20 °C-os vízé.

A hűtő-oltóhatás tehát döntően nem befolyásolja az égés megszüntetését, de az oltás mechanizmusában részt vesz.

4.4.2.3 Fojtóhatás

Az oltópor először porfelhőként fejt ki fojtó oltóhatását azáltal, hogy saját térfogata következtében a lángzónában csökkenti az égéshez szükséges oxigén mennyiségét, másodsor: felbomlása után keletkező bomlástermékek (széndioxidgáz, vízgőz) révén.

A por hűtőhatása alkalmával említett példa alapján 10 kg oltóporból kb. 1900 liter vízgőz és 1400 liter széndioxidgáz keletkezik. Megközelítőleg tehát 3 m³ térfogatot foglal el a lángterben, ami már jelentős lehet a tűzoltás során.

4.4.2.4 Antikatalitikus hatás

Az antikatalitikus oltóhatás ismertetése az oltóhatásoknál már megtörtént. Mivel a porral való oltásnál a falhatás a leglényegesebb, szükséges ebben a fejezetben is megemlíteni.

Összegezve a tűzoltópor oltóhatását, ismételten meg kell jegyezni, hogy az erre vonatkozó megállapítások nem egységesek. Az említett oltóhatások viszont feltétlenül részt vesznek az oltás mechanizmusában. Az antikatalitikus oltóhatás döntő szerepe mind gyakorlatok, mind tüzesetek alkalmával már bebizonyosodott. A lángolás megszűnése csak akkor következik be, ha a lángteret az oltóporfelhő teljesen körülhatárolja.

4.4.3 Különböző összetételű tűzoltóporok

A különböző anyagok égési tulajdonságai szükségessé tették a különböző összetételű és tulajdonságú oltóporok előállítását, valamint alkalmazását. Ez a terület jelenleg nagy fejlődésen megy keresztül.

4.4.3.1 A hagyományos tűzoltópor jellemzői

Összetétele: 97% nátrium-hidrokarbonát, 3% kovaföld. Nem hidrofobizált oltópor, ezért a levegő nedvességtartalmát magába szívja, könnyen összezsugorodik, és a lövőkét elzárhatja. Ezért szükséges bizonyos időközönként az oltópor átszitalása. A kovaföld jelenléte miatt minden olyan tűzoltás alkalmával, ahol a fémek felületek közé jutva károsodást (berágódás, összekarcolás stb.) okozhat, a porral való oltás után a berendezést szétszedni, lemosni és tisztítani kellett. Főleg a súrlódó felületek közé jutva okozhat károsodást (például motortüzek oltásánál).

Használata nem gazdaságos, mivel az oltópor nagy rész nem vesz részt a tűz oltásában. Felhasználása kizárólag kézi oltókészülékek töltésére korlátozódik, de az említett hátrányok miatt felhasználása háttérbe szorul.

4.4.3.2 A lángoltó porok általános jellemzői

Összetételük kb. 98% nátrium-hidrokarbonát, 2% nedvességet nem kedvelő anyag. Csak a lángolást szünteti meg, a parázslást nem. Minden olyan helyen, ahol a visszamaradt parázslás, izzó felület vagy felhevült fémek rész az éghető anyagot visszagyújthatja vagy visszalobbanthatja, egyedüli alkalmazása nem minden esetben eredményes.

Tulajdonsága, oltóhatása megegyezik az ide vonatkozó fejezetekben tárgyaltakkal. Hő hatására a már ismertett egyenlet szerint bomlik, az alábbi hőértéknek megfelelően: 50 °C felett már bomlani kezd, 110 °C-nál a bomlás fokozódik, a felületileg kötött nedvesség eltávozik, 160 °C-nál a bomlás a legerőteljesebb, 250 °C-nál pedig befejeződik az oltópor bomlása. 850 °C esetén eléri a második bomlási hőmérsékletet, és a Na_2CO_3 tovább bomlik $\text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2$ -re. Már viszonylag alacsony hőmérsékleten kezdődik a bomlási folyamat.

Elektromos tüzek oltása alkalmával feszültségmentesítés nélkül is korlátlanul, igen eredményesen felhasználható. Habtörő, ezért oltóhabbal együttesen alkalmazni nem szabad. Az oltópor és az oltóhab együttes alkalmazása azonban szükségessé válhat, mivel az oltóporral a lángolást gyorsan meg lehet szüntetni, és az oltóhab védelmével biztosítani lehet, hogy a tűz vissza ne gyulladjon. A tűzoltás elve ebben az esetben: a lángolást oltóporral megszüntetjük, és utána a felületet habbal letakarjuk, hogy a visszagyulladás (visszalobbanás) ne következzen be. Ha a habtakaróra oltóport lövellünk, az a habot „összetöri”, azaz megsemmisíti, és a visszagyulladás bekövetkezhet.

Az oltási sorrendet szigorúan be kell tartani. Először a porral oltást kell elvégezni, és csak utána szabad a habtakarót kialakítani. Kísérletek bizonyították, hogy közép- és nagyhabkiadósság esetén a habtörés százalékos arányát csökkenteni lehet, mivel az intenzitás igen nagy. A fehérje alapú oltóhabot az oltópor viszont kisebb mértékben semmisíti meg. A por és a hab együttes alkalmazása hagyományos módon nem megengedhető.

4.4.3.3 Parázstoltó porok

Összetétele: 60% ammónium-hidrogénfoszfát, 22%, ammónium-szulfát, 15% bárium-szulfát 3% magnézium-sztearát. A nátrium-hidrokarbonát alapú oltópor az izzó tüzeket vagy a parázslást nem szünteti meg, ezért olyan tűzoltóporokat kell alkalmazni, amelyek a tűzveszélyes folyadékok és gázok tüzen kívül lehetővé teszik a parázsképző szilárd éghető anyagok tüzeinek oltását is.

Jellemzőjük, hogy kb. 160–170 °C-nál kezdenek alkotórészeikre bomlani, és ez a folyamat kb. 800 °C-ig terjed. A lángolást úgy szünteti meg, mint a lángoltó porok, a parázslást pedig az égő felületen csak ott szünteti meg, ahova oltópor kerül. Ahová oltópor nem kerül, ott a parázslás továbbra is megmarad, ezért a parázslás teljes felületét le kell takarni a porral.

A parázsló felületre jutva az oltópor megolvad, réteget hoz rajta létre, ezáltal az oxigén odajutását megakadályozza, ezért a parázslás (égés) megszűnik. Lényegében tehát a takaróhatás szünteti meg a parázslást.

Könnyűfémek (nátrium, kálium, magnézium stb.) tüzeinek oltására azonban nem alkalmas. Ugyancsak eredménytelen az oxigénhordozó anyagok tüzeinek oltására is.

Elektromos tüzek oltása során 1000 V feszültség felett alkalmazni tilos, mivel a hőmérséklet hatására megolvad, alkotórészei a villamosberendezésen szétfolyva vezetővé válhatnak. Drága oltóanyag, ezért csak indokolt esetben ajánlatos használata.

4.4.3.4 Monnex oltópor

A „Monnex” új, száraz, vegyi tűzvédelmi anyag (por), amely kiemelkedő lángoltó tulajdonsággal rendelkezik. Az oltóporok kutatásainak célja, hogy olyan összetett anyagot hozzanak létre, amely hőre instabil, nem mérgező, az elektromos áramot ne vezesse, oltóhatása alapján sokféle tűz oltására legyen alkalmas. Így kísérletezték ki a Monnex oltóport is.

Fizikai tulajdonsága szerint térfogatsűrűsége 0,58–0,65 g/cm³, csomagolási (tömör) sűrűsége 0,91–0,96 g/cm³. Kiömlő fajsúlya átlagosan 0,62 dm³/kg. Szemcse közepmérete 27–35 mikron. Fajlagos felülete 6000 cm²/g. Fehér színű, nem mérgező, gördülőképes por. A por nedvességtaszító képességét (hidrofobizálását) nem külső vegyszerek keverésével érték el, hanem azt magának a pornak szemcseszerkezete biztosítja.

A Monnex nagy oltóhatása elsősorban a viszonylag nagy részecskék széthasadásának tulajdonítható, amely végtelenül kicsi aktív felülettel rendelkező részecskéket eredményez, másodsorban a kicsi és kémiai reakcióképességű részecskék gőzzé válásának, amely erősen gátló (inhibitáló) gáznemű közeget hoz létre.

Laboratóriumi filmen demonstrálták, hogy amikor a lánggal kapcsolatba kerül a Monnex por, erősen deformálja a lángot, ugyanakkor a lángból egy gátló füstfelhő emelkedik ki. Nagyobb darab Monnex oltópor lyuk megjelenését eredményezi a lángban. Kicsi részecskéi a jelenlegi oltóporokkal azonos nagyságrendűek – a lángban gyakorlatilag egy pillanat alatt széthasadnak és gőzzé válnak, s minden egyes részecske egy-egy lyukat vagy gátló zónát kelt. Ha a lángtérbe elegendő oltópor kerül, a lyukak

folyamatosak lesznek, és a lángolás megszűnik. A Monnex oltópor egészen kis koncentrációja elég egy láng teljes eloltásához, és a laboratóriumi tapasztalatok azt mutatják, az ilyen por hatékonysága 10-szer nagyobb a nátrium-hidrokarbonát alapú oltóporénál. A gyakorlat bizonyítja, hogy a nátrium-hidrokarbonát alapú oltópornál 5-ször, a kálium-hidrokarbonát alapú oltópornál 2,5szer hatékonyabb.

A Monnex kézi tűzoltókészülék nagy felületek oltására alkalmas. Ehhez azonban hosszú és örvénymentes sugárral kell rendelkezni. Tűzveszélyes folyadéktüzek, elektromos berendezések tüzei, valamint gáztüzek oltására kiválóan alkalmas. Cellulóztüzeknél lángkioltó teljesítménye jó, de nem gátolja a parázslást és a füstölést. Parázslás megszüntetésére nem alkalmas, égő fémek tüzeit Monnex oltóporral megszüntetni nem lehet.

4.4.4 A tűzoltóporok felhasználásának lehetőségei

4.4.4.1 Szilárd halmazállapotú anyagok tüzeinek oltása

A tűzoltópor alkalmazása nem eredményes olyan esetben, amikor izzás vagy parázslás keletkezik (kivétel a parázslás oltására is alkalmas oltópor). A tűz oltását véglegesen csak kombinált módszerrel lehet elvégezni. A lángolást mint fő veszélyt az oltóporral gyorsan meg lehet szüntetni, és a megmaradó parazsat például vízzel meg lehet semmisíteni.

Életveszély, valamint robbanásveszély alkalmával taktikai szempontból kiválóan alkalmas, mivel a lángolás rendkívül gyors megszüntetésével az élet-, illetve robbanásveszély elhárítható. Utána a tűz végleges eloltását más oltóanyaggal is folytathatjuk.

Alkalmazása előtérbe kerülhet például textilgyárakban keletkezett tüzek oltása esetén, ahol lényeges, hogy az értékes gépeket megvédjük az oltóanyag használata által bekövetkező károktól. Repülőgépek tüzeinek oltásánál szintén eredményesen lehet felhasználni. Ilyen alkalommal néhány másodperc alatt viszonylag nagy intenzitású tűz fejlődik ki, és ha a gyorsan kitérő tűzoltóság megfelelő oltóanyaggal beavatkozik – mely hirtelen megszünteti a lángolást –, a repülőgépben tartózkodó személyek megmentése érdekében eredményes lehet. E tűzoltási eljárás egyik fontos alkalmazási területe az elektromos berendezésekben keletkezett tüzek oltása, a szabadtéri transzformátorok védelmére külföldön már sok helyen használják a beépített oltóporral való tűzoltóberendezéseket. Oltópor használata esetén különösen előnyös az a tulajdonság is, hogy a transzformátor-olaj nem válik használhatatlanná.

Jól alkalmazható a porral való oltás olyan esetekben is, ahol a víz nem használható, mert reakciókészsége miatt veszélyes.

Ismételten meg kell jegyezni azonban, hogy a könnyűfémek égését nem lehet megszüntetni még a parázsló porral sem.

Ugyancsak kiválóan lehet alkalmazni olyan esetekben is, ahol a víz használata károssal jár. Ide tartozik például a festmények, szobrok, kerámiák égése vagy tűz általi felhevülése, mivel víz használata esetén ezek a tárgyak megsemmisülnének.

Tűzoltás alkalmával a felsorolt tulajdonságokat figyelembe kell venni, és az oltópor felhasználását – főleg kisebb tüzeknél – előtérbe kell helyezni.

4.4.4.2 Tűzveszélyes folyadékok tüzeinek oltása

A tűzoltóporral való oltási eljárása a gyorsan bekövetkező oltóhatás alapján ott alkalmazzák, ahol gyorsan kiterjedő kezdeti tüzeket kell oltani. Ilyen tüzek a gépjárműszínekben, a gépjárművek porlasztói és üzemanyagtartályai meggyulladásával léphetnek fel. Kiterjedt tűzveszélyes folyadékok égésénél (például feldolgozás során) keletkezett kiterjedt tüzek oltására csak igen nagy intenzitás és bizonyos feltételek mellett (vissza ne lobbanjon) alkalmas.

A gépkocsi motortüzeinek oltása esetén a P jelzésű hidrofobizált oltópor nagy előnye, hogy a csúszófelületekre jutva károsodást nem okoz. Tűz oltása után nem szükséges a motorrészek megtisztítása és a fel nem bomlott oltópor eltávolítása. A motorok üzemeltetésére felhasznált benzinféleségek és olajféleségek az oltóport nem bontják fel, ezért a porlasztó berendezésekben dugulást okozhatnak. Ennek elkerülése érdekében ajánlatos a tűzveszélyes folyadékok átszűrése. Nagy előnye, hogy olyan tűzveszélyes folyadékok oltására is kiválóan alkalmas, melyeknél az oltóhab azért nem használható fel, mivel habtörő jellegű.

Minden olyan helyen, ahol a lángolás megszűnése után parázslás vagy felhevült fém található, a parazsat is oltó porral való oltás szükséges, egyéb por nem mindig eredményes, mivel a visszamaradó parázslás vagy felhevült fém a porfelhő megszűnése után a még kiáramló égési anyagokat visszagyűjthatja. Ilyenkor csak a lángolást tudjuk megszüntetni és ezáltal a tűz további gyors terjedését megakadályozni



103. ábra: Kézi tűzoltó készülék használata gyakorlás során

A fent említett esetek alkalmával tehát a tűzoltás csupán tűzoltópor felhasználásával nem eredményes, így a kombinált oltás kerül előtérbe. Vigyázni kell azonban arra, hogy a porsugár és a víz együttes alkalmazására ne kerüljön sor. Az oltóporral a lángolást meg lehet szüntetni, és a felhevült fémeket vagy parázsló részeket – közvetlenül utána – porlasztott sugárral le lehet hűteni. Biztosítani lehet, hogy visszalobbanás ne következzen be. Ha nem kiterjedt tűzveszélyes folyadékok tüzeinek oltásáról van szó, a porral való oltás bizonyos körülmények között – a fémek felhevülése ellenére is – eredményes lehet.

Kísérletek során bebizonyosodott, hogy a lángolás megszűnése után az első vissza-lobbanás idejét megfigyelve megállapítható a következő vissza-lobbanás időpontja. Az ismételt láng-lobbanás után a lángolást megszüntetjük, és a várható vissza-lobbanás ideje előtt oltópor-felhőt juttatunk a már eloltott tűz helyszínére. Ezt a várakozási időt fokozatosan növelve elérhető, hogy a felhevült fémes rész annyira lehűljön, hogy már ne tudja visszagyújtani a kiáramló gőzöket és gázokat. Ez az oltási folyamat nagy figyelmet és gyakorlatot igényel.

Tűzoltópor alkalmazása esetén – főleg a tűzveszélyes folyadékoknál – figyelembe kell venni, hogy az oltópor nyomással áramlik az égő felületre. Ha nem tartjuk meg a szükséges sugártávolságot, és nem a lángtérbe, hanem a tűzveszélyes folyadékba lövelljük az oltóport, akkor a nyomás következtében az égő folyadék szétfröccsen, ezáltal a tűz felszínét megnöveljük.

4.4.4.3 Gáztüzek oltása

Gáztüzek oltására a tűzoltópor a legalkalmasabb. Propán-butángázpalackok égéseinél igen eredményes a tűz porral való oltása. A kiáramló vagy szétfolyt gáz égését rövid idő alatt meg lehet szüntetni, a szelep elzárását pedig porsugar védelmével el tudjuk végezni, hogy az esetleges visszagyulladás ezáltal megakadályozzuk.

Nagyobb felületen szétfolyt vagy kiömlő gáz égése folyamán nagyobb méretű porral oltó készülék használata szükséges. Nagy nyomás alatt kiáramló gázok tüzeit oltóporral meg lehet szüntetni. A tűzoltás lényege abból áll, hogy a felfelé áramló levegő a por-részecskéket magával ragadja, és beviszi az égési fészekbe. Ebben az esetben az oltás technikájában – a tűzveszélyes folyadék oltásához viszonyítva – az a különbség, hogy az oltóport nem a lángok közé, hanem a nyomás alatt kiáramló gázok helyére kell juttatni. A gázcsere következtében az oltóporfelhő rendkívül rövid idő alatt kialakul. Ha nem a kiáramló gáz alsó részébe juttatjuk az oltóport, akkor a gázláng alsó részét nem tudjuk megszüntetni, mivel a gázcsere az oltóport eltávolítja. Az oltópor-felhő kialakítása tehát ilyenkor is rendkívül fontos.

A gáztűz porral való oltásának mechanizmusa szinte azonos a tűzveszélyes folyadékok tüzeinek oltásával (kivéve a por lángtérbe való lövellésének helyét). Ez azzal magyarázható, hogy a folyadék is csak gáz halmazállapotban képes égni.

Vezetékekből kiáramló gáz égésénél csatlakozón keresztül (megcsapolás) is megoldható az oltóporral a tűz színhelyére való juttatása. Ez az oltási eljárás akkor kerülhet előtérbe, ha a tűz (lángolás) helyszínét nem tudjuk – például a magasság miatt – jól megközelíteni. A gázvezetékbe megfelelő mennyiségben bejuttatjuk az oltóport, és az a lángzónában az égést megszünteti. A felhevült izzó fémek jelenlétének az egyszeri tűzoltás sok esetben nem vezet eredményre. Vagy a fémek hűtéséről kell gondoskodni, vagy a tűz oltását kell folytatni mindaddig, amíg a felhevült anyagok annyira le nem hűlnek, hogy a kiáramló gázokat ne tudják újra meggyújtani. A tűzoltási kísértekek alapján többszöri oltással az ilyen tüzet is meg lehet szüntetni.

Az említett példákon kívül a tűzoltóport – figyelembe véve felhasználhatóságát – az elkövetkező időben a taktikai lehetőségek szerint feltétlenül alkalmazni kell. Gyors

oltóhatása mellett nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy igen drága oltóanyag. Alkalmazása esetén a körülmények, valamint az oltópor tulajdonságainak mérlegelése alapján kell dönteni felhasználásáról. Az elkövetkező időben a porral való oltás előtérbe kerül, ezért az idevonatkozó ismeretek bővítése, az adott terület sajátosságainak felmérése szükséges.



104. ábra: Gyakorlás porraloltó készülékkel

FELHASZNÁLT IRODALOM

Nyomtatott irodalom

- BALOGH Imre: *Tűzkatasztrófák, tüzek, robbanások és mérgezések*. Studium Szervezés módszertani Gazdasági Társaság, Budapest, 1987.
- DR. RÖMPP, Hermann: *Vegyészeti lexikon*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.
- DR. MARINOVICH Endre: *Tűzrendészet és kárelhárítás*. Hungária Hírlapnyomda RT., Budapest, 1947.
- FORGÁCS Géza: *Tüzek és oltóanyagok .I.* Magyar Kémikusok Lapja, 25. évf. 1970/6. 287–292.
- FORGÁCS Géza: *Tüzek és oltóanyagok. II.* Magyar Kémikusok Lapja, 25. évf. 1970/8. 412–418.
- KOVÁCS Imréné: *Hőtan*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
- KÖVESDI László: *Tűzrendészeti szabványok gyűjteménye*. Gazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1971.
- KUNCZ Imre: *A tűz és oltóanyagai*. BM Kiadó, Budapest, 1972.
- LENGYEL Béla – PROSZT János – SZARVAS Pál: *Általános és szervetlen kémia*. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 1967.
- MERŐ András: *A tűz oltása*. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest, 2008.
- LAVROV, N. V.–SURÜGIN, A. P.: *Az égés és gázosítás elmélet alapjai*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
- NÁRAY-SZABÓ István: *Kémia*. Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1967.
- DEMIDOV, P. G.: *Az égés*. Fővárosi Nyomdaipari Vállalat, Budapest, 1970.
- SÁGI Lajos: *Tűzvesélyességi osztályok*. BM Tanulmányi és Propaganda Csoportfőnökség, Budapest, 1973.
- SZALAI Béla: *Fizika*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963.
- SZILÁGYI László: *Gázipari kézikönyv*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.
- TITZ Mátyás: *Tűzoltási és kiképzési tájékoztató*. Zrínyi Nyomda, Budapest, 1970.
- TORONYI István – DACZI Pál: *Tűzoltó taktikai ismeretek*. Zrínyi Nyomda, Budapest, 1959.
- Tűzvédelmi jegyzetek. BM Katasztrófavédelmi Oktatási Központ kiadványai. Lásd: http://www.vedelem.hu/index.php?pageid=konyvtar_index&type=tankonyv

Internetes irodalom

- <http://www.combustion.uni-miskolc.hu/oktatas/jegyzetek/porrobbanas-eloadas.pdf>
- <http://imex.filtertechnika.hu/temakor/a-porrobbanasrol>
- <http://www.csb.gov/videoroom/detail.aspx?VID=30>
- http://dragon.klte.hu/~beneg/eges_elmelet.pdf
- http://www.bartec.de/Ungarn/images/Ex_Protection_HU_310709.pdf
- <http://psat.evt.bme.hu/tuzjelzes/Jegyzet/Általános ismeretek/Oltáselmélet.html>

http://koll1.chem.u-szeged.hu/colloids/staff/zoli/Kornyezeti/8_inkoherensrendszerek_aeroszolok_habok

<http://www.tuzor.hu/szakcikkek/048/048.html>

<http://www.tuzor.hu/szakcikkek/001/001.html>

<http://www.vgfszaklap.hu/lapszamok/2012/marcius/beepitett-habbal-oltok-mult-jelenjovo>

<http://www.sprinkler-1.hu/hu/index/index.html>

<http://gyujtoforras.hu/a-viz-mint-oltoanyag/>

http://www.tizenhetedik.hu/aneu/index.php?oldal=hirek_bovebb&hir_index=154_114008_h

<http://makohirado.hu/varos-es-videk/eredmenyes-a-foldeakiak-tuzoltovizsgaja>

Egyéb

A fentiekén kívül a Nemzeti Közszolgálati Egyetem 2012–2014-ben végzett Katasztrófavédelmi és Védelmi igazgatás szakos hallgatóinak beadandó dolgozatai, szakdolgozatai és diplomamunkái.

