

Időszerű problémák a petrolkémia operatív tűzvédelmében, különös tekintettel a cseppfolyós tűz- és robbanásveszélyes gázok lokalizálására

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETŐ	4
1. ELŐZMÉNYEK	5
1.1. A PETROLKÉMIÁRÓL ÁLTALÁBAN	5
1.1.1. A technológiákról	5
1.1.2. A gázokról	6
1.2. ESETLEÍRÁSOK	10
1.2.1. A feyzini katasztrófa	10
1.2.2. A muhi gáztartály esete	12
1.2.3. A flixborough-i katasztrófa	14
1.2.4. Gázömlés egy petrolkémiai üzemben	16
1.2.5. Térrobbanás Csehországban	18
1.2.6. Gázömlés – áldozatok nélkül	20
2. A LEHETSÉGES VESZÉLYEK ÉS ELHÁRÍTÁSUK	22
2.1. GÁZROBBANÁSOK	24
2.1.1. Fizikai robbanások	24
2.1.2. Kémiai robbanások	27
2.2. GÁZTÜZEK	30
2.2.1. Cseppfolyós gáztócsa-tűz	30
2.2.2. Fáklyatűz	32
2.3. GÁZTÓCSÁK ÉS GÁZFELHŐK – A ROBBANÁSVESZÉLY KIALAKULÁSA, SAJÁTOS SÁGAI, ELHÁRÍTÁSA	35
2.3.1. A cseppfolyósgáz-tócsa	35
2.3.2. A gázfelhő	37
3. ÖSSZEFOGLALÁS	48
KITEKINTŐ	49
REZÜMÉ	50
IRODALOMJEGYZÉK	52

BEVEZETŐ

Életünk ma már elképzelhetetlen lenne műanyagipari termékek nélkül. A műanyaggyártás alapanyagait előállító petrokémiai üzemek száma jelentősen megnőtt szerte a világon. Az ezekben a petrokémiai üzemekben alkalmazott tűz- és robbanásveszélyes technológiák, a gyártáshoz felhasznált veszélyes anyagok nagy mennyiségű, koncentrált jelenléte számos megoldandó probléma elé állította a hazai és nemzetközi tűzvédelmet.

A mai korszerű petrokémiai üzemek biztonsági foka alapvetően jónak mondható, köszönhetően az egyre fejlettebb technológiáknak, termelő, vezérlő és jelzőberendezéseknek. Egy jelentősebb következményekkel járó ipari baleset valószínűsége 10^{-5} – 10^{-6} esemény/év. Ha a veszélyhelyzet bekövetkezésének valószínűsége valamely üzemben ennél nagyobb lenne, akkor azt műszaki és szervezési intézkedésekkel az említett – igen alacsony – értékre kellene csökkenteni. Ennek ellenére bármikor bekövetkezhet különböző mértékű, akár ipari katasztrófával fenyegető veszélyhelyzet is. A tűzvédelmi szempontból legnagyobb problémát jelentő, legnehezebben kezelhető és legnagyobb rizikófaktorú (veszélyességi fokú) helyzet azonban rendszerint a cseppfolyós halmazállapotú – nyomás alatt cseppfolyósított vagy mélyhűtött – tűz- és robbanásveszélyes gázok szabadba jutása során alakulhat ki.

A veszélyességi fok nehezen meghatározható és szubjektív dolog. Amíg nem történik egy számottevő emberi és anyagi veszteséggel járó katasztrófa, addig a veszélyeztetettség és az annak nyomán esetlegesen bekövetkező baleset csak homályosan, kissé valószínűtlen és távolinak tűnő eseményként él a tudatunkban. A baj bekövetkeztekor viszont annál sokkalóbb és hihetlenebb szembenéznünk a hirtelen elénk állt veszélyhelyzettel.

A vegyipar területén számos, igen nagy pusztulással járó katasztrófa történt már szerte a világban. Ezeknek jó része az iparban nagy mennyiségben használt és tárolt gázok szabadba jutása során következett be.

Három példaértékű baleset leírásán keresztül szeretném érzékeltetni az olvasóval az esetlegesen bekövetkező pusztulás mértékét. A katasztrófa-leírások dátumait tekintve egyesek talán kételkednek a téma időszerűségét illetően. Az aktualitás bizonyítására az olvasó elé fogok tární további három olyan veszélyhelyzet-leírást, melyek a közelmúltban történtek hazánkban. Előrebocsátom, hogy olyan esetekről lesz szó, amelyeknél a veszélyhelyzetet célszerű és szakszerű beavatkozással sikerült megszüntetni még a katasztrófa bekövetkezése előtt. A beavatkozás elmaradása esetén azonban a veszteség ezeken a helyszíneken is a feyzinihez, a flixborough-ihoz és a csehországihoz hasonló mértékű lett volna.

Mint az ország egyik legnagyobb vegyipari létesítményének védelmét ellátó tűzoltóság munkatársa, ilyen veszélyhelyzetek felszámolásában személyesen is részt vettem. Az esetek elemzése során számos elméleti és gyakorlati kérdés merült fel bennem és társaimban is, amelyekre azonban a rendelkezésre álló szakirodalom hiányosságai miatt akkor nem sikerült választ kapni. Annak érdekében, hogy a következő ilyen esetre a lehető legteljesebben felkészülhessünk, célul tűztem ki a téma szakirodalmának minél szélesebb körű áttekintését, a robbanásveszélyes gázfelhők kezelésével kapcsolatos hazai és külföldi tapasztalatok összegyűjtését, és végül a hasonló esetek leküzdésében szerzett saját tapasztalatok közreadását. A rendelkezésre álló ismeretek összegyűjtése és rendszerezése mellett szakdolgozatomban megoldásokat szeretnék ajánlani a veszélyelhárításban részt vevő vezetők és beosztottak számára egyaránt.

1. ELŐZMÉNYEK

1.1. A PETROLKÉMIA RÓL ÁLTALÁBAN

1.1.1. A technológiákról

A cseppfolyós tűz- és robbanásveszélyes gázok ipari alkalmazása kapcsán röviden tekintsük át azokat a petrokkémiai technológiákat, ahol ezeknek a gázoknak a nagy mennyiségű, koncentrált, üzemszerű jelenléte rövid időn belül bekövetkező, jelentős emberveszteséggel és anyagi kárral járó vegyipari katasztrófához vezethet.

A petrokkémiai iparban alapvetően két területen találkozhatunk nagy mennyiségű cseppfolyós tűz- és robbanásveszélyes gázokkal: a kőolaj-finomítóknban, valamint a műanyagipari alapanyagot előállító üzemekben.

A műanyagipari alapanyagot előállító üzemekben, más néven olefinnyárakban a technológiai folyamat szerves részét képezik a cseppfolyós tűz- és robbanásveszélyes gázok. A kőolajfeldolgozó üzemekhez képest itt nagyobb mennyiségű, többféle gáz van jelen, a technológiából adódóan többnyire magas nyomáson, ill. magas hőmérsékletű környezetben.

A műanyagok iránti kereslet az utóbbi évtizedekben a világ más fejlett országaihoz hasonlóan hazánkban is oly mértékben megnőtt, hogy szükségessé vált egy hazai petrokkémiai nyersanyagbázis megteremtése, mely hosszú távon biztosítja a legfontosabb műanyagok és szerves vegyipari termékek gyártásának alapját. Ezeket a termékeket olefin-kémiai termékeknek nevezzük.

Az olefin-kémiai termékek előállításában egyaránt szerephez jutnak a kőolajfeldolgozó üzemek és az olefinnyárak is. A technológiai folyamat első lépéseként a kőolajból a finomítóknban több más kőolajszármazék mellett vegyipari benzint állítanak elő. Ezt a vegyipari benzint többnyire csővezetéken vagy vasúti tartálykocsikon szállítják az olefinnyárba. A vegyipari benzin és a többi cseppfolyós vagy gáznemű alap- és segédanyag fogadása és tárolása az olefinnyár saját töltő-lefejtő üzemében és tárolóterén történik.

A vegyipari benzinből az olefinnyár pirolízisüzemében bontással pirolízisgázt állítanak elő. A benzin bontása a bontókemencében 850 °C-on történik. A technológia következő részében ez a pirolízisgáz különböző hűtő- és tisztítóberendezéseken keresztül a gázsztválasztó üzembe jut. A gázsztválasztó üzemben a pirogázt lepárlótornyokban, ún. kolonnákban választják szét alkotóelemeire. Ezekből a frakciókból állítják elő további lépésekben a műanyaggyártás alapanyagait, az etilén- és propilén-gázt. Egy közepes méretű olefinnyár évente 250.000 – 300.000 t etilént állít elő. A többi végtermék közül a C4 és C5 frakciót a műgumi-gyártásban, a C6 frakciót vegyipari alapanyagként, a C7-et pedig motorbenzin-komponensként hasznosítják. Az olefinnyárban előállított etilént és propilént mélyhűtéssel cseppfolyósítják, majd csővezetéken a tárolótartályokba vezetik. Az etilén tárolási hőmérséklete -104°C, a propiléné pedig -48°C.

Az etilén ezekből a tartályokból rendszerint csővezetéken, a propilén pedig vasúton jut a polimer-üzemekbe. A polietilén-gyártásban megkülönböztetünk kisnyomású (de nagy sűrűségű), illetve nagynyomású (de kis sűrűségű) polietilént. A nagynyomású polietilén polimerizációja magas nyomáson (1.000 – 3.000 bar) és közepes hőmérsékleten (170-280 Celsius-fok), keverővel felszerelt reaktorban, segédanyagok hozzáadásával megy végbe. A folyamat végén az olvadt polietilén ömledék az ömledékkihordó és granuláló rendszerbe kerül, amely a ter-

méket granulálja. A kisnyomású polietilén gyártásánál a reaktor nyomása csak 30 bar körül van, a reaktort pedig önmagába visszatérő cső alakjában, ún. hurokreaktorként alakítják ki.

A polipropilén-gyárban a polipropilén port a kisnyomású polietilén gyártásához hasonló módon, különböző katalizátorok és segédanyagok hozzáadásával állítják elő, majd a porból granulátumot készítenek.

Az előzőekben leírt technológiai folyamatok nagy vonalakban történő bemutatása alapján hozzávetőleges képet kaphattunk a petrolkémiai alkalmazott gázok mennyiségéről, a technológia veszélyes paramétereiről. A következő fejezetben ismerkedünk meg a gázokkal általában, valamint a leggyakrabban és legnagyobb mennyiségben alkalmazott cseppfolyós tűz- és robbanásveszélyes gázok fizikai és kémiai tulajdonságaival.

1.1.2. A gázokról¹

A klasszikus mechanika szerint az anyagokat halmazállapotuk szerint három csoportba oszthatjuk:

- légnemű (gáz és gőz)
- folyékony (cseppfolyós)
- szilárd

Hogy egy adott anyag milyen halmazállapotban van, az az állapotváltozóktól (nyomás, hőmérséklet, térfogat) függ.

A gázokban a molekulák egymástól olyan messze vannak, hogy a köztük lévő kohézió (vonzóerő) elméletileg elhanyagolható. A gyakorlatban azonban ezek a minimális vonzóerők mindig működnek. Ez az oka annak, hogy eléggé lehűtve minden gáz cseppfolyósítható. A részecskék folyamatos, ún. hőmozgást végeznek. A részecskék szakadatlan falbaütközése idézi elő a gáznyomást. Ennek nagysága függ a részecskék átlagsebességétől, tehát a gáz hőmérsékletétől.

A gázok kitöltik a rendelkezésre álló teret, alaktartó képességük nincs. Mivel a molekulák nagy távolságra vannak egymástól, ezért könnyen összenyomhatók (komprimálhatók).

Ha az állandó hőmérsékleten egy adott térfogatú gáz nyomását megváltoztatjuk, akkor térfogata úgy változik meg, hogy az összetartozó nyomások és térfogatok között fordított arányosság áll fenn.

Ha egy állandó nyomású adott gázmennyiség hőmérsékletét növeljük, úgy térfogata is növekszik. Ha a gáz térfogatát tartjuk állandó értéken és így növeljük a hőmérsékletét, a gáz nyomása fog nőni.

Alacsony hőmérsékleten a tapasztalat szerint a gáz nem komprimálható tetszőlegesen, hanem a telített gőz nyomásán cseppfolyósodás következik be. Cseppfolyósodás közben a térfogat állandó nyomáson – az adott hőmérséklethez tartozó telített gőz nyomásán – folyamatosan csökken.

Cseppfolyós ipari gázok²

Az ipari gáz közhasználatú elnevezés alatt különböző gázokat értenek, ezért minden esetben az egyedi kémiai és fizikai tulajdonságok alapján kell meghatározni a tárolási és használa-

¹ Pintér Ferenc et. al.: *Tűzoltás a vegyiparban*. BM. Könyvkiadó, Budapest, 1984. 14-19. p.

² Uo. 21-22. p.

ti előírásokat. A gázokat a felhasználási igénytől függően csővezetékben vagy tartályokban szállítják. A kedvezőbb tárolási és szállíthatósági tulajdonságok érdekében kompresszióval vagy mélyhűtéssel cseppfolyósítják.

A gázok tárolásának két alapvető módja a nyomás alatt való tárolás és az atmoszférikus tárolás. A nyomás alatt cseppfolyósított gázokat nagy nyomásra méretezett, a mélyhűtéssel cseppfolyósítottakat pedig atmoszférikus nyomású, de hőszigetelt palackokban és tartályokban tárolják. Atmoszférikus tárolás esetén a cseppfolyósított gázt a környezeti nyomáshoz tartozó forrponjtjára – fajtától függően akár -100 °C alá – hűtve tárolják, ún. kriogén tartályban. A tartály különleges, alacsony hőmérsékleten is szívós anyagból készül. Ezt a tartályt egy másik, nagyobb tartállyal veszik körül. A külső tartályt hőszigeteléssel látják el. Cseppfolyós gázokat nyomás alatt is tárolnak. A nyomást ebben az esetben a tárolt anyag gőznyomása (tenziója) határozza meg, ez viszont a hőmérséklet függvénye. A gőznyomás a hőmérséklettől exponenciálisan függ, ezért kis felmelegedés is nagymértékű nyomásnövekedést okoz.

A gázok égése ³

A gázok a jelenlévő oxigénmennyiségtől függően erősebben vagy gyengébben látható lángképződés kíséretében égnak el. Nem minden gázkoncentráció képez robbanás- vagy tűzveszélyt, mert a gáz/gőz elegyek tulajdonságai az éghetőség tekintetében különbözőek. A gyakorlati megfigyelések eredményeként megállapítható, hogy az égés mind az éghető anyag, mind az égést tápláló oxigén oldaláról behatárolható.

A gázok és gőzök levegővel alkotott keverékei nem minden arányban (koncentrációban) robbannak. Minden éghető gáznál megadható egy olyan koncentráció, amely alatt, ill. egy olyan koncentráció, amely fölött gyújtóforrás hatására sem következik be robbanás. Az előbbi az alsó, az utóbbi a felső robbanási határérték.

Az alsó robbanási (éghetőségi) határérték (ARH) az a gáz/gőz koncentráció, amelynél az égés vagy robbanás az oxigénfelesleg (illetve az éghető anyag hiánya) miatt még nem következik be. Mértékegysége: térfogatszázalék (tf %). Az alsó robbanási határértéknél alacsonyabb koncentráció esetén a gyújtóforrás közelében lévő éghető anyag oxidációja végbemegy ugyan, de a következő részecske kémiai reakciója – égése – nem indul meg a távolság miatt.

A felső robbanási (éghetőségi) határérték (FRH) az a gáz/gőz koncentráció, amelynél az égés vagy robbanás az éghetőanyag-felesleg (illetve az oxigénhiány) miatt már nem következik be. Mértékegysége: térfogatszázalék (tf %). A gyújtóforrás közelében lévő éghető anyag oxidációja végbemegy, de a következő részecske reakciója nem zajlik le, mivel nincs a közelében szabad oxigén.

A valóságban a gázok égése az ARH és a FRH közötti koncentrációjú gázkeverékekben megy végbe. Az egyes gázok tökéletes égéséhez elméletileg szükséges oxigén, ill. levegő mennyiségét az 1. táblázat mutatja be.

Az éghető gáz	Vegyjele	1 m ³ gáz elégéséhez elméletileg szükséges O ₂ térfogata	1 m ³ gáz elégéséhez elméletileg szükséges
---------------	----------	--	---

³ Cseretelep kezelők tűzvédelmi szakvizsga anyaga. B&P Dominátor Kft. Bp. 1998. 8-10. p.

neve		(m ³)	levegő térfogata (m ³)
hidrogén	H ₂	0,5	2,5
metán	CH ₄	1,0	5
etán	C ₂ H ₆	3,5	17,5
etilén	C ₂ H ₄	3,0	15
acetilén	C ₂ H ₂	2,5	12,5
propán	C ₃ H ₈	5,0	25
propilén	C ₃ H ₆	4,5	22,5
bután	C ₄ H ₁₀	6,5	32,5
pentán	C ₅ H ₁₂	8,0	40

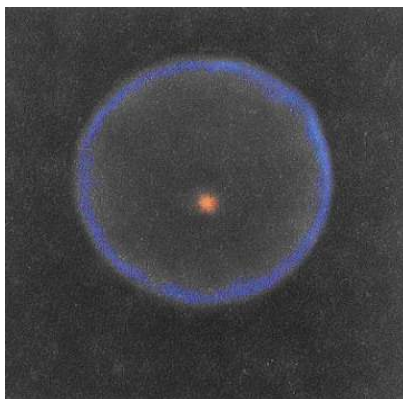
1. táblázat

A gázok égése lehet lassú és gyors lefolyású, azaz *diffúz* és *kinetikus* égés. A diffúz égésnél a gáz/gőz homogén és a fázishatáron keveredik az oxigénnel vagy levegővel. Az égés sebességét a két fázis keveredésének intenzitása korlátozza. Diffúz égés pl. a gyertya égése.

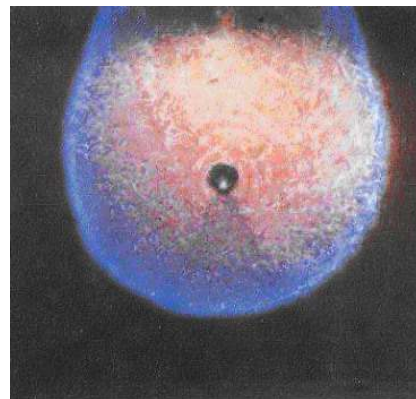
A kinetikus égés esetében az éghető anyag részecskéi, molekulái mellett szinte közvetlenül ott találhatók az oxigén molekulái is. Viszonylag jól összekeveredtek már az égés megindulása előtt. Kinetikus lángot ill. égést pl. lánghegesztő berendezéssel lehet létrehozni, a keverőszár révén. A kinetikus égés hevesebben, intenzívebben megy végbe, mint a diffúz égés. A kinetikus égés sebességének is vannak azonban további fokozatai. A viszonylag lassúbb, hangsebesség alatti sebességű égést ellobbanásnak vagy *deflagrációnak*, míg a hangsebesség-nél gyorsabb égést *detonációnak* nevezzük.

A robbanásnak két fajtáját különböztetjük meg, a *fizikai* és a *kémiai* robbanást. Fizikai robbanás esetén csak a folyamatban résztvevő anyagok fizikai paraméterei – nyomás, hőmérséklet, térfogat – változnak, kémiai reakció azonban nem következik be. Ilyen pl. egy nyomástartó edény felhasadása. A kémiai robbanás esetén a folyamatban résztvevő anyagok összetétele is megváltozik a bekövetkező kémiai reakció hatására. Ilyen pl.: a PB-gáz – levegő elegy berobbanása.

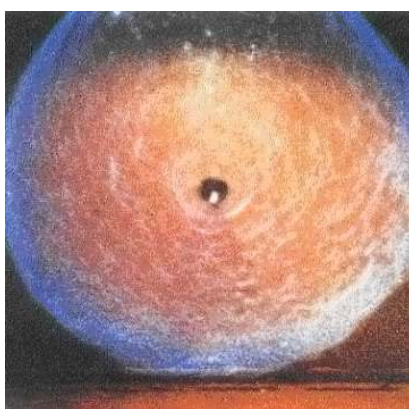
Földgáz – levegő keverék berobbanásának fázisai láthatóak az alábbi, laboratóriumi körülmények között végzett kísérlet képkockáin (1-4. kép). A gyújtás utáni idők milliszekundumban (ms) vannak megadva.



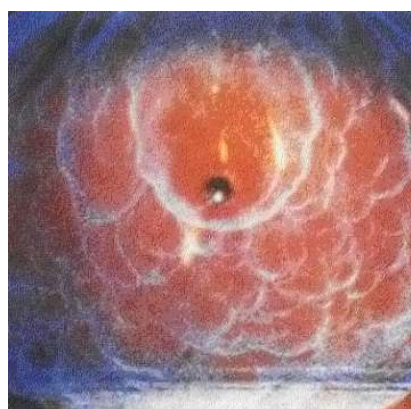
1. kép. 95 ms



2. kép. 130 ms



3. kép. 210 ms



4. kép. 320 ms

1.2. ESETLEÍRÁSOK

Az előzőekben átfogó képet kaptunk a petrokkémia technológiáiról, azok paramétereiről, a nagy mennyiségben alkalmazott tűz- és robbanásveszélyes gázok főbb tulajdonságairól. A következő esetleírásokból kiderül, hogy milyen következményei lehetnek annak, ha nagy mennyiségű robbanásveszélyes gáz kerül a szabadba. A három katasztrófa-leírás mellé három olyan esetet is kapcsoltam, amikor a veszélyhelyzetet sikerült időben elhárítani. Az esetleírások sorrendjét a technológia, ill. a veszélyhelyzetek hasonlóságai alapján állapítottam meg. Egy-egy katasztrófával végződő eset leírását egy hasonló, de anyagi és emberi pusztulással nem járó, sikeres veszélyelhárítás bemutatása követi.

1.2.1. A feyzini katasztrófa⁴

⁴ Dr. Balogh Imre: *Külföldi és hazai tűzkatasztrófák és robbanások ismertetése*. Nehézipari Minisztérium Továbbképző Központ, Bp., 1977. 86-90. p.

1966. január 4-én a franciaországi feyzini olajfinomítóban robbanás és tűz keletkezett, melynek következtében 16-an meghaltak, 100-an szenvedtek súlyos és könnyebb égési sérülést. Az üzem mellett lévő készenléti lakótelepet evakuálni kellett. A kár 250 millió frank volt.

A 8 db gömbtartályból álló gáztároló tartálypark 4 tartálya 1200 m³-es, további 4 db pedig 2000 m³-es volt. A tűzkeletkezés reggelén szokás szerint gázmintát vettek az egyik 1200 m³-es, propánnal telt gömbtartályból. Ezt a rutinmunkát egy laboráns és egy lakatos végezte egy üzemi tűzoltó felügyelete mellett. A gömbtartály alsó részén lévő búvónyílásra hegesztett mintavételi cső csonkja kb. 50 mm átmérőjű volt, ezt szelepekkel szerelték fel. A mintákat a gömbtartály alatt vették; a szerencsétlenség ezen a mintavételi munkahelyen történt. A mintavétel befejeztével a szelepeket nem sikerült elzárni; ezt valószínűleg a tartály faláról levált és a szelepeknél elakadt szilárd szennyeződés okozta. A szabadba ömlő és ott szétterülő gázfelhőből a 3 dolgozó megkezdte a visszavonulást, azonnal értesítették a mérőállomást, mely egyidejűleg riasztotta az üzemi tűzoltóságot. A képződő és állandóan növekvő gázfelhő +15 °C külső hőmérsékleten és nagyon gyenge észak-nyugat – délkeleti széliránynál az alacsonyabban fekvő autópálya felé kúszott. A tűzoltóság első intézkedésként lezárta a tartály közelében, attól csupán 40 m-re húzódó autópályát, hogy megakadályozza a gázfelhő meggyulladását. A talajon térdmagasságban terjedő gázfelhő az autópálya két nyomsávján keresztül haladva elérte a szomszédos, valamivel mélyebben fekvő régi országutat. Ebben az időpontban a még le nem zárt régi országúton, a tartálytól mintegy 150 m távolságban egy személygépkocsi állt, ám rövidesen elindult. Nem tudni, hogy a gépkocsi önindítójának szikrája vagy a gépkocsivezető öngyújtója okozta-e, de az elindulás pillanatában a gáz-levegő elegy meggyulladt. A láng a gázfelhőn, mint egy gyújtózsínoron, végigfutott egészen a gömbtartályig. A tartály alatt intenzív gázláng keletkezett, amelyet a mintavételi csonkon kiáramló propán táplált. Kb. 1 óra elteltével a tartályban a nyomás annyira megemelkedett, hogy kinyílt a tartály tetején elhelyezett biztonsági szelep. Az itt kiáramló gázok szintén meggyulladtak, így most már nemcsak a tartály alatt égett a gázfáklya, hanem felette is 50 m magas lángnyelv lobogott. A tartályt a két láng együttesen hevítette. Vízrel hűteni azonban nem merték, attól tartva, hogy a hideg víz egyenlőtlen feszültségeket okoz és a tartály megreped. Abban bíztak, hogy a biztonsági szelepen keresztül a teljes propán-mennyiség baj nélkül el fog távozni. Csakhogy a tartály melegedése miatt a mintavételi csonkon és a biztonsági szelepen keresztül együttesen sem volt képes annyi gáz eltávozni, amennyi megakadályozhatta volna a tartálynyomás állandó emelkedését. Ezért 1 óra 15 perc elteltével a tartály felhasadt, szétrobbant. A propán egy része azonnal elpárolgott és a levegővel keveredve katasztrófális térrobbanást idézett elő, amelynek valamennyi, a helyszínen tartózkodó tűzoltó és üzemi szakember – összesen 15 fő – áldozatául esett. A nyomáshullám 400 m-es körzetben okozott rombolódásokat és épületkárokat. A gáz másik része folyadéktócsa alakjában maradt a helyszínen és tovább égett, többek között a szomszédos tartályok alatt is. Ennek hatására 20-30 perces időközökkel további 4 gömbtartály robbant fel, a tartálypark területét egyre nagyobb tüztengerré változtatva. A katasztrófát csak a legtávolabb elhelyezkedő tartályok vészelték át, amelyekre a lángtenger hőszugárzása a legkevésbé hatott.

A katasztrófát a tartálypark szakszerűtlen telepítése és a tűzoltásban résztvevők hibái együttesen okozták. Az alábbi képek a helyszínen készültek.



5. kép. A lángoló propántartály
(Forrás: www.lyon.novopress.info)



6. kép. A felrobbant tartály egy darabja
(Forrás: www.onoci.net)

1.2.2. A muhi gáztartály esete

1993. júliusának elején viszonylag jelentős beruházást hajtottak végre a dél-borsodi Muhi községben, a Hejő-menti Állami Gazdaság telepén: a terményszárító berendezés fűtését az addigi gázolajról PB-tüzelésre állították át. A nagy teljesítményű tüzelőberendezés gázellátásának biztosítására meglehetősen nagy – 65 m³-es – fekvőhengeres, földtakarás alatti gáztartályt telepítettek, amely mintegy 30 tonna, nyomás alatt cseppfolyósított PB-gáz tárolására volt alkalmas. A tartály valamennyi csatlakozó szerelvényét egy helyen, a tartály egyik végén, a tartálypalást felső részén kialakított dómaknában helyezték el. A tartály nyomáspróbáját a gyártóműben elvégezték ugyan, de – határidő-csúszásra hivatkozva – helyszíni üzembe helyezési eljárásra, hatósági szemlére nem került sor, a tartály feltöltését a szerelési munkák befejeztével haladéktalanul megkezdték.

Az első napon két tartálykocsi gázt töltöttek a tartályba. Este 6 óra körül a szárító kezelője a tartályhoz ment, hogy beindítsa az elpárologtató berendezést, mert üzembe kívánta helyezni a szárítót. A tartályhoz közeledve sziszegő hangot hallott, majd azt látta, hogy a dómakna

felett erősen kormozó láng lobban fel, és folyamatosan tovább ég. A kezelő a telep irodájába, a telefonhoz futott, és értesítette a tűzoltóságot. A hivatásos tűzoltóság mintegy 10-12 perc elteltével érkezett a helyszínre; addigra a kifúvás intenzitása megnövekedett, a gázfáklya magassága 6-8 méterre emelkedett. A tűzoltásvezető a helyi szakemberekkel konzultálva megállapította, hogy a tartályból a gázt eltávolítani, átfejtetni nem lehet, mivel az erre alkalmas lefejtő csonk maga is tűzben áll. A fáklya eloltása, s a nyomában visszamaradó nagy intenzitású gázkifúvás viszont jelentős méretű gázfelhő kialakulásával, súlyos robbanással fenyegetett, amely akár a néhány száz méterre elterülő Muhi község területét is közvetlenül veszélyeztette volna. Így egyedüli megoldásként a gáz ellenőrzött kiégetése kínálkozott. Ahhoz azonban, hogy a fáklya sugárzó hője miatt a tartály ne melegedhessen túl, és emiatt a BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), vagyis a megnövekedő tartálynomás miatti fizikai robbanás ne következhesen be, a tartály – de elsősorban a mindenféle hőszigetelés vagy földtakarás nélküli dómakna – intenzív hűtésére volt szükség. A területen azonban vezetékes tűzvíz csak rendkívül korlátozottan állt rendelkezésre: a 30 m³-es hidroglóbusz mellett egyetlen föld alatti tűzcsap volt található.

Látva a várható vízszerzési nehézségeket, a tűzoltásvezető megemelte a riasztási fokozatot, így – mintegy 30 perc elteltével – további három hivatásos tűzoltóság egységei kapcsolódtak be a tűzoltás szervezetébe.

A nagyobb mennyiségű tűzvíz folyamatos biztosítására egyetlen lehetőségként a kb. 100 méterre található kavicsbánya-tó igénybevétele kínálkozott. Súlyos gondot jelentett azonban, hogy a vízhez közel menni nem lehetett, mivel oda út nem vezetett, a magas és meredek parthoz képest viszont a víz szintje – július lévén – igen alacsonyan, kb. 7 méter mélyen volt. Ezzel a szívómélységgel a tűzoltó gépkocsik centrifugálszivattyúi alig tudtak megbirkózni: a szállított mennyiség és a kilépő nyomás egyaránt rendkívül alacsony volt. Ezt a problémát később, nyomásfokozó szivattyúk beállításával sikerült megoldani.

Kezdetben az elsőnek érkezett egység 1 db 2400 liter/min teljesítményű vízágyúval a dómaknát vette célba, és a hősugárzásnak leginkább kitett részek hűtését biztosította. A későbbiek során azonban a hűtővíz a tartály földtakarását fokozatosan lemosta, s így egyre nagyobb felület, végül a teljes tartály hűtése vált szükségessé. Addigra azonban a segítségnyújtásra érkezett egységek is elfoglalták helyüket a bányató mellett, s így a szükséges vízmennyiség biztosítása a későbbiekben már nem okozott gondot. A beavatkozás végső stádiumában a tartály teljes felületének hűtését már négy db vízágyú biztosította.

A kezdetben kialakult, 6-8 méter magas gázfáklya este hattól kb. reggel 8 óráig változatlan intenzitással égett. Ekkor a gázfáklya magasságának folyamatos csökkenését lehetett megfigyelni, ami arra engedett következtetni, hogy a tartályból a folyadékfázis elfogyott. Ekkor jött el az idő arra, hogy a gázfáklyát eloltsák, s az esetleges lángbeszívódást megakadályozzák. A fáklya eloltására elsőként a 4 db vízágyú összpontosított bevetésével tettek kísérletet. A láng magassága radikálisan le is csökkent, teljesen eloltani azonban nem sikerült, mert egy kicsi láng a dómakna takarásában tovább égett, s a fáklyát újra és újra visszagyújtotta. Ezért nem maradt más lehetőség, mint a porral oltás. Az egyre csökkenő lángmagasság mellett annak sugárzó hője is csökkent, olyannyira, hogy az oltásra akár egy kézi tűzoltó készülék is elegendő lehetett volna. Az estétől reggelig tartó folyamatos hűtés azonban a tartály környékét mocsárrá változtatta, ahol a tűzoltók mozgása lehetetlenné vált. Ezért a tűzoltásvezető porágyú bevetése mellett döntött. A RÁBA P-3000 porraloltó gépjármű 2×25 kg-os porágyúját mintegy 30 m-es távolságból, kb. 30 másodperces időtartamban működtették (az enyhe, kb. 1 m/s sebességű szellő a porsugar irányára merőlegesen fúj, de azt lényegesen nem térítette el).

A porfelhő eloszlása után lángot látni nem lehetett, viszont a tartálytól szélirányban végzett műszeres mérés az ARH 100 %-a feletti gázkoncentrációt jelzett. Mindez arra engedett következtetni, hogy a fáklya oltása sikeres volt, a tartályban azonban még néhány bar nyomású gázfázis található. Ezért a tűzoltásvezető intézkedett a kiáramló gáz hígítására, a gázfelhő eloszlására. Tekintettel arra, hogy a gázfáklya begyulladását eredetileg is a sztatikus feltöltődés okozta (a szemtanú által elmondottak egyértelműen erre engedtek következtetni), egy vízagyút továbbra is a dómaknára irányítva működtettek, megakadályozva ezzel egy nagyobb feszültségkülönbség kialakulását a nagy sebességgel kiáramló, örvénylő gázfelhő és a leföldelt tartály között. A szél felőli oldalon pedig, a tartálytól mintegy 10 méterre, üzembe helyeztek egy vízpajzsot. (Ez volt a vízpajzs első ismert magyarországi bevetése gázfelhő eloszlására, hígítására céljából.) Közben a gáz koncentrációja a vízpajzs tartály felőli oldalán még az ARH 100 %-a felett volt, az ellenkező oldalon a koncentráció néhány ppm-re csökkent, ami a vízpajzs működésének eredményességét bizonyította. Végül mintegy fél órával a fáklya eloltása után a gázkifúvás megszűnt.

Az elvégzett számítások szerint a tartályból a 30 t gáz kb. 14 óra alatt távozott el, tehát a kifúvás intenzitása kb. 35 kg/min volt.

Az utólag elvégzett vizsgálat megállapította, hogy a gázkifúvást a dómfedél tömítésének meghibásodása okozta. Ez viszont azért történhetett meg, mert a gyári nyomáspróba után a tömítést elmulasztották kicserélni, és a helyszínen, a tartály üzembe helyezése előtt sem végeztek tömörségi próbát.

A folyamatos hűtésnek köszönhetően a tartályon jelentős károsodás nem keletkezett, azt a dómaknában lévő és még a hűtés megkezdése előtt tönkrement szerelvények cseréje, illetve a földtakarás helyreállítása után ismételten üzembe helyezték. A kárelhárítás tanulságai alapján azonban a bányatóra nagy teljesítményű tűzivíz-szivattyút telepítettek, ami vészhelyzetben a hűtéshez vagy gázoszláshoz kellő mennyiségű vizet képes szolgáltatni.

1.2.3. A flixborough-i katasztrófa ⁵

1974. június 1-én Angliában, a flixborough-i vegyigyárban súlyos robbanás és tűz keletkezett, amelynek következtében 28 fő meghalt, 36 fő súlyos, többen pedig enyhébb sérüléseket szenvedtek. A 24 hektárnyi gyárterület legnagyobb része tönkrement. A keletkezett kár 36 millió font volt.

Az üzemben műszál gyártásához szükséges kaprolaktámot állítottak elő. A technológiai folyamat első lépéseként ciklohexánt oxidáltak levegővel, katalizátor jelenlétében, kb. 9 bar nyomáson és 155 C° hőmérsékleten 6 db, egyenként 45 m³ befogadóképességű reaktorból álló kaszkádban. A reaktorok anyaga 13 mm vastag lágyacél lemez volt, 3 mm vastag rozsdamentes acél béléssel. A robbanást megelőzően az 5. sz. reaktort egy nagy repedés miatt el kellett távolítani. A 4. és 6. reaktor között a hézagot egy ideiglenes csővel hidalták át. Az ideiglenes áthidaló cső mindkét végén csőrugó volt. A reaktorsorban minden reaktor lejjebb volt az előzőhöz képest, a gravitációs átfolyás biztosítása érdekében. Ezért az áthidaló csövet meghajlí-

⁵ Dr. Balogh Imre: *Irodalmi gyűjtemény a nemzetközi tűz- és robbanási katasztrófákról*. FIMCOOP Finomkerámiaipari Közös Vállalat, Bp., 1993. 74-77. p.

tották, így a csőrugók nem voltak egyvonalban. Az áthidaló vezetékét 510 mm átmérőjű csőből állították elő és állványokon nyugodott.

A robbanás előtt az üzem állt. Az újraindításkor az áthidaló cső a szokásosnál nagyobb nyomásnak volt kitéve. Valószínű, hogy e nyomás hatása alatt a két csőrugó megvonaglott, az áthidaló cső összecsuklott, a csőrugók eltörték. A törés következtében a forrpontra fölé került ciklohexán a szabadba ömlött. Az áthidaló cső törése, valamint a reaktorokban forrásban lévő ciklohexán zúgása és különösen a ciklohexán kifűvése a csőcsonkból, igen nagy zajjal járt. A laboratóriumban és a vezérlő teremben dolgozó személyzet tisztában volt a veszéllyel. A laboratórium személyzete kirohant az épülethöz, ezért távolabb kerültek a kifűvés helyétől. Bár a robbanás így is elérte őket, de életben maradtak, míg a vezérlőteremben a személyzet a helyén maradt; ők valamennyien meghaltak. Az automatikus tűzjelző működésbe lépett, az első tűzoltó egységek azonnal elindultak a katasztrófa színhelyére.

A szabadba került nagy mennyiségű ciklohexán egy kb. 200 m átmérőjű gázfelhőt hozott létre. A gázfelhő egyes helyeken a 100 m magasságot is elérte. A szél sebessége kb. 7 m/s volt. A törés után kb. 45 másodperccel a gázfelhő a hidrogén üzemben lévő kemencénél meggyulladt. A térrobbanás néhány másodpercig tartó erős (1,5 bar-os) nyomáshullámot hozott létre, amelyet egy szívó fázis követett. A robbanás ereje 10-45 tonna, a talaj fölött 45 méter magasan felrobbant TNT-vel volt egyenértékű.

A robbanás közvetlen hatása a gyár területén lévő épületek leomlása, tornyok, más üzemszervek összedőlése, valamint csövek, tartályok és tárolóedények törése és összenyomódása volt. A teli tartályok viszonylagos épségben maradtak, mert a bennük lévő anyag tehetetlensége megvédte őket, csak a tetejük deformálódott. Egy csaknem üres tartály azonban össze roskadt és kiégett. Az üzem területén a készülékekből és csővezetésekből nagy mennyiségű tűzveszélyes folyadék folyt ki, ennek következtében 45.000 m² (180×250 m) területen tűz keletkezett, 100 m magasságot elérő lángokkal.

A robbanás az üzem területén kívül is súlyos károkat okozott. A robbanás középpontjától számított 600 m távolságig gyakorlatilag minden ablak és ajtó betört, sőt, az ablakkeretek is kimozdultak a helyükről. A cseréppel fedett tetők erősen megrongálódtak, egyes falak megrepedtek. 3 km távolságban még törtek be ablakok, az emberek a talaj földrengésszerű remegését észlelték, és néhány embert a nyomáshullám fellökött.

A robbanás a stabil és félstabil tűzvédelmi berendezések nagy részét tönkretette. A tűzivíz-szivattyú – a szivattyúház összedőlése és a villamos vezetékek pusztulása miatt – üzemképtelenné vált. A tűzivíz-vezeték több helyen eltört. A tűzveszélyes anyagok védőgödörének földből készült védőtöltése épségben maradt.

A gyár területén lévő tűzoltóegységek, valamint a környékről átirányított tűzoltó erők a nagy kiterjedésű tűz következtében a gyártelepet megközelíteni sem tudták. A tűzoltó egységek a tűz keletkezése után több órával légzőkészülékekkel és nehéz hővédő ruhákban tudták az üzem területét megközelíteni és a tűz oltását megkezdeni. Az alábbi képek a pusztítás mértékét mutatják be.



7. kép. A flixborough-i vegyi üzem a robbanás után
(Forrás: www.acusafe.com)



8. kép. Nem bombázás – térrobbanás volt!
(Forrás: www.acusafe.com.)

1.2.4. Gázömlés egy petrokémiai üzemben

1991. június 16-án délután fél hatkor megszólalt egy kelet-magyarországi vegyi üzem olefingyárának vészjelző gőzdudája. A gyártól valamivel több, mint 1 km-re lévő laktanya udvarán a tűzoltók meghallották a vészjelzést, így azonnal elfoglalták a helyüket a fecskendőkön. Ezzel egyidejűleg az Olefingyár ügyeletes üzemmérnöke szinte kiabálva mondta a telefonba: nagyon gyorsan jöjjenek, mert mindjárt felrobbanunk!

A híreket értékelve, a parancsnok a tűzoltási terv szerinti riasztást rendelte el. Ez a helyi erőkn kívül további öt, 30 – 60 km távolságban elhelyezkedő tűzoltóság riasztását jelentette. Nem mintha ezek a tűzoltóságok 30 vagy 50 percnyi vonulási idő elteltével bármit is tehetek volna az adott gázömlés veszélytelenítése érdekében, de számolni lehetett, számolni kellett a lehető legkedvezőtlenebb végkifejlettel, a szabadba kerülő gázfelhő detonációjával is. Ebben

az esetben viszont – a már a helyszínen tartózkodó tűzoltók sérülése vagy halála után, a másodlagos robbanásokkal és kiterjedt tüzekkel sújtott kárterületen – csak a tűzoltási terv szerint, távolabbról riasztott tűzoltók beavatkozása jöhetett volna számításba.

A helyi tűzoltók két gépjárműfecskeendővel és hat különleges szerrel – ezen belül 4 db TŰ-4 habbaloltó gépjárművel – vonultak a helyszínre. A szerek megválasztása nem volt ötlet-szerű, azt a tűzoltási terv írta így elő. Az Olefingyár tűzoltási tervét annak az évnek a tavaszán dolgozták át. A régi terv a kemencesoron feltételezett benzintócsa tüzének oltására készült. Az új tervben legnagyobb veszélyforrásként a gázszétválasztó üzemben bekövetkező súlyos gázömlést tételeztek fel. A terv elkészült, azt május hónapban mindhárom csoport begyakorolta, majd az apró hibák korrekciója után a tervet június 1-jével hivatalosan hatályba léptették. Két hetet kellett várni, hogy a megérzésből valóság legyen, s az egység elinduljon egy, *a gázszétválasztó üzemben bekövetkezett súlyos gázömléshez.*

Abban az időben a tűzoltók még nem rendelkeztek a gázfelhők hígításához manapság használatos eszközökkel: vízpajzsokkal és kisebb-nagyobb teljesítményű, változtatható szórásképpű, telepíthető vízágyúkkal. A tűzoltók rendelkezésére álló egyetlen eszköz a Rosenbauer RM-24 elnevezésű hab-vízágyú volt. Azt azonban már akkor is tudták, hogy a gázfelhőt a vízsugarak által magával ragadott levegővel fel lehet hígítani, s az esetleg meggyulladó gázfelhő égésének sebességét, ezáltal a romboló hatását a gázfelhőbe belőtt apró, aerosol-szerű vízcseppekkel csökkenteni, fékezni lehet. Ehhez volt szükség a 4 db TŰ-4 habbaloltó gépjárműre, amelyek mindegyike egy-egy RM-24 hab-vízágyút vontatott. A terv szerint a tűzoltók a járműveikkel az Olefingyár kerítésén – a gázfelhőn – kívül megálltak, az utánfutóra szerelt ágyúkat pedig kézi erővel vontatták a gázömlés helyszínére.

A gázömlés időpontjában az üzem területe teljesen néptelen volt, de a gázömlést a helyi szakember eligazítása nélkül is könnyű volt megtalálni: egy csőtartó oszlop tetején, mintegy 3 méter magasságban egy 50 mm átmérőjű csővezeték hosszában felhasadt, és a kb. 10-12 cm hosszú nyíláson át 30 bar nyomással, fülsiketítő zajjal ömlött a szabadba a pirogáz. Ez utóbbi a vegyipari benzin 850 °C hőmérsékleten elvégzett pirolízisének, hőbontásának a terméke; zömmel etilént, kisebb részben propilént, illetve a vegyipari zsargonban C4, C5 stb. frakciónak nevezett szénhidrogén-gázokat tartalmaz. A hirtelen expanzió következtében erősen lehűlt gázfelhő a talaj közelében gyűlt össze, és a 2-3 m/s sebességű, nem túl erős déli szélben a vezénylő-épület és a tőle északra elterülő más gyárak felé sodródott. A szomszédos gyárak mindegyike robbanásveszélyes üzem, RB-s villamos szerelésekkel és megfelelő biztonsági intézkedésekkel, ezért azok leállítása nem vált szükségessé. A gyári belső úthálózaton azonban a rendészek a forgalmat leállították, s már a gyárkapun is csak a tűzoltókat engedték be. Említést érdemel, hogy északi irányban, a gyártelep kerítése mellett helyezkedik el a gyár irodaháza (amely késő délután lévén, szinte üres volt), a tűzoltó laktanya (ahol azonban csak a híradó ügyeletes maradt), és a műjégpályával és strandfürdővel felszerelt szabadidő-központ is, ahol viszont csúcsforgalom volt! A gyár megfelelő intézkedésekre feljogosított ügyeletes vezetője úgy ítélte meg, hogy a gázfelhő esetleges felrobbanása ezen a területen is okozhat sérüléseket és károkat, ezért a szabadidő-központ kiürítését rendelte el.

A gázömlés helyszínén a tűzoltók kiérkezéséig az üzemi személyzet megtette a legfontosabbat, amit megtehetett: két beépített vízágyú sugarát a kifúvás helyére irányította. (Az üzem területén annyi ágyút és oly módon telepítettek, hogy az üzem bármely pontja két ágyúval elérhető legyen.) Ezzel mintegy leföldelték, feszültségmentesítették a gázfelhőt, megakadályozva azt, hogy a nagy sebességgel kiáramló, erősen örvénylő gáz sztatikusan feltöltődjön, s az elektromos feszültség a gázfelhő és a leföldelt acélszerkezetek között kisülve, a szabadba

került gázfelhőt felrobbantsa. A beépített ágyúk azonban a hetvenes években kerültek a helyükre, s az akkori idők műszaki színvonalának megfelelően, csak kötött sugár képzésére voltak alkalmasak. Ilyen sugárral azonban a gázfelhő hígításához szükséges mennyiségű levegőt szállítani nem lehet. Ezért vetették be a tűzoltók az RM-24-es hab-vízágyúkat, amelyeknek habcsővét oldalra elfordítva, az ágyú 24 db, 8 mm átmérőjű kis kötött sugarat lövellt ki magából. Ezek a sugarak egy domború felületen kiképzett furatokból fakadtak, így a 24 sugár kissé széttartó, mintegy 30 ° kúpszögű „zuhataggá” olvadt össze. Megfelelő nyomás esetén ez a zuhatag 10-12 m-re is eljutott, vízszugár-szivattyúként magával ragadva a gázfelhő hígításához szükséges levegő-mennyiséget.

A tűzoltási terv 2 db beépített és 4 db telepíthető vízágyúval számolt – azért nem többel, mert a tűzivíz-szivattyúház kapacitása többet nem tett lehetővé. A gyakorlat próbája szerint azonban ez az ágyú- és vízmennyiség elégségesnek bizonyult. Igaz, a tűzoltók nem voltak abban a helyzetben, hogy meggyőződjenek a gázkoncentráció változásáról, hiszen abban az időben az egész megye tűzoltósága egyetlen darab AUER Passport gázkoncentráció-mérő műszerrel rendelkezett, az is a megyei tűzoltási csoportnál volt található – a kárhelytől 30 km-re. A gyár területén beépített műszerek a vezénylő-terem műszerfalán azonban jelezték, hogy a beavatkozás hatásos, a veszélyes koncentrációjú gázfelhővel borított terület csökken.

A meghibásodott csőszakasz egy nagy térfogatú gázzétválasztó kolonna betápláló vezetékéhez tartozott. A sérült csőszakasz táplálását azonnal megszüntették, a kolonna és a kifúvás helye között azonban nem volt elzáró szerelvény. Így a kolonna felől mindaddig áramlott a gáz a sérült csőszakasz felé, amíg abból a gáz – cseppfolyós és gázfázis egyaránt – el nem fogyott. A kolonna kiürülését azzal segítették elő, hogy az e célra jóelőre kiépített csővezeték segítségével összekötötték a biztonsági fáklyával. Így a gáz nagyobb része nem a sérült csővezetékben, hanem a biztonsági fáklyán át távozott a szabadba.

Amint a kolonnában a nyomás 2 bar alá csökkent, a kolonnába nitrogént vezettek. Így a kolonnában lévő szénhidrogén egyre hígult, míg végül a sérült csövön már nem éghető gáz, hanem tiszta nitrogén áramlott ki.

Az utólag elvégzett számítások szerint a lefáklyázás ellenére is, a gázömlés mintegy 30 perces időtartama alatt kb. 5 t, tehát percenként mintegy 167 kg fokozottan tűz- és robbanásveszélyes gáz került a szabadba. Ez a mennyiség lényegesen csökkenthető lett volna, ha a tűzoltóknak már akkor is rendelkezésére állt volna a jelenleg készletben tartott, a Holmatro cég által gyártott hidraulikus csőroppantó szerkezet, amely a hasonló esetekben a gázömlést gázszivárgássá képes redukálni.

1.2.5. Térrobbanás Csehországban⁶

1974. július 19-én a csehországi Kruzsniye Góri szintetikusalkohol-üzemében súlyos robbanás történt. A robbanás következtében 16 fő meghalt, 8 személy súlyos, 100 személy könnyebb sérülést szenvedett. Az anyagi kár igen tetemes volt.

A szintetikus etilalkoholt etilénből gyártották. A magas etiléntartalmú pirolízis-gáz előállításának technológiája – a hosszabb szénláncok széttördelése rövidebb szénláncú molekulákká – gyakorlatilag megegyezik a magyarországi olefíngyárakban szokásos technológiával. A pirolízisgázt benzín és gáz hőbontása útján állították elő. A pirolízisgázt négylépcsős kompresszorokkal 36-37 bar nyomásra komprimálták, majd az így cseppfolyósított gázkeveréket

⁶ Dr. Balogh Imre: *Tűzkatasztrófák*. FIMCOOP Finomkerámiaipari Közös Vállalat, Bp., 1993. 85-90. p.

mélyhűtötték, és a frakcionáló kolonnákban a forrpont-különbségek alapján alkotó elemeire szétválasztották.

A robbanást megelőzően a pirolízis-gázok szétválasztását végző üzemben jelentős mennyiségű gáz került a szabadba. A gázfelhő rövid idő alatt szétterjedt és meggyulladt, majd a kiszabadult gáz a gázszétválasztó berendezések és a kompresszorállomás közötti térben felrobbant. A térrobbanás következtében néhány közeli objektum megsemmisült, számos további – részben a szétrepülő törmelékek által, főképpen azonban a robbanási hullám következtében –, károkat szenvedett. A sérült objektumok egy részében tűz ütött ki. A robbanási hullám a romboló hatását 8 km sugarú körben fejtette ki.

Közvetlenül azelőtt, hogy észrevették a gázkitörést, tompa ütés zaj volt hallható, amelyet sistergésszerű zaj követett. Mindkét zaj váratlan volt az adott időpontban, és figyelmeztette a gyár számos dolgozóját.

A gázkitörés hatalmas volt; a ködre emlékeztető gázfelhő átgördült a szabadban felállított rektifikáló berendezés felett, majd déli irányban a földön terjedt tovább a szél irányát követve, amelynek sebessége 1,5 – 3 m/s volt. Egyéb irányban a gázfelhő szétterjedése lassúbb volt.

Két perc alatt a gázfelhő a déli irányú szél hatására elérte a pirolíziskemencéket, ahol a felhő széle meggyulladt, és a láng a felhőn át észak felé haladva elérte a kitörés helyét. A felhő külső, levegővel már elkeveredett felszínén végigfutó láng tűzgömbként emelkedett a magasba. A hirtelen felszálló égéstermékek helyére tóduló levegő a tömény gázfelhő turbulens mozgását és a levegővel való intenzív keveredését idézte elő. Ennek folytán robbanóképes etilén-levegő keverék keletkezett, majd bekövetkezett a detonáció, és annak nyomán a tűz.

A vizsgálat megállapította, hogy a gázkitörés oka az etilénszétválasztó kolonna és az egyik forraló közötti 200 mm átmérőjű csővezeték egy szakasza volt. A csőben cseppfolyós etilént vezettek, amelynek hőmérséklete 0 °C körül, nyomása pedig 25 bar körül volt. A csődarab mintegy 400 mm hosszúságú szakasza eltűnt – valószínűleg apró repeszekre szakadt és szétrepült, úgy hogy a vizsgálat során nem is sikerült megtalálni. A megmaradt csőszakasz külső oldalán legfeljebb 1 mm mély korrózió nyomait találták, s aminek oka valószínűleg az volt, hogy a leemelhető szigetelés alatt nedvesség gyűlt össze. Fontos volt a csőszakasz belső oldalán, főképpen annak alsó részén észrevehető jelentős, általában nem egyenletes és a keresztmetszetben nem szimmetrikusan eloszló korrózió, amely az anyagot legerősebben a legalacsonyabb ponton gyengítette meg. Az alkatrész belsejében kis mennyiségű üledékben kénzt találtak. Az alkatrész anyaga egyenlőtlen szerkezetű volt. A törés helyén, a leggyengébb anyagban rendkívül nagy ferritszemcséket találtak és igen alacsony mikrokeménységmutatókat állapítottak meg.

A kiömlés forrásának és okának vizsgálata során nagy nehézséget okozott az a szomorú tény, hogy a rektifikáló és a kompresszorállomás teljes személyzete meghalt és így hiányzott ezek tanúvallomása. Megállapították, hogy a személyzet egyes tagjai a tompa ütés zajára kiszaladtak a rektifikáló üzemből, feltehetően azért, hogy valamiféle gyors intézkedést hajtsanak végre.

A vizsgálóbizottság közléseiből az alábbi következtetések vonhatók le:

- A robbanás oka katasztrófális mértékű cseppfolyós etilén-ömlés és annak nyomán nagy méretű gázfelhő kialakulása volt, ami egy viszonylag jelentős keresztmetszetű – Ø200 mm – csőszakasz külső és belső korrózió okozta meggyengülésére és szétrobbanására vezethető vissza.

- A gázfelhő, amelyet mérsékelt szél ragadott magával, a pirolízis-kemencéknél gyulladt meg, a gázkitörés helyétől mintegy 160 m-re. A tömény gázfelhő felületén végigfutó láng tűzgömbként felemelkedve elősegítette a teljes gáztömeg robbanóképes gázfelhővé alakulását. Ennek nyomán nagy erejű térrobbanás következett be.
- A katasztrófát több tényező együttes hatása okozta. Mindenekelőtt, nem tárták fel és szüntették meg a csőszakasz robbanásához vezető külső és belső korróziót. Ugyanakkor nem készültek fel arra, hogy az üzemben gázömlés fordulhat elő, így nem tettek semmilyen intézkedést a gázfelhő felhígítására, ill. meggyulladásának megakadályozására.

1.2.6. Gázömlés – áldozatok nélkül

A TVK Rt. a poliolefinok termelésének növelése érdekében 2003-ban nagyszabású beruházásba kezdett. Az 1975-ben átadott Olefíngyár kapacitásának kiegészítéseként 2003-ban egy hasonló teljesítményű, de korszerűbb technológiával működő új Olefíngyár építése kezdődött meg. Az építési-szerelési munkálatok befejeztével, 2004. decemberében megkezdődött az egyes üzemszekerek fokozatos próbajaratása, a következő év elején pedig próbaüzem jelleggel beindult a termelés a gyárban. Az építkezés ideje alatt végzett szigorú minőségellenőrzési és gyártás-felügyeleti tevékenység ellenére a próbaüzem ideje alatt előfordult néhány kisebb üzemzavar, gázszivárgás. Az első komolyabb kifúvás 2004. dec. 21-én hajnalban következett be. Egy meghibásodott tömítés mellett etiléntartalmú gázkeverék áramlott a szabadba, a kifúvást azonban a személyzet kiszakaszolással és lefáklyázással viszonylag gyorsan, mintegy 20 perc alatt megszüntette. A levegőbe került kisebb mennyiségű etilén koncentrációját a létesítményi tűzoltók mindvégig az alsó robbanási határérték (ARH) közelében tudták tartani.

Ennél jóval intenzívebb, súlyos következményekkel fenyegető gázömlésre került sor 2005. március 8-án. A délutános műszak kezelőszemélyzete éppen a külső munkaterületre indult, amikor 14 óra után nem sokkal, néhány másodpercen belül több gázérzékelő jelzése futott be a vezénylőbe. A jelzések a C3 szétválasztó blokk területéről érkeztek. A külsős kezelőszemélyzet légzőkészülékekben azonnal a helyszínre sietett, ahol megállapították, hogy kb. 10 m-es magasságban egy megsérült készülékből erős sivitással és rendkívül nagy intenzitással gáz ömlik a szabadba. Amint azt a későbbi vizsgálatok megállapították, a nagy térfogatú propilén-szétválasztó kolonna egyik hegesztési varrata felrepedt, s egy biztonsági szelep kiszakadt a helyéről. Az elrepült szelep helyén kb. 30 mm átmérőjű nyílás keletkezett, amelyen át a robbanásveszélyes gázkeverék mintegy 30 bar nyomással ömlött a szabadba.

A hiba behatárolása után a személyzet azonnal megkezdte az érintett rendszer kiszakaszolását. A betáplálást megszüntetni viszonylag egyszerű volt, de ettől a gázömlés még nem szűnt meg, hiszen a nagy térfogatú készülék több tonna, zömében folyadékfázisban lévő propilént tartalmazott. A nyomás pedig mindaddig nem csökkenhetett az eredeti 30 bar alá, amíg a készülékből a folyadékfázis teljes egészében el nem fogyott. Annak érdekében, hogy a propilén ne csak az üzemzavar nyomán keletkezett nyíláson át, az üzem légtérébe távozhasson, a személyzet megnyitotta a kolonna és a biztonsági fáklya között kiépített vezetékét. A fáklya szerepe éppen az, hogy üzemzavar esetén a sérült vagy meghibásodott rendszerből a robbanásveszélyes gázokat elvezesse és biztonságos körülmények között elégesse, megelőzve vagy korlátozva ezzel a nagyméretű robbanásveszélyes gázfelhő kialakulását az üzem légtérében.

A gázömlés helyszínének közelében két tüzelőberendezés is található. Az egyik D-i irányban a regeneráló kemence, a másik pedig a gázömlés helyétől északra az üzem egyik fő része,

a 4 db krakkoló kemencéből álló kemencesor. Annak ellenére, hogy a szél a regeneráló kemence felől fúj, a krakkoló kemencesor pedig viszonylag nagyobb távolságra található, az üzem személyzete beindította a kemencéket határoló gőzfűgönyöket. A talajszinten elhelyezett perforált csőből nagy intenzitással felfelé áramló gőz a propilént tartalmazó levegőt magával ragadta és részben a gőzzel, részben a magasabban elhelyezkedő tiszta levegővel elkeverte, felhígította. Így a kemencébe, annak nyílt lánggal üzemelő tűzterébe az ARH-t meghaladó koncentrációjú gázkeverék nem kerülhetett, a gázfelhő nyílt láng általi meggyulladását és robbanását sikerült megelőzni.

Ezzel párhuzamosan a műszakvezető 14⁰⁷ perckor jelentette az esetet a létesítményi tűzoltóság hírközpontjának és a Központi Ügyelet diszpécserének. A káresetfelvétel után a hírközpont 14⁰⁸-kor rádióon riasztotta az Olefingyártól délre fekvő, szomszédos olajfinomító területén gyakorlatozó egységeket. Az élénk déli szél éppen a gázömlés helye felé fúj, így a tűzoltók a lehető legrövidebb útvonalon vonulhattak. A vonulásra jogszabályban engedélyezett 10 perc helyett 4 perc alatt, 14¹²-kor értek a helyszínre és leállított motorú tűzoltógépjárművekkel az üzem melletti úton sorakoztak fel. Ezzel egyidőben értek a helyszínre a Hivatásos Önkormányzati Tűzoltóság egységei is. Jómagam a létesítményi tűzoltóság – a Tűzoltó és Műszaki Mentő Kft. – II. szerének 5-öseként érkeztem a káreset helyszínére.

A vonulás közben rádióon kiadott utasításoknak köszönhetően a beavatkozó egységek teljes védőfelszerelésben, aktív légzésvédelem használatával kezdhették meg a felderítést és a veszélyelhárítást. Az egységparancsnok már a felderítés közben elrendelte a gázfelhő elektromos töltésének elvezetésére, a sztatikus feltöltődés okozta robbanás megelőzésére alkalmas zsebvizágyú helyszínre telepítését. A gázkoncentráció-méréssel egybekötött felderítés során kiderült, hogy a gázömlés intenzitása jóval nagyobb a vártnál, ezért további két, nagyobb teljesítményű – 5000 liter/perces – vizágyú szerelésére adott utasítást. A 14²⁰-kor működésbe lépett sugarak elérték a 10 m magasan lévő kiömlés helyét, és megkezdték a kizúduló gázszugár intenzív hígítását.

A gázömlés északi oldalán, szélirányban végzett mérések az ARH 100%-át meghaladó és folyamatosan tovább emelkedő koncentrációt jeleztek, ami telepíthető vízpajzsok alkalmazását tette szükségessé. A 7 db, körülbelül egyvonalban elhelyezett vízpajzsból kialakított vízfűgöny beindításával sikerült a koncentrációt lényegesen csökkenteni. A vizágyúk, a vízfűgöny és az élénk szél együttes hígító hatására a koncentráció a vízfűgöny védett oldalán az ARH 100 %-a alá csökkent, amit a folyamatos gázkoncentráció-mérések adatai igazoltak. Bár a veszélyes gázfelhő az üzem területén túl nem terjedt, a vállalat biztonsági szolgálata a közlekedést a gyárterületen kívüli veszélyeztetett utakon is leállította.

A vizágyúk és vízpajzsok folyamatos működése közben a készülék gáztöltetének nagyobb része a fáklyára került és elégett. Amint a kolonnában a folyadékfázis elfogyott, a nyomás rohamosan csökkenni kezdett, így lehetővé vált, hogy az időközben megszerelt vezetékből nitrogént vezessenek be és azzal inertizálják a készüléket. A megtett intézkedések eredményeként 15⁰⁵-re a robbanásveszélyes gáz kiáramlása megszűnt. A veszélyhelyzet elmúltával a tűzoltóegységek megkezdték a visszaszerelést, az üzemi dolgozók pedig hozzáláttak a hiba elhárításához.

A veszélyhelyzet sikeres elhárítása a gyors és szakszerű beavatkozásnak, az alkalmazott eszközök hatékonyságának, illetve a létesítményi és önkormányzati tűzoltóság, valamint az üzemi kezelőszemélyzet összehangolt munkájának volt köszönhető.

2. A LEHETSÉGES VESZÉLYEK ÉS ELHÁRÍTÁSUK

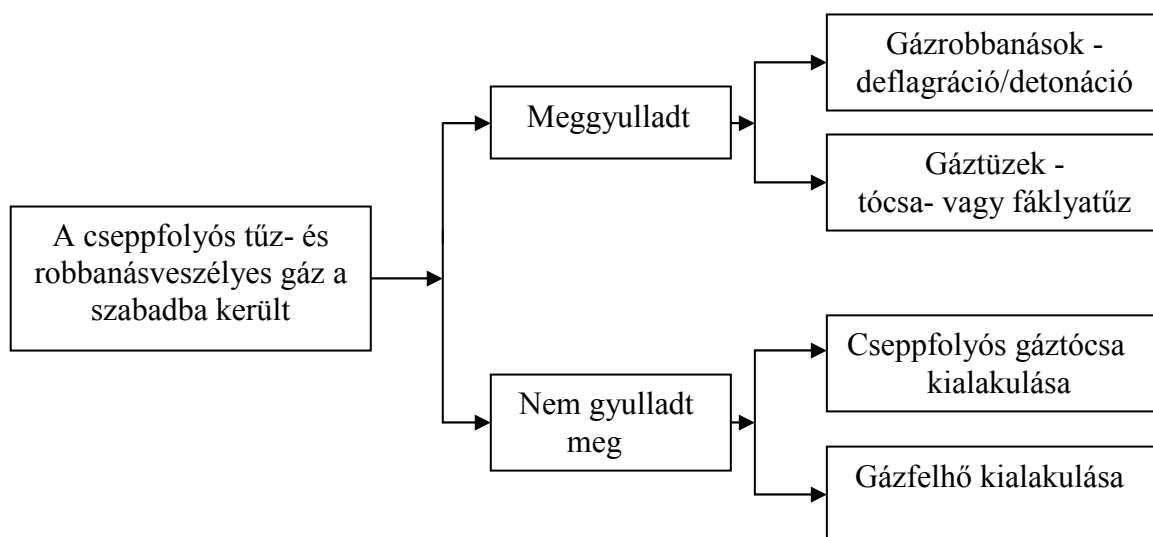
A technológiai leírásokból és a gázok tulajdonságaiból adódóan behatárolhatóak azok a paraméterek, amelyek között a gázokat biztonságos és üzemszerű körülmények között tárolják és használják. A cseppfolyós tűz- és robbanásveszélyes gázok felhasználása és tárolása zárt rendszerű csővezetékben, készülékekben és tárolóedényekben történik. A zárt rendszer, a megfelelő anyagminőség és méretezés ellenére bármikor előfordulhat, hogy tömítetlenség, repedés vagy törés miatt tűz- és robbanásveszélyes gáz kerül a szabadba. Ez adódhat anyaghibából, összeszerelési pontatlanságból, technológiai kezelési hibából is, de leggyakrabban a töltés-lefejtés, ill. a szállítás, anyagmozgatás területén fordul elő baleset.

A cseppfolyós tűz- és robbanásveszélyes gáz szabadba jutása során a veszélyhelyzeteknek számos típusa alakulhat ki. Sok esetben egyetlen kárelhárítás során a lehetséges veszélyhelyzetek több típusa is előfordulhat ill. alakulhat ki egymásból.

A gáz szabadba jutása során alapvetően kétféle helyzet alakulhat ki, attól függően, hogy a szabadba került gáz *meggyulladt* vagy *nem gyulladt meg*. A szikramentes anyagok, a robbanásbiztos kivitelű készülékek alkalmazása ellenére a technológiai sajátosságok miatt a szabadba jutó gáz meggyulladhat. Ez az égés lehet kevésbé heves vagy robbanásszerű (deflagráció, detonáció) vagy kialakulhat hosszabb lefolyású, úgynevezett fáklyaszerű égés.

Amennyiben a szabadba került gáz nem gyulladt meg, úgy a kiáramló gáz atmoszferikus nyomáshoz tartozó forrójától, valamint a gázömlést megelőző nyomásától és hőmérsékletétől függően alapvetően kétféle helyzettel szembesülhetünk. Közismert, hogy a gázok az expanzió (nyomáscsökkenés) közben erősen lehűlnek. Ha a gáz nyomáscsökkenése kellően nagy, a környezeti nyomáshoz tartozó forróját pedig viszonylag magas, akkor kellően intenzív gázömlés (pl. a tartály felhasadása) esetén a gáz nagyobb része hirtelen kitágul és gázfázisként felhőt alkot, kisebb része pedig az erős hőelvonás következtében a forráspontja alá hűl és folyadékfázisban, tócsaként marad vissza. A környezetből felvett hő hatására természetesen a cseppfolyós gáztócsa is folyamatosan párolog. Ha az említett feltételek valamelyike hiányzik, akkor a kiáramló gáz lehűl ugyan, de folyadékfázis nem alakul ki, hanem a teljes gázmennyiség elpárolog és a kiömlés helyének közelében felhőt alkot.

A veszélyhelyzetek kialakulásának folyamatát az átláthatóság kedvéért az 1. ábra mutatja be.



1. ábra. A veszélyhelyzetek kialakulásának folyamata

Már a tűz- és robbanásveszélyes gázok szabadba jutása kapcsán is négyféle különböző veszélyhelyzet-típussal találkozunk. A veszélyelhárítás során azonban a helytelenül alkalmazott technika és módszer a veszély növekedését, egy kisebb veszélyhelyzetből kiindulva egy súlyosabb veszélyhelyzet kialakulását is előidézhetheti. Így pl. egy meg gondolatlanul eloltott gázfáklya következménye súlyos robbanás lehet. De hasonló hiba a mélyhűtött gáztócsa nehézzal történő takargatása is, ami voltaképpen a habból kiváló oldat révén folyamatos hőbevitelt, azaz a párolgás fokozását jelenti.

Annak érdekében, hogy a beavatkozásunk hatásos, működésünk pedig a veszélyzónában is viszonylag biztonságos legyen, a lehető legalaposabban kell tanulmányoznunk a gázfelhők kialakulását, viselkedését, terjedését, égését és robbanását. Ha ez a megismerési folyamat sikeres, akkor, de csak akkor tehetjük meg azokat az intézkedéseket, amelyek eredményeként a gázfelhőkkel félelem nélkül, a siker reményében szállhatunk szembe.

2.1. GÁZROBBANÁSOK

Bármilyen tűz- és robbanásveszélyes gáz által okozott veszélyhelyzet elhárítása során a legfontosabb szempont a robbanás bekövetkezésének megakadályozása. A petrokkémiában alkalmazott, fokozottan tűz- és robbanásveszélyes gázok aránylag kis helyen, de nagy mennyiségben való koncentrált jelenlétéből adódóan egy esetlegesen bekövetkező robbanásnak beláthatatlan következményei lehetnek. Az egyéb, nagy mennyiségű fokozottan tűz- és robbanásveszélyes folyadékok jelenléte és a technológiai sor láncszerű összekapcsolódása miatt bekövetkezhethet egy olyan robbanássorozat, amely egy adott petrokkémiai üzem teljes megsemmisüléséhez vezethet és akár több kilométeres körzetben súlyos vagy halálos sérüléseket, jelentős anyagi károkat okozhat. Hogy minél eredményesebben tudjuk kezelni és befolyásolni a gázrobbanást, meg kell ismernünk annak fajtáit, lefolyását, jellemzőit.

A cseppfolyós gázok meggyulladására különböző típusú tüzeket, robbanásokat, ill. ezek kombinációjaként meglehetősen összetett katasztrófahelyzeteket idézhet elő. A robbanások típusait alapvetően fizikai és kémiai robbanásra választhatjuk, majd a kémiai robbanásokat tovább bontva a gázrobbanások altípusait az égési sebességük alapján csoportosíthatjuk.

2.1.1. Fizikai robbanások

A fizikai robbanás során nem megy végbe kémiai reakció, égés, hanem az anyag térfogatváltozása (tágulása) révén szabadul fel energia. Megjelenési formája a tárolóedény, tartály, palack belső nyomásnövekedése nyomán bekövetkező hirtelen felszakadás (9-10. kép). Túltöltött, ill. hőmérséklet-emelkedés hatására jelentősen megnövekedett belső nyomású gáztárolóknál, gázpalackoknál, reaktorok hasadótárcsáinál fordulhat elő. Fizikai robbanás a kizárólag gázfázist, illetve a folyadék- és gázfázist is tartalmazó edényeknél egyaránt előfordulhat.

A fizikai robbanás közvetlen veszélyeit a robbanás környezetében fellépő nyomáshullám és a tartály elrepülő darabjainak repeszhatása jelentik. Közvetett veszélye, hogy a robbanás nyomán a szabadba kerülő éghető gázok vagy gőzök a levegővel keveredve kémiai robbanást okozhatnak.



9. kép



10. kép

(Forrás: www.feuerwehr.pforzheim.de)

A fizikai robbanásoknak egy különleges fajtája a

BLEVE: (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion),
a forrásban lévő folyadék hirtelen gőzzé alakulása nyomán bekövetkező robbanás.

BLEVE típusú robbanás csak olyan zárt térben fordulhat elő, ahol egy adott, nyomás alatt lévő folyadékot a forrponjtáig melegítenek (közismert fizikai törvényszerűség, hogy a nyomás növekedésével az adott folyadék forrponjtja is növekszik). A forrásban lévő folyadék egy része elpárolog, emiatt a nyomás növekszik, mindaddig, amíg a folyadékot tartalmazó edény, készülék stb. el nem veszíti a mechanikai szilárdságát és a belső nyomás hatására fel nem hasad. A gázfázis ebben a pillanatban a környezetbe távozik, a nyomás hirtelen lecsökken. Azaz csak csökkenne, mert a forrásban lévő folyadék nagy része hirtelen elpárolog, robbanásszerűen gőzzé alakul. A nyomás végül a környezeti nyomásig, a forrponjt pedig a környezeti nyomáshoz tartozó hőmérsékletig csökken. Vízesetében ez a hőmérséklet $+100\text{ °C}$, a butáné -12 °C ,

az etiléné viszont -104°C . BLEVE tetszőleges folyadék esetén előfordulhat, a lényeg csak az, hogy folyadék- és gőzfázis egyaránt jelen legyen, a folyadék nyomás alatt legyen és az adott nyomáshoz tartozó forráspontjái legyen hevítve. A BLEVE közismert formája a kazánrobbanás, de a feyzini gömbtartályok robbanása is ebbe a körbe tartozik. Az már más kérdés, hogy a fizikai robbanás, a BLEVE után az éghető gáz robbanásveszélyes gázfelhőt hozott létre, aminek következménye egy kémiai robbanás volt.

A BLEVE robbanás vizsgálatára átfogó kutatásokat végeztek a kanadai Queen's egyetemen. Az 1992-től 1996-ig terjedő időszakban 40 esetben végeztek kísérleti robbantásokat. A robbantások alapját egy 1,5 m hosszú, 0,6 m átmérőjű, 550 l cseppfolyós propánt tartalmazó fémtartály szolgáltatta. A tartály 6 mm vastag lemezből készült és beépített vészlefüvató szeleppel volt ellátva, amely 21,5 bar nyomásra volt kalibrálva. A tartályban lévő gáz- és folyadékfázist alulról és felülről egyaránt fűtötték. A beépített hő- és nyomásmérő műszerek segítségével a változás folyamatosan nyomon követhető volt.

A BLEVE robbanás a cseppfolyós gázt tartalmazó tartály fűtése nyomán beálló halmazállapot-változás és az ezzel járó fokozott nyomásnövekedés hatására következik be. Mint azt a korábbiakban említettük, a nyomás alatt cseppfolyósított gázok tárolási hőmérsékletének emelkedése lényegesen nagyobb nyomásnövekedéssel jár, mint a gázfázisú gázok esetén. Az intenzív fűtés hatására a hőmérséklet hamar elérte a cseppfolyós gáz forráspontját, aminek következtében a folyadékfázis forrni kezdett. Az egyre növekvő nyomás hatására a tartály felhasadt, aminek következtében a forrásban lévő gáz nagyobb része pillanatok alatt elpárolgott. (A kísérleti tartály teljes tartalma 1 mp-en belül kiürült.)

A kísérletek tanúsága szerint a rendkívül rövid idő alatt keletkezett, gáz halmazállapotú, valamint apró, aeroszolszerű folyadékcseppeket is tartalmazó felhő a robbanásszerű, turbulens kiáramlás következtében szinte azonnal elkeveredik a levegővel, majd valamely inicializáló hatástól meggyulladva detonál. A gáz folyadékfázisban visszamaradt része pedig tócsa formájában folyik szét a tartály körül, és meggyulladva folyadékok módjára ég el.

A BLEVE robbanás ily módon való, mondhatni klasszikus lefolyása nem minden esetben következik be. A kísérleti robbantások tapasztalatai azt mutatták, hogy az esetek 16 %-ában a gáz a biztonsági szelepen keresztül kiégett, nem következett be sem fizikai, sem kémiai robbanás. 52 %-ban a tartály felhasadt és a kiáramló propán nagysebességű sugárszerű égés (jet-fire) formájában égett ki. Az esetek 32 %-ában következett be a BLEVE típusú robbanás.

A kísérleti BLEVE robbantás fázisai a 11-14. képeken láthatóak.



11. kép



12. kép



13. kép



14. kép

(Forrás: www.ambirk.com)

A felvételeken jól nyomon követhetőek a BLEVE és következményei a tartály felhasadásának pillanatától, a gőz- és gázfelhő képződésén keresztül egészen a tűzgolyó robbanásszerű elégséig.

Abban az esetben, ha a tartályon csak kisebb nyílás keletkezik, a tartály nyílásánál a belső nyomás hatására intenzív gázkifúvás ún. *jet-stream* (15.kép) vagy sugárszerű égés, *jet-fire* (16.kép) alakul ki. A jet-fire nagy sebességű égés, a környezetre ható intenzív, de rövid ideig tartó hőterhelés jellemzi. A nagynyomású kiáramlás során a gáz- és folyadékfázis egyaránt, nagyon rövid idő alatt leürül a tartályból.



15. kép. Jet-stream

(Forrás: www.queensu.ca)



16. kép. Jet-fire

(Forrás: www.ambirk.com)

2.1.2. Kémiai robbanások

A kémiai robbanás időben gyors lefolyású égés. Ez az égés a kinetikus, azaz kevert égések közé tartozik. Ez azt jelenti, hogy az elkeveredett gáz-levegő elegyben az égés kezdetének pillanatában a gázmolekulák között megtalálhatók az oxigénmolekulák is. A kevert égés intenzívebb és magasabb hőfokon megy végbe, mint a diffúz égés. Ilyen jellegű égésre jó példa a lánghegesztésnél használt acetiléngáz-oxigén elegy égése.

A robbanóképes gáz-levegő elegy nagy sebességű égésének magyarázatához és megértéséhez segítségül szolgálhat a belső égésű motorok működési elvének felelevenítése. Mint azt alapvető műszaki ismereteinkből tudjuk, a hengertérbe beszívott üzemanyag-levegő keveréket a gyújtás bekövetkezése előtt a dugattyú összenyomja. Az így összenyomott, tehát megnövekedett nyomású robbanóképes elegy gyorsabban ég el, mint egy hasonló összetételű,

de atmoszferikus nyomású gázelegy. Tehát a nagyobb nyomású éghető gázelegy hevesebb, intenzívebb robbanásra képes. Az égés során a nyomás jelentősen megemelkedik, s ez a megnövekedett nyomás mozdítja el a dugattyút.

A gázok robbanásszerű égése is hasonlóképpen megy végbe. Mint minden égéshez, úgy a gázok égéséhez is az éghető anyag (jelen esetben éghető gáz), oxigén és gyújtóforrás egy helyen és egy időben való jelenléte szükséges. A gyújtóforrás lehet nyílt láng, mechanikus, elektromos vagy elektrosztatikus szikra, illetve a gáz gyulladási hőmérsékletét meghaladó hőmérséklet. A megfelelően elkeveredett, az alsó és felső robbanási határértékek közötti koncentrációjú gázelegyben a gyújtóforrás hatására a közelében lévő gázmolekula a mellette lévő oxigénmolekulával kémiai reakcióban egyesül, vagyis a gázkeverék meggyullad. Az égés során hő szabadul fel, ennek hatására a gázkeverék felmelegszik és kitérül, a környező gázzréteget pedig kissé összenyomja. Ebben az összenyomott gázzrétegben a megnövekedett nyomás miatt az égés már valamivel intenzívebben, gyorsabban megy végbe. Ez az egyre gyorsuló láncreakció mindaddig folytatódik, amíg a lángfront el nem éri a gázfelhő szélét. Attól függően, hogy az égés végsebessége milyen értéket ért el, deflagrációról vagy detonációról beszélünk.

A kétféle égési sebesség meghatározása az MSZ EN 1127-1 szabvány⁷ szerint:

- *deflagráció*: hangsebesség alatti sebességgel terjedő robbanás (ISO 8421-1, 1987-03-01; 1.11.).

- *detonáció*: hangsebesség feletti sebességgel terjedő robbanás, amit lökéshullám jellemez (ISO 8421-1, 1987-03-01; 1.12.).

Mindkét fajta égésnél jelentős hőhatással kell számolnunk. A mechanikai romboló hatás a deflagrációnál viszonylag kisebb, a detonációnál viszont általában jelentős károkat okoz.

Az égés sebességét befolyásolhatja a robbanóképes gázelegy összetevőinek minősége és aránya. Egy robbanóképes térfogat-százalékú gázelegy ideális esetben csak éghető gázt és oxigént tartalmaz. Az égési reakció ebben az esetben a legtökéletesebb, illetve leggyorsabb. A gázelegy összetevőinek a tökéletes égéshez szükséges ideális arányát *sztoichiometrikus* aránynak nevezzük. A valóságban ilyen ideális arány csak mesterséges körülmények között fordul elő, amikor az éghető gáz pl. tiszta oxigénnel keveredve ég el. Ismét a lánghegesztésnél alkalmazott gázkeveréket lehet felhozni példának. Az ipari gázok szabadba jutása során a gáz a levegővel keveredve hoz létre robbanóképes elegyet. Ebben az elegyben a levegő oxigénjén kívül egyéb gázok (elsősorban nitrogén), továbbá por, vízpára stb. is találhatóak. Ezeknek az előfordulási aránya nagyban befolyásolja az égés létrejöttének és sebességének alakulását. A gyakorlatban a robbanás megakadályozására, illetve pusztító hatásának csökkentésére a vízgőzt és a finom eloszlású aerosolként lebegő vízcseppeket használjuk.

Az égési végsebesség alakulása, ill. ennek eredményeképpen a robbanás pusztító hatása a robbanóképes gázfelhő kiterjedésétől is függ. Egy kisméretű gázfelhő még azelőtt eléghet, hogy a benne elinduló és egyre gyorsuló égés elérné a hangsebességet. Egy nagy kiterjedésű gázfelhőben viszont az égés hangsebesség fölé is gyorsulhat.

⁷ MSZ EN 1127-1 Robbanóképes közegek. Robbanásmegelőzés és robbanásvédelem

A gázfelhő-robbanások vizsgálatának tapasztalatai megállapították, hogy 100 m-t meg nem haladó átmérőjű gázfelhőben még egyetlenegy ismert esetben sem alakult ki detonáció. A gázfelhő méretének növekedésével a detonáció bekövetkezésének valószínűsége is egyre növekszik. Ebben persze az égési végsebesség lehetséges növekedésén túl több tényező is szerepet játszik – pl. az is, hogy nagyobb gázfelhők rendszerint intenzívebb gázömlések eredményeként jönnek létre, ahol a nagy sebességű kifúvás miatt már a sztatikus feltöltődés miatti öngyulladás veszélye is lényegesen nagyobb.

Befolyásolhatja a robbanási hullám sebességét és végső soron a pusztító hatását a robbanás helyszínének geometriája is. Ha az egyre gyorsulva haladó lángfront – és egyben nyomáshullám – valamilyen tereptárgynak, pl. falnak ütközik, akkor a falról visszaverődve egy, az előzővel azonos nagyságú nyomáshullám indul el az ellenkező irányban. Az egymással szemben haladó két nyomáshullám nyomása összeadódik, így az égés hirtelen felgyorsulva deflagrációból pusztító erejű detonációvá válhat.

Attól függően, hogy a robbanás zárt térben vagy szabad téren következik be, megkülönböztünk VCE és UVCE típusú robbanásokat.

- **VCE** (Vapour Cloud Explosion): zárt térben lévő gőzfelhő robbanása
- **UVCE** (Unconfined Vapour Cloud Explosion): nem határolt gőzfelhő robbanása, más szóval *térrobbanás*.

A zárttéri robbanások jellemzően detonációt eredményeznek, míg a térrobbanások esetében deflagráció vagy detonáció egyaránt előfordulhat. A petrolkémia területén az utóbbi évtizedekben a technológiai berendezéseket szinte kizárólag szabadtéri kivitelben építik meg, így elvileg a térrobbanások bekövetkezésének lenne nagyobb esélye. Az utóbbi évek egyetlen jelentősebb – két halálos áldozatot követelő – hazai ipari robbanása mégis zárt térben, egy kemence tűzterében keletkezett.

A szabadba kikerült nagy mennyiségű éghető gáz kezdetben olyan felhőt alkot, amelynek belsejében a gáz koncentrációja közel 100 %-os. A FRH alatti koncentrációjú, tehát éghető gázelegy csak a felhő külső határfelületén alakul ki. Ha a gázfelhő valamely gyújtóforrás hatására meggyullad, akkor az égés kezdeti fázisában a külső, ARH fölötti zóna deflagráció gyorsaságú égéssel ellobban. A felmelegedett égéstermék hirtelen felszáll (tűzgömb-jelenség, lásd 17. kép), ugyanakkor az elégett gáz helyére oldalról levegő áramlik be. A kialakuló turbulens áramlás hatására a nagyobb koncentrációjú éghető gáz összekeveredik a levegővel, FRH alá hígul, és az így kialakult gázfelhő a korábban ismertetett feltételeknek megfelelően, deflagráció vagy detonáció sebességű égéssel robban fel.

A gázfelhő-robbanások kísérőjelensége a *tűzgömb* vagy angol kifejezéssel *fireball*. A gázfelhő égése során kialakuló tűzgömb rövid ideig tartó intenzív hősugárzást kelt, ami a környezetben égési sérüléseket és gyújtásveszélyt okoz.



17. kép. Tűzgömb (fireball)

(Forrás: www.unizar.es)

A feyzini katasztrófa összetettsége miatt nagyon jó példa a különböző típusú robbanások és tüzek bemutatására. A kiáramló cseppfolyós gáz elpárolgása nyomán kialakult és az autópályánál meggyulladt gázfelhő égése egy nem határolt terű ellobbanásnak (UVCE) minősült. A kialakult fáklyatűz addig melegítette a cseppfolyós propánt tartalmazó tartályt, míg a forrásban lévő folyadék gőznyomásának hatására a tartály darabokra szakadt, azaz fizikai robbanás, BLEVE következett be. Ezzel szinte egyidőben a forrásban lévő cseppfolyós propán nagy része pillanatok alatt elpárolgott és a levegővel elkeveredve térrobbanást (UVCE) idézett elő. A megmaradt cseppfolyós gáz tócsatűz (pool-fire) formájában égett tovább.

Áttekintettük tehát a cseppfolyós gázokra legjellemzőbb robbanástípusok jellemzőit, megismertük lefolyásukat. Hogy egy súlyos veszélyhelyzet kialakuljon és valamelyik robbanástípus bekövetkezzon, ahhoz általában egyszerre több, egymástól független vagy éppen egymásból következő hibának, hiányosságnak kell felmerülnie. Ezeket a hibákat általában már a létesítés folyamán, a biztonsági rendszabályok és a korszerű technikai megoldások alkalmazásával megelőzhetjük.

Arról, hogy a tűzoltó mit tehet, ha egy gázfelhő mégis a szabadba kerül, a 2.3. alfejezetben lesz szó.

2. 2. GÁZTÜZEK

A gázok folyamatos égésének két formája ismert: a *tócsatűz* és a *fáklyaszerű égés*. Mindkettő a diffúz égés kategóriájába tartozik, az éghető gázok, gőzök az égési zónában keverednek a levegővel. Az időben tartósabb, hosszabb lefolyású égés mellett a jelentős hőhatás jellemző ezekre a tűzformákra. Lokalizálásuknál elsődleges szempont a környezetnek a kontakt hőhatástól és a sugárzó hőtől való védelme, valamint a tűz továbbterjedésének megakadályozása.

2.2.1. Cseppfolyós gáztócsa-tűz (pool-fire)

A mélyhűtött cseppfolyós gáztócsa kialakulása és meggyulladásá nyomán létrejövő tűzforma (18. kép). Amint azt korábban már ismertettük, nagy mennyiségű gáz hirtelen szabadba kerülése és több feltétel egyidejű fennállása esetén mélyhűtött folyékony gáztócsa alakul ki. Leggyakrabban tartályfelhasadás, BLEVE robbanás nyomán alakul ki. A mélyhűtött gáztócsa hőmérséklete megegyezik a gáz atmoszférikus nyomáshoz tartozó forráspontjával (pl. etilén: -104°C ; propilén: -48°C ; propán: -42°C ; bután: -12°C).⁸ A környezetből (a talajból és a tócsa felett égő lángzónából) bevitt hő hatására a folyadék folyamatosan forrásban van, mindaddig, amíg teljes egészében el nem párolog.

A cseppfolyós gáztócsa begyulladását kiválthatja nyílt láng, elektromos, elektrosztatikus vagy mechanikus szikra, de akár egy forró felület is. Égése a folyadékok égésével megegyezik, tehát valójában nem a folyadékfázis ég, hanem a folyadékfázisból hő hatására felszabaduló, elpárolgó gázfázis égése megy végbe a levegő oxigénjének segítségével. A mélyhűtött cseppfolyós gáztócsa esetében a folyadék párolgása, vagyis a gázképződés intenzívebb, az égés hevesebb, mint ahogy azt a tűzveszélyes folyadékoknál megszoktuk, hiszen a folyadék állandóan forrásban van.

A cseppfolyós gáztócsa folyékony tulajdonságaiból adódóan az alacsonyabban fekvő területek felé terjed. Ennek figyelembevételével kell megtervezni a technológiai gáztároló terek kialakítását. A feyzini katasztrófa során a sorozatos tartályrobbanások azért következtek be, mert az égő cseppfolyós gáz befolyt a szomszédos tartályok alá. Ez elkerülhető lett volna olyan felfogótér, ill. csatornarendszer kiépítésével, amely a kifolyt cseppfolyós gázt a tartályoktól biztonságos távolságra fekvő kármentő területre vezeti.



18. kép. Tócsatűz (pool-fire)

Beavatkozás, veszélyelhárítás

A cseppfolyós gáztócsa-tűzek felszámolására irányuló tűzoltói beavatkozás hasonló az egyéb folyékony szénhidrogén-tűzek elleni védekezéshez. Elsődleges és legfontosabb feladat a környezet védelme a jelentős hőhatással szemben, a tűzterjedés megakadályozása és a másodlagos robbanások elkerülése érdekében. A környező technológiai berendezések, készülékek, tartályok hűtésére – ha vannak – be kell üzemelni a beépített palásthűtő berendezéseket. Ezek hiányában hűtősugarakat kell bevetni. Ha az lehetséges, a kézi sugarak helyett a talajra telepített vízágyúkat kell alkalmazni, hogy a közvetlen veszélyzónából a tűzoltókat vissza lehessen vonni.

⁸ MSZ 379-82 MUNKAVÉDELEM. Tűz- és robbanásveszélyes vegyi anyagok jellemzői

A feyzini katasztrófa bekövetkezésének egyik oka az volt, hogy a helyszínen lévő tűzoltók elmulasztották a gázfáklya által fűtött gömbtartály hűtését, arra hivatkozva, hogy a hűtés veszélyes feszültséget okozhat a tartálypalást anyagában. Ugyanakkor figyelmen kívül hagyták azt a jóval nagyobb feszültséget, amelyet a tartályban a hűtés elmaradása miatt egyre növekvő nyomás okozott, s amely végül a tartály felrobbanásához vezetett. A tartálypalást anyagában a hűtés már csak azért sem okozhatott volna különösebb feszültséget, mert annak hőmérséklete a kívül égő fáklya és a belül elhelyezkedő folyadék hőmérséklete között volt – valahol félúton. A hűtésre elsősorban nem is az acél szilárdságának megőrzése, hanem a nyomás csökkentése érdekében lett volna szükség. A hűtés elmaradt, a nyomás nőtt, a következmények ismertek...

A petrokkémia területére jellemző tárolt anyagmennyiségekből következően általában nagy mennyiségű cseppfolyós gáz szabadba kerülésével, azaz a környezetre ható intenzív hőterheléssel kell számolni. Ennek megfelelően a nagyteljesítményű, változtatható sugárképű, a technológiai területre épített ill. telepíthető vízágyúk alkalmazása kerül előtérbe. A nagy teljesítmény és változtatható sugárkép fontos tényező a megfelelő hűtési intenzitás elérése érdekében. A beépített kivitel a gyors bevetethőség tekintetében előnyös. A telepíthető mobil ágyúk pedig a gépjárművel nehezen megközelíthető helyeken alkalmazható eredményesen, a hűtősugarak célszerűbb elhelyezése és így a hűtés hatékonyságának növelése érdekében. További előnyük, hogy telepítésük után a beavatkozó egységeket kivonhatjuk a veszélyeztetett zónából, csökkentve a személyi sérülés lehetőségének kockázatát.

A felsorolt tulajdonságokat egyesítik magukban pl. a Vektor/Crossfire vízágyúk, melyeket az Egyesült Államok-beli TFT cég gyárt.⁹

Az égő cseppfolyós gáztócsát általában nem szabad eloltani (nehogy robbanásveszélyes gázfelhő keletkezzen), inkább hagyni kell a környezet megfelelő védelme mellett elégni. Amennyiben azonban a tűz a környező technológiai egységeket közvetlenül veszélyezteti és a környezet hűtése a kellő mértékben nem oldható meg, úgy a tüzet szintetikus középhasz alkalmazásával el kell oltani. Ebben az esetben fel kell készülni az oltást követő párolgásra és gázfelhő-képződésre. A szélirány és a várható gázfelhő-terjedés figyelembevételével előre készenlétbe kell helyezni a telepíthető vízpajzsokat és vízágyúkat. A cseppfolyós gáztócsa-tűzek hőszugárzása az erősebb párolgás miatt intenzívebb, mint a megszokott szénhidrogén-tűzeké. Ugyanakkor ezt az erősen sugárzó lángzónát a középhasz-sugarakkal közvetlenül meg kell közelíteni. Ezért a gáztócsa-tűzek oltását a különösen nagy hőterhelés miatt nehéz hővédő ruhában kell végrehajtani.

2.2.2. Fáklyatűz

Éghető gáz szabadba kerülése során, a kilépés helyénél kialakuló jellegzetes tűzforma. Intenzív, magas hőmérsékletű égés jellemzi, mely a kifűvés körülményeitől függően változhat. A szabadba lépő gáz lamináris kiáramlás esetén lassabban keveredik a levegővel, az égés intenzitása, hőmérséklete mérsékeltebb. Turbulens kiáramlásnál a gáz intenzívebben keveredik a levegővel, így az égés magasabb hőfokot eredményez. Az összehasonlítás végett egy példa¹⁰:

⁹ Az ágyúkról további részletes információk találhatóak a www.tft.com weboldalon.

¹⁰ Paule Ervin: *Gázbalesetek, gáztűzek típusai, tulajdonságai.* (előadás) -Szimpózium a MOL csoport tűzoltóságának együttműködéséről. Százhalombatta, 2005.

égő propángáz-levegő elegy lánghőmérséklete:

- lamináris kiáramlásnál: 1600 °C
- turbulens kiáramlásnál: 2000 °C

A fáklyatűz sokszor gázfelhő-robbanások, ellobbanások nyomán alakul ki, de előfordulhat, hogy a szabadba került gáz szinte azonnal, még egy jelentősebb gázfelhő kialakulása előtt meggyullad. Különböző kiáramlású fáklyatűzeket mutatnak be a 19-20. képek.



19. kép

(Forrás: www.gassonic.com)



20. kép

(Forrás: www.spadeadam.biz)

A felvételeken jól látszik az égő gázfáklya kialakulása. A 19. képen egy lamináris jellegű gázkifúvás látható. A kiáramlás helyének közelében a tömény, FRH fölötti koncentrációjú zóna égésképtelen, míg a kifúvástól kissé távolabb az ARH és FRH közötti koncentrációra hígult gáz szinte tökéletesen ég el. (A még nem égő gáz sugár fehér, az égő fáklya pedig sárgás színű). A 20. kép egy turbulens jellegű gázkifúvást mutat be, ahol az égési zóna szinte a kifúvás helyénél kezdődik. A fáklya végén a kormozó láng arra utal, hogy az égés tökéletlen, mert a gázfáklyában nem áll rendelkezésre az égéshez elméletileg szükséges teljes oxigénmennyiség.

Beavatkozás, veszélyelhárítás

A gáztócsa-tűzekhez hasonlóan, fáklyatűz esetén is elsődleges tennivaló a környezet megfelelő hűtése, védelme a magas hőterheléssel szemben. (lásd 21. kép)

Ha az égő fáklya nem jelent potenciális veszélyt a környezetére, akkor nem szabad eloltani mindaddig, amíg az éghető gáz utánpótlását meg nem szüntettük, nehogy robbanásveszélyes gázfelhő alakuljon ki. Az ilyen fáklyatűz ellenőrzés (hűtés) mellett hagyni kell kiégni. A fáklyatűz utánpótlásának megszüntetése technológiai rendszer vagy csővezeték esetén kiszakaszolással, cseppfolyós gáztároló tartály esetén pedig a folyadékfázis más tartályba való átfertésével történhet. Az átfertésre megfelelően kialakított, robbanásbiztos szivattyúkat és

eszközöket kell alkalmazni. Amennyiben a rendszer kiépítettsége lehetővé teszi, a kiszakaszo-
lás után nitrogéngáz-betáplálást is biztosítani kell. Megfelelő nyomású nitrogéngáz beadago-
lása esetén a készülék, tartály belsejében lévő gázkeverék koncentrációját az ARH alá csök-
kenthetjük (a vegyiparban szokásos kifejezéssel a tartályt inertizálhatjuk), így a fáklya önma-
gától kialudhat. A gáz utánpótlásának elzárása folytán bekövetkező nyomásesés hatására a
fáklya mérete fokozatosan csökkenni fog. A fáklyát akkor kell eloltani, amikor a fáklya hosz-
szúsága kb. 0,5 – 1 m közé csökken. Ilyenkor a fáklya már kevésbé sugároz, ezért viszonylag
jól megközelíthető, és szerencsés esetben akár egy kézi porraloltó készülékkel is eloltható.
Nem szabad hagyni magától elaludni a fáklyát, mivel a tartályban, technológiai berendezés-
ben a fáklya hősugárzásától korábban erősen felmelegedett gáz gyorsan lehűl, s az így kiala-
kuló vákuum beszippanthatja a lángot, ami zárttéri robbanáshoz (VCE) vezethet.

Amennyiben az égő gázfáklya valamilyen technológiai részt, készüléket, berendezést stb.
közvetlenül veszélyeztet, akkor a lehető leghamarabb meg kell szüntetnünk az égést, a továb-
bi, esetlegesen kialakuló veszélyhelyzetek megakadályozása érdekében. Ezt azonban csak
indokolt esetben szabad megtenni, mivel az oltás utáni gázfelhő-képződés egy jóval veszélye-
sebb, nehezebben ellenőrizhető helyzetet idézhet elő. Az oltást megelőzően minden esetben
fel kell készülni a fáklya eloltása után kialakuló gázfelhő felhígítására, a robbanásveszélyes
helyzet megszüntetésére. A gázoszlásra alkalmas beépített és telepíthető eszközöket előzetes-
en készenléthe kell helyezni.

A láng eloltására lehetőség szerint BC oltóport kell használni, mert azt speciálisan erre a
feladatra fejlesztették ki, míg az univerzális ABC porok elsősorban a szilárd anyagok tüzeinek
oltásában jeleskednek, a gáztüzeknél viszont valamivel kevésbé hatékonyak. A porsugarat a
kilépés helyére, lehetőség szerint a sérült tartály (készülék stb.) felületére kell irányítani. Így
elérhetjük, hogy a legnagyobb porkoncentráció éppen ott alakuljon ki, ahol a gázsugár elhagy-
ja a sérült tartályt. A sugár irányának megválasztásánál vegyük figyelembe a szélirányt is –
kívánatos, hogy a szél a sugárral azonos irányban, de semmiképpen sem azzal szembe fújjon.
Az oltás eredményessége az égési zónában kialakuló porkoncentrációtól, nem pedig a porfel-
hő nagyságától függ. Eredményes oltás akkor várható, ha a lángzóna 1 köbméterére számítva
legalább 2 kg/s porintenzitást tudunk biztosítani. Általában elegendő, ha a számításnál csak a
fáklya első 1 méternyi szakaszát vesszük figyelembe – ennek eloltása már elegendő a láng
leszakadásához. Ha a szükséges porintenzitást létre tudjuk hozni, akkor a láng rendkívül gyor-
san – a másodperc törtrésze alatt – kialszik. Felesleges tehát a port hosszú ideig löni, hiszen
azzal csak a terepet tesszük átláthatatlanná, és megfosztjuk magunkat attól a tartaléktól,
amelyre visszagyulladás esetén még nagy szükségünk lehetne. A fáklya méretétől és intenzi-
tásától függően az oltásra különböző méretű kézi porraloltó készülékek vagy járműbe épített
porraloltó berendezések, ill. különböző teljesítményű porpisztolyok, porágyúk is igénybe ve-
hetők. A teljesítményskála az 1 kg/s-tól a 60 kg/s-ig, a lőtávolság az 5 m-től a 70 m-ig terjed.

Míg a fáklya oltását porsugárral végezzük, a visszagyulladást porlasztott vízsugárral, a
fáklya környezetének intenzív hűtésével akadályozhatjuk meg. A hűtést már a porsugár beve-
tése előtt is alkalmazzuk, a sérült készülék további károsodásának, felrobbanásának megaka-
dályozása érdekében. A porsugár bevetésének pillanatában célszerű a hűtést átmenetileg szü-
neteltetni, a hűtősugarakat elfordítani vagy elzárni. A porkilövés befejeztével, néhány másod-
percnyi szünet után a hűtést folytatni kell a készülék teljes lehűléséig (a készülék lehűlését
hőkamerával vagy távhőmérővel is ellenőrizhetjük).

A kétféle oltóanyag egyidejű használatával végzett tűzoltást kombinált oltásnak nevezzük.



21. kép. A környezet intenzív hűtése fáklyatűz esetén

(Forrás: www.fireworld.com)

2.3. GÁZTÓCSA ÉS GÁZFELHŐ - A ROBBANÁSVESZÉLY KIALAKULÁSA, SAJÁTOSSÁGAI ÉS ELHÁRÍTÁSA

A szabadba kerülő gázok által okozott veszélyhelyzetek legnehezebben kezelhető, de leggyakrabban előforduló típusa a robbanóképes gázfelhő. Mint az előző alfejezetekben tárgyalt veszélyhelyzetek elemzése során megtudhattuk, gázfelhő kialakulásával szinte mindegyik esetben számolnunk kell. A robbanóképes gázfelhő meggyulladására vezet az UVCE típusú térrobbanás bekövetkezéséhez.

2.3.1. Cseppfolyósgáz-tócsa

Ha a kiömlött nagy mennyiségű, nyomás alatt cseppfolyósított gáz a szabadba kerülés után azonnal nem gyullad meg, akkor nagyobb része elpárolog, kisebb része pedig a párolgás okozta hőelvonás következtében erősen lehűlt, más szóval mélyhűtött tócsaként maradhat meg. Az elpárolgó gáz mennyisége az adott cseppfolyós gáz forrásponti hőmérsékletének és a környezeti levegő hőmérsékletének különbségéből határozható meg hozzávetőlegesen. A hőmérséklet-különbség adja azt a százalékos mennyiséget, amely a szabadba kerülés pillanatában elpárolog, gázneművé válik.

Példaszámítás:¹¹

Cseppfolyós propán kerül a szabadba. A propán forrpointi hőmérséklete: - 42 °C.
 A levegő hőmérséklete: 20 °C.
 Hőmérsékletkülönbség: 58 °C.

Kb. 60 %-a válik azonnal gázfelhővé, 40 % marad meg tócsaként.

A fenti példa szerint cseppfolyós etilén 0 °C feletti külső hőmérséklet esetén elvileg nem kerülhet cseppfolyós állapotban a szabadba, mivel az etilén forrpointja és a külső hőmérséklet közötti különbség több, mint 100 °C. Hirtelen nagy mennyiségű cseppfolyós etilén szabadba kerülése során azonban a nagy mennyiségű gáz elpárolgása akkora hőelvonással járhat, hogy kialakulhat a cseppfolyós tócsa. A szabadba kerülő etilén többnyire igen alacsony hőmérsékletű ködként kerül szét a talajszinten. Tulajdonságai hasonlóak a cseppfolyós halmazállapotéhoz, de sűrűsége, tehetetlensége kisebb, a légáramlatok jobban befolyásolják terjedését.

Cseppfolyós gáztócsa nem csak a nyomás alatt cseppfolyósított gázok szabadba kerülése nyomáson, hanem mélyhűtéssel cseppfolyósított gázt tartalmazó tartály, szállítóedény stb. sérülése esetén is kialakulhat. A végeredmény azonban ugyanaz: mélyhűtött cseppfolyós gáztócsa marad a helyszínen.

A cseppfolyós halmazállapotú gáz más folyadékokhoz hasonlóan az alacsonyabban fekvő területek felé terjed. A cseppfolyós gáztároló terek, tartályok környezete ennek megfelelően, védőgödörrel, kármentő csatornákkal van kialakítva.

Beavatkozás, veszélyelhárítás

A folyadékfázisú gáztócsa elleni védekezésnél elsődleges teendő a terjedés megakadályozása. Amennyiben a cseppfolyós gáz kármentővel, felfogótérrel el nem látott területen kerül a szabadba, úgy a továbbterjedése, elfolyása ellen az alacsonyabban fekvő területek földszáncal történő elszeparálásával, a csatornaszemek lefedésével védekezhetünk.

A kiömlött gáztócsa párolgását a környezetből elvont hőmennyiség okozza. A gáztócsát alulról a talaj, felülről a levegő, illetve a napsugárzás melegíti. A talaj felől történő hőbevitelt megakadályozni sajnos semmiképp nem áll módunkban. A levegővel való érintkezést, a napsugárzás okozta fűtést azonban hőszigetelés alkalmazásával megakadályozhatjuk, csökkenthetjük. Hőszigetelés kialakítására a legjobb – és a tűzoltóknál rendszerint kéznél levő – eszköz a habtakaró alkalmazása. Ez azonban kétélű fegyver. Ha nehézhabot alkalmazunk, abból 15 – 20 perc alatt a benne lévő habképzőanyag-oldat fele kiválik (lásd: félvíz kiválási idő!). A víz fajhője azonban magas, sőt, a természetben ismert anyagok közül a legmagasabb. A tűzcsapból nyert víz hőmérséklete kb. 12 – 14 °C, egy mélyhűtött propán-tócsáé viszont -42 °C. A nehézhabból kivált víz minden literje (kilogrammja) 1°C-nyi lehűlés közben 1 kcal, azaz 4,1868 kJoule hőmennyiséget ad át a cseppfolyós gáznak. Miközben tehát a habból kivált víz +12 °C-ról a gáztócsa hőfokára, azaz -42 °C-ra hűl, eközben 54 fokkal csökken a hőmérséklete, vagyis

$$54 \times 4,1868 = 226 \text{ kJoule}$$

¹¹ Paule Ervin: *Gázbalesetek, gáztüzek típusai, tulajdonságai.* (előadás) -Szimpózium a MOL csoport tűzoltóságának együttműködéséről. Százhalombatta, 2005.

hőmennyiséggel segíti elő a cseppfolyós gáz párolgását. És akkor még nem vettük figyelembe a kivált víz megfagyása, vagyis a halmazállapot-változás közben felszabaduló úgynevezett rejtett hőt, ami az előzőekben számítottak hozzávetőleg a háromszorosa! Mindent összevetve, nehézhaz alkalmazása esetén könnyen abba a hibába eshetünk, hogy hőszigetelés ürügyén több hőt viszünk be a hidegen megőrizni kívánt gáztócsába, mint amennyivel a legerősebb napsugárzás melegíthette volna.

Az elmondottakból következik, hogy sokkal jobb eredményt érhetnénk el az alacsony víztartalmú *könnyűhab*, mint hőszigetelés alkalmazásával. Ez esetben azonban problémát jelent, hogy a könnyűhab *túl könnyű*, s szabadtéri alkalmazását lehetetlenné teszi, hogy már viszonylag gyenge szellő is képes a habtakarót felszaggatni, magával sodorni. Ezért kompromisszumos megoldásként csak a *középhab* való letakarást alkalmazhatjuk, azt is csak annak állandó szem előtt tartásával, hogy a lehető legkevesebb, s a lehető legnagyobb kiadósságú hab alkalmazására kerüljön sor. (Középhabnak a 20 – 200 közötti kiadósságú habokat nevezzük. Ezen belül a széles körben elterjedt kézi habszíták 50 – 75 közötti kiadósságú habot állítanak elő. Ismertek azonban olyan eszközök is, amelyek 150 körüli kiadósságú középhabot képesek előállítani. Aki a gáztócsa letakarására jóelőre és tudatosan készül, pl. mert cseppfolyós gáztartályok védelmét látja el, annak célszerű ilyen nagyobb kiadósságú eszközöket még időben beszereznie és készenlében tartania.)

Széles körben elterjedt tévhit, hogy a mélyhűtött gáztócsa felületére juttatott habból kiváló víz a gáztócsa felszínén megfagyva összefüggő jégréteget képez, és a párolgást ezáltal, mint egy mechanikai záró réteg, akadályozza. Sajnos, ezt a tévhitet el kell oszlatnunk. A habból kiváló csekély mennyiségű víz a cseppfolyós gáz igen alacsony hőmérsékletén rendkívül gyorsan hűl le, s eközben nem összefüggő jégréteggé, hanem a hópehelyhez hasonló jégkristályokká fagy meg. (Aki látott már hőszigetelés nélküli, mélyhűtött gázt tartalmazó vezetékot, az tudja, hogy az ilyen cső felszíne nem egyszerűen *jegesedik*, hanem *deresedik*, vagyis nem *jégkéreg*, hanem *jégkristályok* képződnek rajta.) A képződő jég sűrűsége kb. $0,9 \text{ kg/dm}^3$; ezért van az, hogy a jéghegy ugyan úszik a tengerben, de csak a csúcsa látszik ki a vízből. Az iparban elterjedten használt cseppfolyós gázok sűrűsége azonban – a víz 1 kg/dm^3 -es sűrűségével szemben – csak $0,5 \text{ kg/dm}^3$ körül van, abban tehát a képződő jég nemhogy nem úszik, de azonnal elsüllyed! A jégkristályok így nem a gáztócsa felszínén, hanem annak alján gyűlnek össze. De még ha nem így lenne, s a jégkristályok a tócsa felszínén úsznának, akkor sem alkotnának összefüggő jégkéregot. Nem szabad ugyanis megfélekednünk arról, hogy a szabadba került, mélyhűtött gáztócsa *állandó forrásban van*, ezért annak felszínén folyamatosan gázbuborékok jelennek meg. Mindenki látott már tányérba kimert húslevest, amelynek felszínén a zsír vékony, de összefüggő réteget alkot. De vajon láthatunk-e ilyen összefüggő réteget a fazékban, a forrásban lévő leves felületén?

A cseppfolyós gáztócsa párolgását egy jól kialakított habtakaróval mérsékelni tudjuk ugyan, de teljesen megakadályozni nem vagyunk képesek. Az így képződő gázfázis a tócsa közelében kisebb-nagyobb felhőt alkot. Ennek a gázfelhőnek a hígításáról, körülhatárolásáról a következő alfejezetben ejtünk szót. Most csak annyit szükséges feltétlenül megjegyezni, hogy a gázfelhő oszlatására alkalmas eszközök vízzel működnek. Ezeket az eszközöket úgy kell telepíteni, hogy a felhasznált víz véletlenül se kerülhessen a gáztócsába, nehogy annak fokozott párolgását okozza.

2.3.2. A gázfelhő

Gázfelhő nem csak a cseppfolyós gáztócsa párolgása, hanem a gázfázis hosszabb ideig tartó, folyamatos szabadba áramlása során is kialakulhat. A kiáramlás intenzitása és mérete alapján különböző fokozatokat különböztethetünk meg. Mivel a szakirodalmakban erre vonatkozóan nem találtam pontos adatokat, ezért szükségét éreztem hozzávetőleges értékekkel behatárolt fokozatok, kategóriák meghatározásának. Erre többek között azért van szükség, hogy a káresetekkel kapcsolatos visszajelzésekben, esetleírásokban pontosabban le tudjuk írni a veszélyhelyzet nagyságát.

A kategóriák felállítása az időegység alatt szabadba került gáz mennyiségén alapul. A szakirodalmakban találok a térfogatáram és tömegáram fogalmával, amelynek a mérésére m^3/h , ill. a kg/s mértékegységeket használtak. Én ezektől eltérően a kg/min mértékegységet alkalmazom. Az időegység percben való meghatározását az indokolja, hogy a veszélyhelyzet elhárítás részmozzanatai (észlelés, riasztás, vonulás, felderítés, beavatkozás stb.) között eltelt időt a szükséges pontossággal percben mérni a legcélszerűbb. A mennyiség mérésére pedig azért választottam a tömeget, mert a gázok halmazállapot-változása során a térfogatuk megváltozik, de a tömegük állandó marad.

A különböző kategóriák felállítása szubjektív módon történt, de a kategorizálásnál mindig kell venni egy bizonyos viszonyítási alapot, amiből kiindulhatunk. A kiindulási alapot jelen esetben a cseppfolyós gáz tárolásának legszélesebb körben elterjedt módja és mennyisége, a 11 kg-os PB gázpalack szolgáltatása. A PB gázpalack alkalmazása során gyakran előfordulnak *gázszivárgások*, amelyek azonban csekély intenzitású, időben elhúzódó jelenségek. Ha azonban egy PB gázpalack (11 kg) egy percen belül leürül, akkor ott már *gázkifúvásról* beszélünk. Az ipari környezetben történt gázkiáramlások során, a kiáramlás ideje alatt szabadba került gáz mennyisége alapján a percenként több száz kg gáz szabadba kerülését már *gázömlésnek* nevezzük. Az előzményekben szereplő katasztrófa-leírások hozzávetőleges adatai alapján szükséges meghatározni egy olyan kategóriát, amelynél a kiáramlás intenzitásának mértéke olyan nagy, hogy az eredményes beavatkozás lehetősége szinte kizárt, a katasztrófa többnyire elkerülhetetlen.

Tehát a gázmennyiség időegységre vonatkoztatott kiáramlása alapján a következő intenzitási fokozatokat határozhatjuk meg:

• gázszivárgás:	0-10 kg/min
• gázkifúvás:	10-100 kg/min
• gázömlés:	100-1000 kg/min
• katasztrófális méretű gázömlés:	1000 < kg/min

Míg egy gázszivárgás esetén az ARH feletti koncentrációjú elegy csak a kilépés közvetlen közelében alakul ki, addig egy intenzív gázömlés során több száz m^2 kiterjedésű robbanóképes gázfelhő is létrejöhet.

A gázfelhő kialakulása esetén az egyik problémát a felhő terjedése jelenti. A gázfelhő terjedése, mozgása több összetevőtől függ. Mint alapvető ismereteinkből tudjuk, a gázok kitöltik a rendelkezésre álló teret, elvileg minden irányban egyformán terjednek. Ezt azonban nagyban befolyásolják a következő tényezők:

- a gáz fajsúlya
- a kifúvás helye, iránya
- a meteorológiai viszonyok
- a környező objektumok, tereptárgyak

Ezeknek a tényezőknek a különböző módon való egybeesése befolyásolhatja a gázfelhő terjedését, kialakulásának valószínűségét. A fenti felsorolás sorrendje nem véletlenszerű. Alapvetően abból kell kiindulnunk, hogy a szabadba lépő gáz a levegőnél könnyebb vagy nehezebb.

A levegőnél könnyebb gázok a fajsúlyukkal fordított arányú intenzitással fognak fölfelé emelkedni. A magasabb légrétegek felé áramló gázoknak effektíve kisebb esélyük van a robbanásra. Egy kültéri üzemből, tartályból kilépő gáz szinte akadálytalanul áramolhat fölfelé, folyamatosan keveredve a levegővel. Ezáltal a robbanóképes gázkeverék egyre hígul. Ebben a közegben az esetleges gyújtóforrások előfordulásának esélye is lényegesen kisebb.

A levegőnél nehezebb gázok lefelé süllyednek és a föld közelében párnyszerűen terülnek el. (Mivel a cseppfolyós ipari gázok nagy része ebbe a kategóriába tartozik, ezért a továbbiakban főként ezekkel foglalkozunk.) Ebben a zónában nagyobb a valószínűsége annak, hogy a terjedő gázfelhő gyújtóforrással találkozik, tehát ebből a szempontból a levegőnél nehezebb gázok nagyobb veszélyt jelentenek környezetükre. A levegőnél nehezebb gázfelhő követi a talaj egyenetlenségeit, az alacsonyabban fekvő területek felé áramlik, kitölti az árkokat, aknákat, talajszint alatti helyiségeket. A levegőnél könnyebb cseppfolyós gázok szabadba kerülése nyomán kialakuló hideg köd hasonlóan viselkedik, de a környezetből felvett hő hatására felmelegedve felfelé kezd áramlani.

A gázok a levegővel keveredve felhígulnak, ezért a gázkoncentráció alakulását a kilépés helye is befolyásolja. Pl. egy magasban lévő kifúvás esetén a levegőnél nehezebb gáz a talajszintig süllyedve áthalad az alatta elhelyezkedő tiszta levegőrétegen, ennek következtében a föld felszínét már bizonyos mértékig felhígulva éri el. A horizontális irányú terjedés során pedig tovább hígul, különösen akkor, ha a vízszintes irányú mozgását a szél is segíti.

A gázkiáramlás a fáklyatűzhez hasonlóan lehet lamináris vagy turbulens. Lamináris kiáramlás esetén a gáz kevésbé keveredik a levegővel, földközelpben marad. Az így kialakult gázfelhő jellemző égése a deflagráció, az ellobbanás.

Turbulens kiáramlás esetén a gáz jobban elkeveredik a levegővel, a gázfelhő nagyobb része alakul át robbanóképes eleggyé. Az ily módon elkeveredett gáz-levegő elegy meggyulladására esetén nagyobb valószínűséggel alakul ki detonáció. (UVCE)

Az aktuális meteorológiai viszonyok is meghatározóak lehetnek a gázfelhő terjedését illetően. Ebből a szempontból a legfontosabb meteorológiai összetevők:

- a szél sebessége, iránya
- a környezeti hőmérséklet
- a légköri stabilitás

Szélcsendes időben a gázfelhő az ún. „palacsinta-modell” szerint, tehát a kiömlés helyétől kiindulva sugárirányban, kör alakban terjed. A kör középpontjában, a kiömlés helyén a legmagasabb a gázkoncentráció, ami a kör széle felé haladva egyre csökken.

Amennyiben valamilyen irányú szél is fúj, a gázfelhő értelemszerűen a széllel megegyező irányban, egy parabolához hasonló alakban fog terjedni. A szélerősség növekedésével a parabola egyre nyújtottabb alakot vesz fel. Egy határértéknél erősebb szél esetén azonban a parabola rövidülni kezd, mert a viharos szél hatására a gáz már a kilépési hely közelében az ARH alá hígul.

A szélerősség és szélirány alapján meghatározható a gázfelhő mozgásának iránya és kiterjedésének várható határa. A szélerősséget a Beaufort-skála szerint, ill. m/s-ban is meghatározhat-

juk; az utóbbi módszer az elterjedtebb. A szélerősség ismerete azért fontos, mert a levegőnél nehezebb gáztömeg a tehetetlenségéből adódóan bizonyos mértékben a széllel szemben is képes terjedni. A határ kb. 2 m/s szélesebségnél van, e fölött széllel szembeni terjedésre nem kell számítani.

A szélirány meghatározására segítséget jelent a szélzsák. A szélzsák jelzése azonban nem minden esetben megbízható. Befolyásolhatják a környező objektumok által gerjesztett turbulens légáramlatok, a helyi hőmérsékleti viszonyok. A szélzsák elhelyezésénél erre figyelmet kell fordítani.

A petrolkémiai technológiák sajátosságaiból adódóan az üzemi blokkok között jelentős hőmérsékletkülönbség alakulhat ki. A különböző hőmérsékletű, azaz magasabb és alacsonyabb légnyomású területek között helyi légáramlatok is kialakulhatnak, befolyásolva az aktuális szélirányt. (Az Olefin-II veszélyhelyzet alkalmával a déli szélben észak felé terjedő gázfelhő áramlása – az üzem nyugati szélén fekvő hűtőtornyok alacsonyabb hőmérsékletű zónájának szívóhatására – északnyugati irányba módosult, részben megkerülve ezzel az északi oldalon fekvő kemencesort.)

A meteorológiai helyzet egyik meghatározó tényezője a légköri stabilitás. Ez a fogalom a talajmenti és a magasabb légrétegek közötti áramlási viszonyokat jelöli. Az alsó és felső légrétegek közötti áramlást a légrétegek közötti hőmérsékletkülönbség határozza meg. A talajközeli melegebb, magasabb nyomású levegő a magasabban fekvő, alacsonyabb hőmérsékletű és nyomású légrétegek felé áramlik. A napsugárzás hatására felmelegedett levegő feláramlását termikus-feláramlásnak nevezzük. A termikus tevékenység annál aktívabb, minél nagyobb a légrétegek közötti hőmérsékletkülönbség. A feláramló meleg levegő helyére hidegebb levegő áramlik, létrehozva ezzel egy, a termikus aktivitástól függő ciklikus légáramlást. A feláramló meleg levegő felszaggatja az összefüggő gázfelhőt, a légáramlatok pedig elkeverik a levegővel. Anticiklon esetén a beáramló magaslégköri meleg levegő miatt a hőmérsékletkülönbség lecsökken, a feláramlás mérséklődik. Kialakulhat egy viszonylag szélszemes talajmenti légpárna, ami elősegíti a gázfelhő vízszintes irányú terjedését, de gátolja a levegővel való keveredését. A levegő stabilitásának meghatározására a Pasquill-féle stabilitási index szolgál.

A meteorológiai helyzet befolyással lehet a gázfelhő égési sebességének alakulására. Anticiklon esetén a mérsékelt termikus aktivitás miatt kialakult talajközeli légpárna növeli a levegő szennyezettségét. A megszűnt feláramlások, vagyis a légcseré hiánya miatt a por, szmog, vízpára felhalmozódik az alacsonyan meghúzódó levegőrétegben. Ősszel és télen gyakran alakul ki ködös, párás levegő. Az ilyen talajközeli, poros, ködös levegőrétegben kialakuló gázfelhő éghetőségét számottevő mértékben csökkentik a levegőben található szennyeződések, ezáltal az esetlegesen meggyulladt gázfelhő égése mérsékelt sebességgel megy végbe. Fokozottabb termikus aktivitás esetén, általában hidegfront elvonulása után, a tiszta levegőben létrejövő gázfelhő égési sebessége nagyobb valószínűséggel éri el a detonációs sebességet.

A szabadba került gázfelhő terjedése és a levegővel való keveredése a felsorolt tényezőktől függően különböző mértékben veszélyeztetheti a környezetet. Ha a veszélyelhárítás szempontjából legkedvezőtlenebb helyzetet akarjuk modellezni, akkor azt többféleképpen, a befolyásoló tényezők különböző módon való egybevetése alapján tehetjük meg.

A gázfelhő terjedését elősegítő ideális feltételek:

- levegőnél nehezebb gáz lamináris kiáramlása
- talajközeli kiáramlás
- szélesend vagy gyenge (1-3 m/s) szélmozgás
- anticiklon, gyenge termikus tevékenység

A robbanóképes gázkoncentráció rövid idő alatt való kialakulását elősegítő ideális feltételek:

- levegőnél nehezebb gáz turbulens kiáramlása
- élénkebb (3-5 m/s) szélmozgás
- fokozott termikus tevékenység

A robbanóképes gázfelhő és gyújtóforrás találkozásának gyakorisága:¹²

„Annak ellenére, hogy azok a területek, ahol éghető gázokkal, folyadékokkal dolgozunk, RB-s területek, a berendezések (villanymotorok, kapcsolók, műszerek stb.) bizonylatoltan szikrammentesek, gyújtóforrás előfordulásával számolni kell. Lehetnek meghibásodott villamos készülékek, fegyelmetlen (engedély nélkül tűzveszélyes munkát végző, szabálytalanul műszálas ruhát viselő, vagy akár cigarettázó) dolgozók, különösen kiszámíthatatlanok az elektrosztatikus feltöltődés okozta szikrák. Ezek a bizonytalanságok nehezen vizsgálhatók, de az tény, hogy a tüzeket, robbanásokat okozó hibalánc döntő eleme a gyújtóforrás. A bizonytalanságra jellemző néhány megtörtént eset: a gázfelhő átvonult egy gázjelzőkkel védett területen anélkül, hogy a műszerek jelezték volna (mert a felhő elkerülte azokat) vagy pl. egy földgázfelhőt a kazán nyomóventillátora beszippantotta és erről csak úgy szereztek tudomást, hogy a kéményen egy nagy koromfelhő jött ki (mert a felhőben a FRH 100 %-ánál nagyobb volt a földgáz koncentrációja). Vannak vélemények, mely szerint ha elszabadul egy éghető anyagot tartalmazó gázfelhő, pár percen belül biztosan talál magának gyújtóforrást.”

A nagy nyomással szabadba áramló gázfelhő sok esetben képes önmagát felrobbantani, minden külső gyújtóforrás nélkül. Ez az elektrosztatikusan feltöltődött gázfelhő kisülése miatt következik be. A nagy nyomású kiáramlás miatt létrejövő súrlódás következtében a gázfelhő elektrosztatikusan töltődni kezd a kiáramlás közelében. A felhalmozódó feszültség nem képes kisülni, mivel a gázfelhő maga nem vezető, más szóval dielektrikum. Az egyre fokozódó töltöttségi állapot egyszer elér egy olyan szintet, amikor a feszültség áthúz valamilyen vezető (talaj, vasszerkezet stb.) felé. Ha az elektromos kisülés energiája eléri a gáz gyulladási energiáját, a gázfelhő meggyulladhat.

Az egyes gázok meggyulladásához szükséges minimális gyújtási energiákat és gyulladási hőmérsékleteket a 2. táblázat tartalmazza.

A petrokémiában nagy mennyiségben tárolt gázok gyulladásához szükséges energia	Gyulladási hőmérséklet
--	------------------------

¹² TVK Rt. Biztonsági jelentés, Tiszaújváros, 2002. szeptember 25.

- metán	0,28 mW	537 °C
- etán	0,25 mW	472 °C
- etilén	0,12 mW	490 °C
- propán	0,25 mW	450 °C
- propilén	0,26 mW	460 °C

2. Táblázat

(Forrás: MSZ 379-82. MUNKAVÉDELEM. Tűz- és robbanásveszélyes vegyi anyagok jellemzői)

A közvetlen környezetemben legalább két olyan eset ismert, amikor a nagy nyomással kiáramló gázsugár sztatikusan feltöltődött, és – az ott tartózkodó személyek szeme láttára – minden külső hatás nélkül meggyulladt. Ezek közül az egyik az Előzmények című fejezetben leírt gázkifűvés volt a muhi PB-tartálnál. A másik eset a TVK vasúti töltő-lefejtő állomásán történt. Egy vasúti tartálykocsit benzollal töltöttek fel. A kocsi zárt gázterében túlnyomás alakult ki. A dómfedél tömítése meghibásodott, s a hibás tömítésen keresztül benzolgőz kezdett a szabadba áramlani. Az örvénylő, nagy sebességű gőzsugár sztatikusan feltöltődött, s a síneken keresztül leföldelt tartálykocsi és a gőzfelhő között jelentős potenciálkülönbség alakult ki. Ennek eredményeként, a kocsi közelében tartózkodó vasutasok szeme láttára, a gőzsugár belobbant, és erősen kormozó lánggal égni kezdett. A tűzoltóságot riasztották ugyan, de a tüzet végül maguk a vasutasok – egy kézi porraloltó készülékkel – oltották el. Az eset arra enged következtetni, hogy a gázsugár feltöltődéséhez a kifűvésnek nem is kell különösebben intenzívnek lennie, a gyújtáshoz szükséges energia viszonylag csekély kifűvés esetén is felhalmozódhat.

A gázfelhő sajátosságaiból, valamint a gyújtóforrások előfordulási valószínűségéből és a gyújtáshoz szükséges viszonylag alacsony energiákból kiindulva megállapítható, hogy a petro-kémia területén a szabadba került robbanásveszélyes gáz esetén potenciális robbanásveszéllyel kell számolnunk. A robbanás megakadályozása, ill. a bekövetkező robbanás hatásainak csökkentése csak gyors és szakszerű beavatkozással érhető el.

Beavatkozás, veszélyelhárítás

A gázfelhő kialakulása során a veszélyhelyzet-elhárítás fő feladatait a következők jelentik:

- a gyújtóforrással való találkozás megakadályozása
- a gázfelhő sztatikus feltöltődésének megakadályozása
- a gázfelhő ARH alá történő felhígítása

A feladatok között nehéz sorrendiséget felállítani, a gyors beavatkozás miatt szinte egyidőben mindegyik feladat elvégzésére történik intézkedés. Mégis, talán a legelső és legfontosabb teendő, hogy a potenciális gyújtóforrások (kemencék, magas hőmérsékletű blokkok) elszeparálásával meg kell akadályozni a gázfelhő és a gyújtóforrás találkozását. A gyújtóforrásnak számító blokkok leválasztására szolgáló beépített víz- és gőzfüggönyöket a lehető leghamarabb be kell indítani. A gyakorlatban ezeket a feladatokat a helyszínen lévő üzemi kezelőknek kell elvégezniük, még a tűzoltók kiérkezése előtt.

A veszélyelhárítás kezdeti fázisában információt kell szerezni a szabadba került gáz fajtájáról, tulajdonságairól. Ennek alapján kell megtervezni a veszélyelhárítás műveleteit. Figyelembe kell venni az aktuális szélirányt, a kifűvés helyét, intenzitását. Az információkat közöl-

ni kell a veszélyelhárítást végzőkkel. A kapott adatokból következtetni lehet a gázfelhő valószínű terjedési irányára, kiterjedésére. A kifúvás helyszínét az aktuális szélirány figyelembevételével, lehetőség szerint szélirányból kell megközelíteni. A veszélyeztetett helyszínen a kárelhárítást a robbanásveszélyes környezetben való munkavégzés szabályai szerint kell végrehajtani. A gázfelhő méretére és terjedésére vonatkozóan gázkoncentráció-méréseket kell végezni (lehetőleg több helyen), és a kapott értékekből meghatározni a gázfelhő méretét, terjedési irányát. Ebben segítséget nyújthatnak a beépített gázérzékelő műszerek jelzései.

A gázfelhő sztatikus feltöltődését a lehető leghamarabb meg kell akadályozni, vagyis a gázfelhőt le kell földelnünk. Ehhez vízpermetet kell juttatnunk a gázfelhőbe, lehetőleg a kifúvás közelébe, hiszen a gáz áramlása, örvénylése ott a legintenzívebb, tehát elsősorban ott várható a jelentősebb potenciál-különbségek kialakulása, a gyújtóképes szikrák keletkezése. Kisülések a gázfelhőbe került vízcseppek és a sztatikusan feltöltődött gázmolekulák között is kialakulnak, de ezek az apró kisülések lényegesen kisebb energiájúak, mint ha egyetlen nagy kisülés történne, s ami a legfontosabb: a kis kisülések energiája alatta marad a gázfelhő meggyulladásához minimálisan szükséges energiának. A gázfelhőben lebegő vízcseppek segítségével feszültségmentesítjük, mintegy leföldeljük a gázfelhőt.

A gázfelhő leföldelését általában egy hosszú szórt vízszugár alkalmazásával érhetjük el. Lehetőség szerint beépített vízágút, ill. ennek hiányában egy telepíthető, ún. „zsebvizágút” célszerű alkalmaznunk (22-23. kép). A beépített ágút előnye, hogy gyorsabban bevethető, hátránya, hogy nem mindenhol található meg, és a telepítés helyétől mérve csak egy bizonyos hatótávolságon belül használható. A vegyiparban szokásos 2000 l/min teljesítményű vízágúknál ez a sugártávolság 40-50 m. A zsebvizágút megszerelése több időt vesz igénybe, viszont a legideálisabb pozícióba helyezve, nehezen megközelíthető helyeken, akár magasba szerelve is bevethető. A gázkifúvás helyétől és intenzitásától függően más típusú, nagyobb teljesítményű ágúk is használhatók.



22. kép. Zsebvizágút (kötött sugár)



23. kép. Zsebvizágút (szórt sugár)

A gázfelhő levegővel keveredve hígul legjobban. Ahol azonban a technológiai kiépítettség ezt lehetővé teszi, a gázfelhő hígítása nitrogén vagy más inertgázzal is végezhető. Erre többnyire csak a készülékek belsejében van lehetőség. Korszerű petrokémiai technológiák esetén a technológiai rendszerbe beépített nitrogén beadási pontokon keresztül lehetőség van egy-egy csőszakasz, készülék nitrogénnel való kifúvatására, kiszellőztetésére. A nitrogént a technológiai területen kiépített számos szervizpontról tömlők segítségével vezetik a rendszerbe. Kisebb intenzitású kifúvás esetén a szabadba került gázfelhő is hígítható a szervizpontokról levett nitrogén segítségével. Ilyen esetben a tömlőket a gázkifúvás helyére irányítva, a ki-

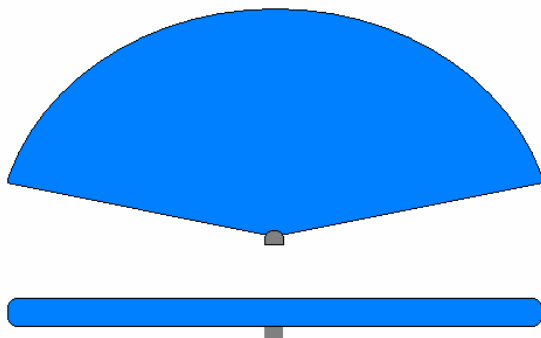
áramló gázt előhívítva csökkenthető a robbanásveszélyes gázkoncentráció kialakulásának esélye.

A gázfelhő hígítására az egyik legalkalmasabb hordozható eszköz a *vízpajzs* (24.kép). Működési elvét tekintve ez egy olyan sugárcső, ami a vízszintesen áramló vízugarat egy függőleges falnak ütközteti. Ezáltal a középpontban lévő eszköztől sugárirányba, legyezőszerűen kiáramló víz egy félköríves vízfüggönyt hoz létre (2. ábra).

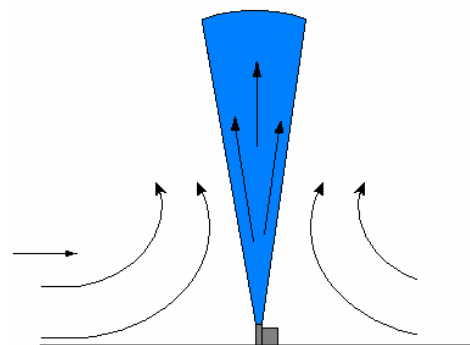


24. kép. Hordozható vízpajzs

A levegőnél nehezebb gázfelhő a talaj közvetlen közelében terjed. Itt helyezkedik el a vízpajzs is, amelyből függőleges irányban, nagy sebességgel áramlik ki a vízfüggöny. Ez a nagy sebességgel áramló víz erős szívóhatást gyakorol a talaj-közeli robbanásveszélyes gázra, és vízszugár-szivattyúként beszippantja, magával ragadja azt. Miközben a vízfüggöny felfelé mozog, az álló levegő és az áramló víz határfelületén erős örvénylések alakulnak ki (3. ábra). Ezekben az örvényekben a vízfüggöny által felfelé szállított gáz összekeveredik a magasabb rétegekben található tiszta levegővel, ezáltal felhígul és a vízpajzs mögött már az eredeti koncentrációjánál jóval hígabb állapotban áramlik tovább.



2. ábra. A vízfüggöny sematikus ábrázolása
(elöl és felülnézet)



3. ábra. A vízpajzs metszete oldalnézetben



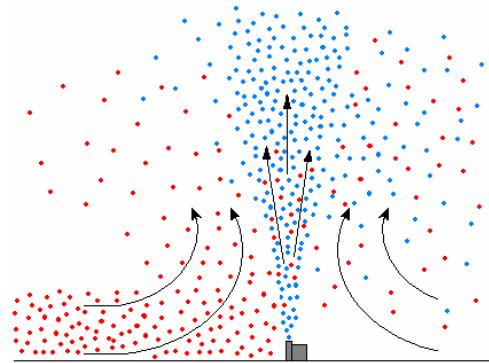
25. kép



26. kép

A 25-26. képek a vízfüggöny erős szívó hatását szemléltetik: az eredetileg függőleges láng- és füstoszlop a vízfüggöny szívó hatására vízszintesen mozog a vízpajzs felé.

A vízpajzs alkalmazásával jelentősen csökkenthető az esetlegesen meggyulladó gázfelhő égési sebessége. A felfelé áramló vízből leváló apró, aeroszolszerű vízcseppek elkeverednek a gáz-levegő eleggyel, csökkentve ezzel a detonáció kialakulásához ideális arányban való keveredés esélyét (4. ábra).



4. ábra. A vízcseppek elkeveredése a gázfelhőben

A vízpajzsokat úgy kell elhelyezni, hogy a szomszédos vízpajzsokból kilépő vízfüggönyök átfedjék egymást, de lehetőleg ne ütközzenek frontálisan egymásba (5. ábra, 27. kép).

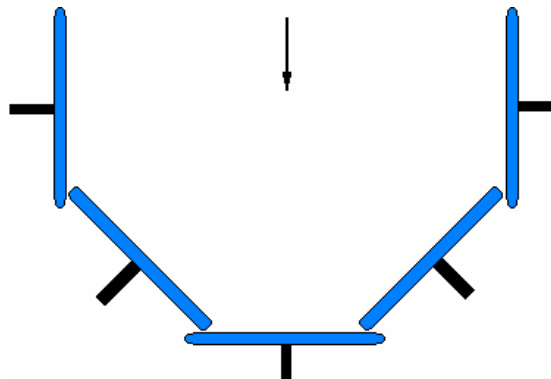


5. ábra. Összefüggő vízfal kialakítása



27. kép. Beépített vízfűgöny alkalmazása ipari környezetben

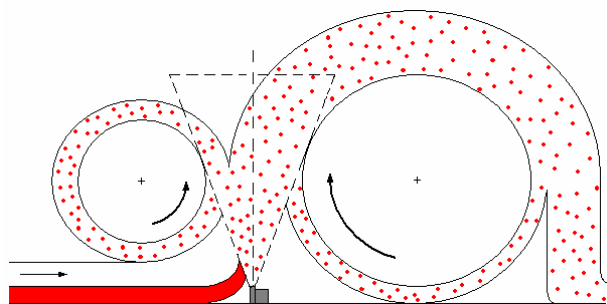
Az így elhelyezett vízpajzsok összefüggő vízfalat képeznek. A nagy mennyiségű szabadba került gáz a vízfűgönyt két oldalt megkerülheti. Ennek megakadályozása érdekében a vízpajzsokat ún. „zsák alakban” (lásd 6. ábra) kell elhelyezni. A széliránnyal szembe telepített vízpajzsok közrefogják a gázfelhőt.



6. ábra. Zsák alakban elhelyezett vízpajzsok

Igen nagy intenzitású kiáramlások esetén előfordulhat, hogy a vízpajzsok mögött a gázfelhő felhígult ugyan, de a gáz koncentrációja még mindig ARH fölött van. Ebben az esetben alkalmazható egy második vízpajzs-sor is, az első mögött kb. 15-20 m távolságra telepítve.

A vízpajzs előtt és mögött kialakult áramlási viszonyokat mutatja be a 7. ábra.



7. ábra. A vízpajzs körül kialakult áramlások

(Forrás: Werner Alexander Stein und Wilhelm Humann: Wasserscheier zum Verdünnen von Schwergasvolken. *Sicherheitstechnik* Nr. 10.- 1991. okt.)

Keveredés nélkül gáz nem haladhat át a kiépített vízfüggönyön, ezért az eszközöket olyan távolságra kell elhelyezni egymástól, hogy a vízugarak összezárjanak

A tapasztalatokat összegezve megállapíthatjuk, hogy a vízpajzs eredményesen alkalmazható a gázok hígítására. Hátránya viszont, hogy a vízfal magassága a víznyomás emelésével csak egy bizonyos mértékig emelhető. A vízfüggöny magassága 8 bar nyomásig fokozatosan emelkedik. Ennél magasabb nyomások esetén azonban ellenkezőleg, a vízfüggöny magassága csökkenni kezd. Ez arra vezethető vissza, hogy túlzottan nagy vízsebességek kialakulása esetén a vízpajzsból kilépő, összefüggő vízfilm a vízpajzst elhagyva rövidesen cseppekre szakad, így a vízfüggöny magassága és szívóhatása is csökken.

Ipari környezetben a gázfelhő hígítására beépített védelmi eszközök is alkalmazhatóak. Ilyenek pl. a lefelé irányított kúpos szórófejes vízfüggönyök, a telepíthető vízpajzs beépített változatai vagy a nagy nyomású gőzfüggönyök. A legerősebb hígító és égéscsillapító hatás a gőzfüggönyök alkalmazásával érhető el, de hátránya, hogy csak olyan helyen alkalmazható, ahol megfelelő gőztermelő berendezés áll rendelkezésre. A kiépítés és üzemeltetés viszonylagos nehézségei miatt csak a potenciális gyújtóforrásnak számító blokkok, üzemszerek (pl. különféle kemencék) védelmére használják. Ellentétben a gőzzel, a tűzvíz szinte mindenütt rendelkezésre áll. A vízpajzsok telepítése, a vízfüggönyök kiépítése is viszonylag egyszerű, és a költségei is kisebbek. Ezért a gázfelhők elleni védekezésre a vízfüggönyök terjedtek el szélesebb körben.

Bizonyos esetekben a gázok vízzel való hígítása, lecsapátása is alkalmazható. Ez azonban a fokozottan tűz- és robbanásveszélyes gázok esetében többnyire nem válik be, hiszen csak vízben oldódó gázok esetében alkalmazható eredménnyel. Ilyenek pl. a széles körben elterjedt ammónia, de a klór és a kénhidrogén is. A szénhidrogén-gázok azonban csak nagyon kis mértékben oldódnak a vízben. Ebből következően olyan nagy mennyiségű víz kellene az ilyen gázok lecsapátásához, amelynek a töredéke is elegendő a gázfelhő más módon történő veszélytelenítéséhez, levegővel való felhígításához.

Például megemlíthetjük, hogy 1 liter víz 0,07 g propánt tud feloldani. $0,07 \text{ g propán} = 0,0000367 \text{ m}^3$ Ebből következően 100 kg folyékony propánból keletkezett (54 m^3 térfogatú) gázfelhő lecsapátásához 1500 m^3 (1.500.000 liter) vízre lenne szükség.¹³

¹³ Paule Ervin: *Gázbalesetek, gáztűzek típusai, tulajdonságai.* (előadás) -Szimpózium a MOL csoport tűzoltóságainak együttműködéséről. Százhalombatta, 2005.

ÖSSZEFOGLALÁS

A petrokkémiai alkalmazott cseppfolyós gázokra irányuló kutatást több tényező indokolta. A levegőnél nehezebb, cseppfolyósított gázok általában összetettebb és nehezebben kezelhető veszélyhelyzeteket okoznak, mint más gázok. Ugyanakkor munkakörömből adódóan a veszélyelhárításon belül ez a terület áll hozzám legközelebb.

A kutatást a petrokkémiai technológiák, ill. a gázok általános bemutatásával kezdtem. Ezt követően a petrokkémiai alkalmazott ipari gázok fizikai-kémiai tulajdonságait, legfontosabb jellemzőit és paramétereit közöltem a fellelt szakirodalom adatai alapján. Ez az alfejezet rávilágított arra, hogy egy üzemzavar, baleset, meghibásodás során az alkalmazott gázok és a technológia paramétereiből adódóan meglehetősen bonyolult és veszélyes helyzet alakulhat ki. Hogy ez mennyire igaz és a szabadba került gázok milyen mértékű tisztításra képesek, az a következő alfejezet esetleírásaiból világosan kiderült.

A dolgozat gerincét képező vizsgálat a cseppfolyós gázok szabadba kerülése során kialakuló lehetséges veszélyhelyzetek elemzésére irányult. Az egyes veszélyhelyzetek lépésről-lépésre történő bemutatását közvetlenül követte a veszélyhelyzet elhárításának érdekében tett tűzoltói beavatkozás lehetőségeinek elemzése és miértjeinek magyarázata. Ennek érdekében szükséges volt többször visszautalni az előzményekben említett jellemzőkre, összefüggésekre és esetleírásokra.

Az elemzések nyomán levont következtetésekből megállapíthatjuk, hogy bár a cseppfolyós gázok szabadba jutása meglehetősen bonyolult és összetett helyzeteket teremthet, megfelelő tervezési, létesítési és biztonságtechnikai intézkedésekkel, továbbá gyors és szakszerű beavatkozással ezek a veszélyhelyzetek – néhány katasztrofális mértékű, ezért kezelhetetlen gázömléstől eltekintve – többnyire megelőzhetők ill. elháríthatók. Ezt bizonyította az esetleírásokban szereplő három sikeres veszélyhelyzet-elhárítás is. A szakszerű beavatkozás érdekében a cseppfolyós gázok veszélyelhárítására vonatkozó pontos ismeretek, továbbá a megfelelő eszközök együttes megléte szükséges. A gázok tulajdonságainak, viselkedésének, a veszélyhelyzeteknek és a várható következményeknek a minél pontosabb ismerete nagyban segíti a gyors és helyes döntés meghozatalát és a veszélyhelyzet eredményes elhárítását.

A szakszerű és hatékony beavatkozás nem képzelhető el a megfelelő eszközök nélkül. A szakdolgozatban bemutatott, a gázfelhő hígítására alkalmas eszközök hatékonyságát kísérletek igazolják. Ezek az eszközök központilag nincsenek rendszeresítve a tűzoltóságoknál, bár néhány parancsnokságon választható felszerelésként már alkalmazzák őket.

Ezekre az ismeretekre és eszközökre nem csak a vegyipari tűzoltás területén dolgozóknak van szükségük, hanem minden tűzoltónak, mivel cseppfolyós PB-vel vagy ammóniával vegyipari területen kívül is egyre több helyen találkozhatunk. A gázbalesetek ritkább előfordulási aránya és a vegyipari alkalmazáshoz képest kisebb anyagmennyiségek nem minden esetben indokolják a nagyteljesítményű eszközök beszerzését. Ezzel szemben a kisméretű, telepíthető eszközök, mint pl. a zsebvizágyú és a vízpajzs alkalmazása kézenfekvő megoldást jelenthetne a hivatásos tűzoltóságok számára is a gázokkal kapcsolatos veszélyhelyzetek elhárításában.

Bízom abban, hogy a gázok fizikai-kémiai tulajdonságainak és a veszélyelhárítás tapasztalatainak összevetésével sikerült megvilágítanom egy-két nehezebben megérthető összefüggést és elosztatni néhány tévhitet a témával kapcsolatban. Remélhetőleg hasznos segítség lesz ez a dolgozat a tűzoltás-kárelhárítás területén dolgozó szakembereknek és tűzoltóknak egyaránt.

KITEKINTŐ

Mivel a tárgyalt téma feldolgozása is maximálisan kimeríti egy szakdolgozat kereteit, ezért – ha csak említésképpen is – ebben a fejezetben szeretnék szót ejteni néhány szorosan ide kapcsolódó, de önálló kutatást igénylő témakörrel.

A gázok – és különösen a fáklya, mint áramló anyag – tüzeinek oltására a legalkalmasabb módszer a porraloltás. A beavatkozás lehetséges taktikáinak, az alkalmazott anyagok és eszközök megválasztásának részletes vizsgálata több olyan hasznos és új információval, gyakorlati ismerettel szolgálhat, amelyek birtokában eredményesebben és hatékonyabban szervezhetjük meg és végezhetjük el a beavatkozást. A kutatás során a porraloltás folyamatának alapos elméleti megismerése mellett számos kísérleti gáztűz-oltást kellene végezni, különös tekintettel a por és víz egyidejű használatával végrehajtott kombinált oltásra. Véleményem szerint ez a vizsgálat olyan szintű kutatást igényel, amelynek a tárgyalása szinte csak egy önálló szakdolgozat keretein belül tehető meg.

A szabadba került cseppfolyósgáz-tócsa fizikai tulajdonságainak és viselkedésének megismerése ill. a tócsatűz oltása szintén elmélyült, kísérletekkel egybekötött tudományos kutatást igényel. Ezek a kísérletek – a cseppfolyós gázok tulajdonságaiból adódóan – nagyrészt csak laboratóriumi körülmények között végezhetőek el. A veszélyelhárításra irányuló kísérletek végrehajtását több tényező akadályozza. Egyrészt a felhasznált anyagok meglehetősen drágák. Másrészt a csak kísérleti jelleggel is szabadba engedett nagyobb mennyiségű fokozottan tűz- és robbanásveszélyes gáz olyan veszélyhelyzetet teremt, amely átfogó biztonságtechnikai szervezést igényel. Egy ilyen veszélyhelyzet-elhárítási kísérlet elvégzése egy havária-gyakorlat keretein belül valósítható meg.

A szakdolgozatban említett vízpajzs hatékonyságára vonatkozóan – a szívóhatás bizonyítására irányuló kísérlet mellett – szintén lehetne méréseket végezni. Ennek elvégzésére elegendő lenne palackból vagy csővezetékbeli különböző fokú intenzitással PB gázt a szabadba engedni, majd gázkoncentráció-méréseket végezni a vízfal előtt és mögött.

REZÜMÉ

Szakdolgozatom megírásának célja az volt, hogy világosabbá, érthetőbbé és rendszerezettebbé tegyem a cseppfolyós tűz- és robbanásveszélyes gázok által okozott veszélyhelyzetek elhárítása során szerzett tapasztalatokat. Előzetes vizsgálódásaim azt mutatták, hogy számos megválaszolandó kérdés merül fel a téma kapcsán, az elméleti ismeretek és a gyakorlat terén egyaránt.

A téma szakirodalma meglehetősen szerteágazó és specifikus. Elenyésző a száma azon tudományos munkáknak, melyek a cseppfolyós gázok fizikai-kémiai tulajdonságait és a veszélyhelyzeteik elhárítására irányuló beavatkozást együttesen tárgyalják. A tanulságokként szolgáló katasztrófa-leírások hiányosak és pontatlanok, tekintve, hogy az elsődleges szemtanúk legtöbbször életüket veszítették a balesetekben.

A tárgyalás során a téma kulcsfogalmainak magyarázata és rendszerezése mellett az alábbi problémák megválaszolását tartottam szem előtt:

- a gázfelhő sztatikus feltöltődésének, gyújtóforrással való találkozásának megakadályozása
- a gázfelhő hatékony hígítása, lehetőség szerint az ARH alá
- a robbanás következményeinek mérséklése az égés sebességének csökkentésével

- a gáztüzek (tócsa, fáklya) oltásának módjai
- a gázkiáramlások kategorizálása a kiáramlás intenzitása alapján

A téma feldolgozása során a gázok fizikai, kémiai tulajdonságainak felidézésével és a veszélyelhárítás tapasztalatainak összegzésével vezettem le összefüggéseket és vontam le következtetéseket. Ennek során áttekintettem a cseppfolyós gázok viselkedését az állapotátározók függvényében. Fizikai törvényszerűségekre hivatkozva bebizonyítottam, hogy a gázfelhőbe juttatott porlasztott vízcseppek segítségével megakadályozhatjuk egy robbanóképes gázfelhő meggyulladását, ill. nagymértékben csökkenthetjük az égési sebességét. Ugyancsak fizikai összefüggéseket felhasználva bemutattam, hogy a gázfelhőbe juttatott vízszugár segítségével megakadályozható annak elektrosztatikus feltöltődés miatt bekövetkező öngyulladás. Intenzitásuk alapján a gázkiáramlások különböző fokozatait határoztam meg, hogy ennek segítségével pontosabban tudjunk jellemezni, behatárolni egy adott veszélyhelyzetet.

A gázfelhő leföldelésére és hígítására olyan hatékony, kisméretű, telepíthető eszközöket ajánlottam, amelyek telepítése után a beavatkozó egységeket kivonhatjuk a veszélyzónából, csökkentve ezáltal az esetleges személyi sérülések lehetőségét.

Pólik Gyula

Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Kar, Műszaki Szakoktató Szak

Konzulens: Skobrák Róbert, Tűzoltó és Műszaki Mentő Kft. Tiszaújváros

2005. november 21.

IRODALOMJEGYZÉK

SZABVÁNYOK

MSZ EN 1127-1 Robbanóképes közegek. Robbanásmegelőzés és robbanásvédelem
MSZ 379-82 MUNKAVÉDELEM. Tűz- és robbanásveszélyes vegyi anyagok jellemzői

SZAKIRODALOM

Könyvek

Balogh Imre: *Külföldi és hazai tűzkatasztrófák és robbanások ismertetése.*
Nehézipari Minisztérium Továbbképző Központ, Bp., 1977.

Balogh Imre: *Irodalmi gyűjtemény a nemzetközi tűz- és robbanási katasztrófákról.*
FIMCOOP Finomkerámiaipari Közös Vállalat, Bp., 1993.

Balogh Imre: *Tűzkatasztrófák.* FIMCOOP Finomkerámiaipari Közös Vállalat, Bp., 1993.

Gráf László – Hlinyánszky István: *Propán-bután.* Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1967.

Pintér Ferenc et. al.: *Tűzoltás a vegyiparban.* BM Könyvkiadó, Bp., 1984.

Cseretelep kezelők tűzvédelmi szakvizsga anyaga. B&P Dominátor Kft., Bp., 1998.

Tanulmányok

Paule Ervin: *Gázbalesetek, gáztüzek típusai, tulajdonságai.* Előadás [CD-ROM].
Szimpózium a MOL csoport tűzoltóságainak együttműködéséről, Százhalombatta, 2005.

TVK Rt. *Biztonsági jelentés*. Tiszaújváros, 2002. szeptember 25.

Werner Alexander Stein und Wilhelm Humann: Wasserschleier zum Verdünnen von Schwergasvolken. *Sicherheitstechnik* Nr. 10.- 1991. okt. (újságcikk)

Internetes honlapok

www.acusafe.com

www.ambirk.com

www.feuerwehr.pforzheim.de

www.fireworld.com

www.gassonic.com

www.lyon.novopress.info

www.onoci.net

www.queensu.ca

www.spadeadam.biz

www.tft.com

www.tuzinfo.hu

www.unizar.es

PÓLIK GYULA PÉCS 2005

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM POLLACK MIHÁLY MŰSZAKI KAR, PEDAGÓGIA TANSZÉK

