

NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM

Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

KATONAI MŰSZAKI DOKTORI ISKOLA

Pimper László

**A mobil tartálytűzoltás taktikáinak és
alkalmazott technikai eszközeinek fejlesztése**

Doktori (PhD) értekezés

Tudományos témavezető:

.....

Dr. Vass Gyula t. ezredes PhD

Budapest, 2016.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	5
A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA	5
KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK	8
KUTATÁSI HIPOTÉZISEK	9
KUTATÁSI MÓDSZEREK	10
1. ÉGHETŐ FOLYADÉKOT TÁROLÓ NAGYMÉRETŰ, ÁLLÓHENGERS, ATMOSZFÉRIKUS TARTÁLYOK és TŰZTÍPUSAINAK JELLEMZÉSE, RENDSZEREZÉSE	13
1.1.A tartálytűzvédelem és tartálytűzoltás a tűz- és katasztrófavédelem rendszerében....	13
1.2.A mobil tartálytűzoltás kutatása a világban.....	18
1.3.A tárolótartályok és felfogóterek csoportosítása kialakítás, elhelyezkedés és típus alapján	23
1.3.1.Merevtetős (fixtetős) tartályok	24
1.3.2.Úszótetős tartályok	25
1.3.3.Belső úszótetős tartályok	27
1.3.4.A felfogóterek csoportosítása.....	27
1.4.Az éghető folyadékot tároló nagyméretű állóhengeres, atmoszférikus tartályok tűztípusainak rendszerezése.....	31
1.4.1.A tárolótartályokat érintő tüzesetek előfordulásának gyakorisága.....	31
1.4.2.Tartályok jellemző tűztípusai	33
1.4.3.Tűzveszélyes folyadékot tároló tartályok felfogótér tüzeinek elemzése	41
1.4.4.Tartályokat, felfogótereket érintő egyéb tüzek	45
1.4.5.Különleges tartálytűz-jelenségek	46
1.5.Következtetések	50

2. A TARTÁLYTŰZOLTÁS ERŐFORRÁS-RENDSZERÉNEK KUTATÁSA, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A MOBIL TARTÁLYTŰZOLTÁSRA	52
2.1.A tartálytűzoltás oltóanyagaihoz kapcsolódó kutatások.....	52
2.1.1.Tűzoltó habokkal kapcsolatos környezetvédelmi fejlesztések.....	53
2.1.2.A tűzoltó por alkalmazásának fejlesztése	56
2.1.3.Vízmentes tűzoltó hab alkalmazásának kutatása	64
2.2.Tartálytűzoltó rendszerek	73
2.2.1.Beépített tartálytűzoltó berendezések és rendszerek	74
2.2.2.A mobil tartálytűzoltás.....	78
2.3.A mobil tartálytűzoltás erőforrás-rendszerének kutatása	81
2.3.1.A mobil tartálytűzoltás tervezése, számítási eljárások és módszerek	81
2.3.2.A mobil tartálytűzoltás műszaki eszközrendszere.....	88
2.4.Következtetések	104
3. A MOBIL TARTÁLYTŰZOLTÁS TAKTIKÁJÁNAK KUTATÁSA, NATURÁLIS TARTÁLYTŰZOLTÁSI KÍSÉRLETEK.....	108
3.1.Teljes felületű tartálytűz oltási kísérletek	108
3.1.1.A helyszín, körülmények	109
3.1.2.A műszaki körülmények, feltételek	114
3.1.3.A végrehajtás biztonsága – biztosítási feladatok.....	118
3.1.4.A tűzoltási kísérletek végrehajtása	120
3.1.5.Mérések – adatrögzítés	128
3.1.6.Következtetések.....	139
3.2.Tömítőzés (körgyűrű) tüzek mobil tűzoltásának kutatása: Valós méretű körgyűrű tűzoltási kísérletek.....	143
3.2.1.A helyszín és kísérleti körülmények.....	145
3.2.2.A körgyűrű tűzoltási kísérletek előkészítése.....	148
3.2.3.A tűzoltási kísérletek végrehajtása	151
3.2.4.Következtetések.....	153

4. A FELÜLETI HABBALOLTÁS FEJLESZTÉSÉNEK KUTATÁSA MESTERSÉGES MODELLEZÉSSSEL	157
4.1.Oltóhab terjedésének vizsgálata nyílt folyadékfelületen	157
4.1.1.A helyszín és kísérleti körülmények	159
4.1.2.A habterjedési próbák végrehajtása	160
4.1.3.A vizsgálati eredmények	162
4.1.4.Következtetések	165
4.2.Az olaj- és víztaszító tulajdonságú, üreges gyöngyökből álló, úszóképes tűzálló szárazhab éghető folyadékot tároló tartályok tűzoltására történő alkalmazása	165
4.2.1.I. kísérleti szakasz	168
4.2.2.II. kísérleti szakasz	170
4.2.3.III. kísérleti szakasz	172
4.2.4.IV. kísérleti szakasz	174
4.2.5.Következtetések	178
BEFEJEZÉS	181
ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK	181
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	189
HIVATKOZOTT IRODALOM	193
MELLÉKLETEK	200
1. Kiemelkedő jelentőségű tartálytűzek bemutatása	201
2. A kiforrás-kivetődés kísérlet lefolyása	206
4. Hőmérsékletmérési pontok	210
5. A hivatkozott jogszabályok és szabályozók jegyzéke	213
6. Táblázatok jegyzéke	215
7. Ábrák jegyzéke	216
8. Fényképek jegyzéke	218
9. A szerző témakörből készült publikációs jegyzéke	219

BEVEZETÉS

A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

A nagy ipari létesítményekben szinte általános, hogy a különféle termelő üzemek mellett különböző méretű és kialakítású földfeletti tárolótartályok sora helyezkedik el, melyek már távolról is jellegzetes látképet kölcsönöznek a területnek. A cseppfolyós szénhidrogének tárolására szolgáló tartályok az olajipar több mint egy évszázados története során a kőolaj-feldolgozó üzemekkel együtt nőttek ki a földből. Magyarországon 1898-ban már országszerte 13 gyártelepen dolgoztak fel – és tároltak – nyersolajat. Az olajtermékek iránti kereslet növekedésével, a tárolási igények emelkedésével, valamint az ellátásbiztonságot fokozó készletezési törekvésekkel egyre nagyobb térfogatú tartályok és tároló telepek létesültek. A mennyiségek növekedésével fokozódtak a veszélyek, ezen belül a tűz- és robbanásveszély mértéke. Új biztonságtechnikai módszerek kidolgozására volt szükség, melyek érintették a katasztrófavédelem, különösen az iparbiztonság és a tűzvédelem, ezen belül a tartálytűzoltás területét is.

Az elmúlt években számtalan olyan tartálytűz esemény történt a világban, melyek – gyakran a káresetek elhúzódó felszámolása okán – a figyelem középpontjába kerültek. Az 1. számú mellékletben az állóhengeres, atmoszférikus tartályban történő éghető anyag tárolás történetének néhány kiemelkedő jelentőségű tüzesetét foglaltam össze.

A tartálytűzoltás több szempontból is különleges kihívásokkal terhelt beavatkozási terület. Nagyobb tartályok esetén a lángolás elfojtására irányuló erőfeszítés kizárólag megfelelően kialakított erőforrás rendszer alkalmazásával lehet sikeres. Általános célú mobil eszközök összevonása általában nem vezet eredményre, hiszen a tartálytűzek eloltására kizárólag megfelelő, a kritikus értéket meghaladó beavatkozási teljesítmény alkalmazásával van lehetőség. Mindezen körülményekre figyelemmel kijelenthetjük, hogy a tartálytűzoltás eredményessége már a káresemény kialakulását megelőzően eldől, a felkészülés esetleges hiányosságai már nem – vagy csak nagy áldozatok árán – számolhatóak fel.

A tartálytűzek elhárításának eredményessége – a legtöbb ipari tüzesethez hasonlóan – a közvetlen károkon túl az eset környezeti hatásait is érdemben befolyásolja. Az elmúlt években többen kutatták az ipari balesetek környezeti hatásait. A tartálytűzek felszámolásához kapcsolódóan, „*a környezetbiztonság megvalósulásának feltételeként*” kerültek azonosításra a szükséges tervek, módszerek, a rendelkezésre álló szervezetek és azok alkalmazási garanciái. [1] A környezetvédelmi kérdések vizsgálatában ki kell emelni Szócs István munkáját, aki rendszerezte a tartálytűzek és az oltási eljárások környezetterhelését.

Megállapítása szerint „a tartálytűzekkel kapcsolatos környezeti hatások két fő csoportra oszthatók. Az első csoport a tűz által okozott elsődleges környezetszennyezés, amely lényegében levegőszennyezés. A környezeti hatások második csoportjába az oltóanyag alkalmazása következtében létrejövő környezetszennyezés tartozik.” [2]

E megközelítésben tisztán kirajzolódik a tartálytűzoltás eredményességének és hatékonyságának jelentősége a környezet biztonságát veszélyeztető hatások csökkentésében: a tüzeset által okozott környezetterhelés a szabadégés és a beavatkozás időszakának minimalizálásával, míg a tűzoltás környezetszennyezése a felhasznált oltóanyag mennyiségének redukálásával és minőségi jellemzőinek javításával csökkenthető. Vegyi anyag tartalmuk miatt a „hagyományos”, vízalapú habképzéshez alkalmazott tűzoltó habanyagok nagymértékben terhelik környezetünket. [3] A habképző anyagok környezeti hatása eltérő, és a használatukra vonatkozó előírásokat is folyamatosan szigorítják annak érdekében, hogy így is csökkentsék az oltóanyagok által okozott környezetterhelést, és erősítsék az oltóanyagok minőségével összefüggő, környezettudatosságot erősítő erőfeszítéseket.

Munkám során a mobil tartálytűzoltást meghatározó alapokhoz visszatérve kutattam a környezetszennyezés csökkentésének lehetőségét:

- A beavatkozási feladatot jelentő és meghatározó, atmoszférikus éghető folyadék tároló tartályokat érintő tüzesetek jellemzőinek és folyamatainak megismerésével;
- A mobil tartálytűzoltási eljárások hatékonyságát befolyásoló körülmények azonosításával és értékelésével;
- Új oltóanyagok alkalmazása által, melyekkel – a szennyezés mértékének mennyiségi csökkentése mellett – minimalizálható a szennyező anyag ellenőrizetlen ki- és szétáramlása, valamint a beavatkozást követően összegyűjthetők és semlegesíthetők.

A mobil eszközökkel történő tartálytűzoltás eredményességét három részterület határozza meg, melyek folyamatos kölcsönhatásban működnek és formálódnak: a beavatkozás taktikája és eljárásrendje, a felhasználásra kerülő oltóanyagok és a rendelkezésre álló műszaki eszközrendszer. E területeken folyamatosan változnak az elvárások, a jogszabályi kötelezettségek egyre szigorúbb követelményeket támasztanak, míg párhuzamosan újabb és újabb lehetőségek teremődnek meg az állandó fejlesztési-kutatási folyamatok eredményeként. E folyamatos fejlődés is alátámasztja a tartálytűz és mobil tűzoltásuk kutatásának időszerűségét.

A környezetvédelmi előírásoknak való magasabb szintű megfelelési elvárások mellett a katasztrófavédelmi, tűzvédelmi korszerűsítési törekvések is szükségessé teszik a tartálytűzvédelmi és a kapcsolódó beavatkozási szakterület fejlesztését, erősítik annak időszerűségét.

A társadalomban egyre erősödő, magasabb szintű biztonság iránti igénnyel párhuzamosan jelenik meg az iparbiztonság előírásainak való magasabb szintű megfelelés elvárása.

Mindhárom korábban azonosított részterület számtalan kérdéskört fed le, így rendkívül széles az elemezhető és fejleszthető elemek választéka. Kutatómunkám a tartályok, tartálytűzek, tűzoltási módok és a mobil tartálytűzoltás általános áttekintését követően néhány – az átfogó értékelés alapján kiválasztott – elem fejlesztésére irányul. Kutatásaim és értekezésem megalkotása során nem célom a mobil tartálytűzoltási rendszer minden elemének és változatának teljeskörű bemutatása, a dolgozatban rögzítésre kerülő tartalom kiválasztása során a vizsgálataimat alátámasztó, és ahhoz szorosan kapcsolódó témaköröket részesítem előnyben. Ezen elvvel és kutatási célkitűzésemmel összhangban például nem vizsgálom részleteiben a tartálytűzoltás során alkalmazásra kerülő anyagok (habképzőanyagok, oltóporok, oltóvíz) összetételét és fejlesztéseit, a beavatkozó személyi és irányító állomány felkészítését, a beépített rendszer(elemelek) kialakítását és változatait, a technikai rendszerelemek műszaki megvalósításának kérdéseit.

A mobil tartálytűzoltás során alkalmazott technikai eszközök konkrét műszaki megvalósítását közvetett kutatási területnek tekintem. A műszaki tevékenység egyik legfontosabb célja és feladata a korszerűsítésre kerülő beavatkozási taktikák, a kifejlesztett (alkalmazható) oltóanyagok, műszaki kialakítások és elvárások technikai feltételeinek – az elérhető legjobb műszaki színvonalú – optimalizált biztosítása. Erre figyelemmel a technikai fejlesztési lehetőségeket (mobil tartálytűzoltással foglalkozó) felhasználóként, a műszaki tervezés és kialakítás kérdését nem vizsgálva kutatom. Az iparbiztonság, tűz- és katasztrófavédelem napjainkban különösen aktuális kérdéseivel kizárólag a mobil tartálytűzoltás tekintetében foglalkozom; e kutatási területeken jelentős számban készültek és készülnek mértékadó szakirodalmi publikációk.

A tartálytűzoltás feltétel rendszerének és taktikai eljárásrendjének fejlesztése különösen nehéz feladat. A viszonylagosan kisszámú valós esemény vizsgálata nem biztosít elegendő bejövő adatot az elemzésekhez, s természetes kísérletekre – melyek megfelelő alapot biztosíthatnának a kutatásokhoz – nagyon ritkán van lehetőség. A fejlesztések többnyire laborkísérleteken és mesterséges modellezésen alapulnak, és többnyire a követelményrendszer változásaiból, vagy a szakterület valamely piaci szereplőjének gazdasági érdeklődéséből fakadnak. A tartálytűzek, a kapcsolódó jelenségek és tűzoltási folyamatok független kutatásával alig néhány „szakmai központ” foglalkozik a világban, így számos részterület mélyebb vizsgálata és fejlesztése még várat magára.

1996 óta dolgozom az ország legnagyobb, és legtöbb tárolótartályt üzemeltető létesítményeinek létesítményi tűzoltósági védelmét ellátó FER Tűzoltóságnál. Az éghető folyadékokat tároló tartályok mobil eszközökkel történő tűzoltására irányuló érdeklődésemet tartálytűzoltási feladataink és az elmúlt évtizedek során végrehajtott beavatkozásaink táplálják. Több mint egy évtizede zajló kutatásaink során egyedülálló kísérletek és kísérletsorozatok tervezőjeként, előkészítőjeként és irányítójaként munkálkodtam. Lehetőségem volt eredményeimet nemzetközi fórumokon is a témát kutató, és az eredményeket alkalmazó szakemberek elé tárni (például: LastFire project¹, JOIFF², MOL Group FPP³, nemzetközi konferenciák), mely tapasztalatcserek lehetővé tették, hogy mások eredményeiből is merítsek.

A fentieknek megfelelően a disszertáció tárgya: a mobil tartálytűzoltás taktikáinak és alkalmazott technikai eszközeinek fejlesztése.

KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

Az értekezés tudományos célkitűzéseinek és hipotéziseinek meghatározását a tűzoltás- és mentésirányítás szakterületén szerzett tapasztalataimra, különösen a FER Tűzoltóságnál – a mobil tartálytűzoltási rendszer magyarországi fejlesztésében élenjáró főfoglalkozású létesítményi tűzoltóságnál – különböző vezetői beosztásokban betöltött 20 éves szakmai tevékenységem alatt megalapozott ismeretekre építettem. Kutatási célkitűzéseimmel a katasztrófavédelem – ezen belül az iparbiztonság és a tűzvédelem – fejlesztését, a tartályok üzemeltetés-biztonságát, és az esetlegesen bekövetkező tüzesetek felszámolásának hatékonyságát kívántam javítani.

Kutatásaim során az alábbiakat tűztem ki célul:

- Tanulmányozni az atmoszférikus, éghető folyadék tároló tartályok és felfogóterek kialakítását és legfontosabb jellemzőit;
- Rendszerezni, vizsgálni és értékelni a tartálytüzek, valamint a tartályokat és felfogóterüket érintő egyéb tüzesetek típusait, előfordulási gyakoriságukat, a különleges tartálytűz jelenségeket;
- A tartály üzemeltetés és tartálytűzoltás környezetterhelés csökkentési lehetőségeinek azonosítását, környezetkímélő oltási elvek alapjainak megteremtését;
- Rendszerezni és értékelni a tartálytűzoltó rendszereket és kialakításukat;

¹ Large Atmospheric Storage Tank FIRE project – Nagyméretű atmoszférikus tartályok tűzvédelmét kutató, 16 nagy olajipari vállalatot tömörítő nemzetközi szervezet. <http://www.resprotint.co.uk>

² Joint Oil Industry Fire Forum – Veszélyes ipari létesítmények elhárító szervezeteinek a szakmai együttműködése. <http://www.joiff.com>

³ MOL Group Fire-protection Panel – MOL Csoport Tűzvédelmi Panel

- A mobil tartálytűzoltás
 - erőforrás- és feltételrendszerének vizsgálatát és értékelését;
 - tervezési eljárások haboldat-intenzitás megállapítására és a tervezési tűzoltási időre vonatkozó módszereinek tanulmányozását és értékelését;
 - technikai eszközeinek és anyagainak rendszerezését és elemzését, valamint a műszaki fejlesztési lehetőségek és irányok meghatározását.
- A nagyméretű, teljes felületű tartálytűzek fizikai jellemzőinek és mobil tűzoltási lehetőségének tanulmányozását, a fejlesztés lehetőségeinek meghatározását;
- A valós körülményeket lehető leginkább megközelítő habbaloltási és tartálytűzoltási kísérleteken alapuló kutatások lefolytatását,
- A körgyűrű tüzek mobil eszközökkel, a tűz megközelítésével történő tűzoltási lehetőségének vizsgálatát, a fejlesztési irányok és peremfeltételek beazonosítását;
- A nagyfelületű folyadéktűzek oltóhab-terjedési jellemzőinek vizsgálatát és értékelését;
- Az olaj- és víztaszító tulajdonságú, üreges gyöngyökből álló, úszóképes, tűzálló, habszerű anyag ("szárazhab") tűzoltásra történő alkalmazhatóságának vizsgálatát és értékelését.

KUTATÁSI HIPOTÉZISEK

A kutatásommal a mobil tartálytűzoltás taktikáit és a műszaki eszközrendszerét kívántam fejleszteni, munkám irányvonalának meghatározásához az alábbi hipotéziseket állítottam fel és vizsgáltam.

1. Az atmoszférikus, éghető folyadék tároló tartályok és felfogóterek, valamint égési jellemzőik rendszerezésével eredményesebben biztosítható a mobil tartálytűzoltásra történő felkészülés, és magas szinten garantálható az esetlegesen bekövetkező tüzesetek felszámolása.
2. Az atmoszférikus, éghető folyadék tároló tartályok mobil eszközökkel történő tűzoltása esetére, a tűztípusokhoz és beavatkozási jellemzőkhöz jobban illeszkedő tervezési módszer alakítható ki a haboldat adagolási intenzitásának és a tűzoltás időtartamának meghatározására.
3. A mobil tartálytűzoltás technikai eszközeinek és anyagainak rendszerezése és értékelő elemzése, valamint naturális és mesterséges modellkísérletek alapján a műszaki fejlesztés lehetőségei és irányai meghatározhatóak.
4. A teljes felületű tartálytűz esetén a lángtér és az égő folyadék hőmérséklete a felület középső részén alacsonyabb, mint a tartálypalást mentén. A mobil habágyúval történő tűzoltás során az égő folyadékfelület középső, „hűvösebb” részére lőtt oltóhabbal biztosítható a legnagyobb hab-hasznosulás és a leghatékonyabb felületi tűzoltás.

5. A nyitott úszótetős tartályok körgyűrű tüzeinek oltására kialakítható olyan taktikai eljárásrend, melynek követésével biztonságosan és hatékonyan hajtható végre a tűz megközelítésével, a tartály-körjárdára felhatoló tűzoltók bevetésével, valamint szállítható és mozgatható felszerelések alkalmazásával történő sikeres beavatkozás.
6. Az éghető folyadékok nagyfelületű tüzesetei során, az éghető folyadék nyílt felületén a tűzoltóhab nagyobb, akár 50 métert meghaladó távolságokra is képes hablövellés nélkül szétterjedni és az égést megszüntetni, a hab mozgását korlátozó körülmények – különösen a forró tartálypalást és egyéb fémszerkezetek miatt jelentkező falhatás – kiiktatása esetén.
7. Az olaj- és víztaszító tulajdonságú, üreges gyöngyökből álló, úszóképes tűzálló habszerű anyag (szárazhab) tűzoltási célokra is alkalmazható. Feltételezésem szerint ezzel az anyagcsoporttal a gyártó által közölt, és a korábbi kutatások során igazolt kipárolgás csökkentés, illetve egyéb biztonságot fokozó alkalmazás mellett tüzet is lehet oltani. Egyértelmű eredménynek könyvelem el, ha kutatásom keretében, modellkísérletek során sikeres tűzoltásokat hajtok végre ezen anyag felhasználásával.

KUTATÁSI MÓDSZEREK

Munkám megkezdésekor felkutattam és feldolgoztam a választott kutatási területtel összefüggésben korábban keletkezett publikációkat, esetleírásokat, szakmai ajánlásokat, s ezt az elemző munkát folyamatosan bővítettem a kutatási időszak alatt látóterembe került új anyagok megismerésével és értékelésével. Tanulmányoztam és értékeltem a tűzvédelem szakterületén közzétett tudományos értekezéseket. A témával kapcsolatos hazai és nemzetközi szakirodalmak vonatkozó fejezeteinek feldolgozása, a téma kutatása és kidolgozása során olyan általános kutatási módszereket alkalmaztam, mint analízis, szintézis, indukció és dedukció. Kutatásom különleges jellemzője az empirikus kutatási módszerként – naturálisan, valamint mesterséges modellezéssel – végrehajtott kísérletek nagy száma.

Részt vettem hazai és nemzetközi szakmai fórumokon, tanulmányutakon és konferenciákon, ahol több alkalommal előadást is tartottam. A kétévente hazánkban megrendezésre kerülő Ipari Létesítményi Tűzoltóságok Nemzetközi Konferenciája szervezőbizottságának irányítójaként kiemelkedő eredménynek tekintem, hogy rendezvény a tartálytűzvédelem és a tartálytűzoltás neves szakmai fórumává vált. E lehetőséggel élve tapasztalatot gyűjtöttem és eszmét cseréltem a konferenciák során – valamint azon túl is – kapcsolatot tartva más kutatókkal és gyakorlati szakemberekkel.

Szoros szakmai kapcsolatot és együttműködést alakítottam ki több olyan „szakmai központ” szakembereivel, amelyek munkámhoz kapcsolódó kérdésköröket vizsgálnak és fejlesztenek, így különösen a LastFire csoporttal, a Joint Oil Industry Fire Forum szakembereivel, a Loughborough University kutatóival, a National Research Institute of Fire and Disaster, illetőleg a Chiba Institute of Science kutatóival Japánból, valamint a MOL Group Fire-protection Panel tagjaival, melynek – 2014-es átszervezéséig – vezetője is voltam. A munkámhoz kapcsolódó iparági szakmai együttműködés kínálta lehetőséget kihasználva, választott kutatási területemhez kapcsolódó konzultációt folytattam számos nagy olajipari vállalat tűzvédelmi, iparbiztonsági és biztonságtechnikai szakembereivel, mint például a MOL Nyrt. (továbbiakban: MOL), Slovnaft, INA, BP, Total, Shell, Nesteoil, Petronas, Sinopec, Qatar Petroleum, Mero, Idemtsu, Zadco, Tupras, Takreer) Folyamatos konzultációt folytattam a FER Tűzoltóságnál és a MOL-nál dolgozó szakemberekkel, valamint rendszeresen egyeztettem a Nemzeti Közsolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézete és a NKE Katonai Műszaki Doktori Iskola oktatóival.

A tartálytüzekhez, valamint a mobil tartálytűz oltáshoz kapcsolódó eddigi tudományos ismeretek megismerésére alapozva tudatosan, tervszerűen alakítottam ki általános és speciális módszereken alapuló, vizsgálati, kísérleti és elemzési technikák segítségével végrehajtott tudományos tevékenységemet. Az értekezésben bemutatásra kerülő, általam ellenőrzött és irányított kísérletek végrehajtására kizárólag a munkahelyemen rendelkezésre álló egyedülálló lehetőségek és vezetőim támogató nyitottsága okán nyílt lehetőségem. Kutatásom, különösen kísérleteim során nagy nemzetközi szakmai érdeklődést tapasztaltam, ami tovább erősítette kutatásom szakmai együttműködéssel támogatott folyamatait.

Az értekezésben felhasznált adatok döntő többsége a FER Tűzoltóságnál, irányításom alatt keletkezett. A dolgozatban szereplő és hivatkozott kísérletek végrehajtásához jelentős segítséget kaptam a százhalombattai Dunai Finomító, a MOL EBK⁴ szervezet és a FER Tűzoltóság korábbi és jelenlegi vezetőitől, a százhalombattai főfoglalkozású létesítményi tűzoltóság személyi állományától. Különösen jelentős szakmai támogatást kaptam korábbi témavezetőmtől Dr. habil Cziva Oszkár ny. tű. ezredestől és jelenlegi témavezetőmtől Dr. Vass Gyula tű. ezredestől.

Az értekezésbe foglalt következtetések és tudományos eredmények megalapozása céljából értékeltem a témával foglalkozó külföldi és hazai kutatók munkáit, következtetéseiket ütköztettem saját kutatómunkám megállapításaival. A dolgozatban felhasználtam a külföldi partnerekkel folytatott eszmecserék során megismert, valamint a nemzetközi együttműködések és közös kutatások eredményeit.

⁴ Egészségvédelem, Biztonságtechnika és Környezetvédelem

A dolgozatomban közzétett kutatási eredmények a 2005-2016 közötti időszakban keletkeztek. Az általam megfogalmazott szakmai javaslatok egy része már beépült a vonatkozó hazai szakutasítás, éghető folyadékot tároló tartályok és felfogó terek tüzeinek oltásáról rendelkező részébe. Az eredményeim külföldön történő megismertetése érdekében részt vettem, illetve szerveztem nemzetközi szakmai konferenciákat és fórumokat, valamint folyamatosan kapcsolatban állok a tartálytűzoltás területén mértékadó szakmai szervezetek képviselőivel. Értekezésemben felhasználtam az általam írt és többségében a Védelem Katasztrófavédelmi Szemle című folyóiratban, illetve nemzetközi konferenciákon és konferencia kiadványokban közreadott publikációimban foglaltakat, így e közlemények többnyire megtalálhatóak a felhasznált irodalom felsorolásában.

Kutatásom során figyelmemet – célkitűzésemmel összhangban – a mobil tartálytűzoltásra fókuszáltam, azonban az elemző munka folyamán más, kapcsolódó szakterületek részleges vizsgálatára is kitértem. Dolgozatom esetenként ezen határfelületeken túli tárgykörökre is kitért, megállapításaim és következtetéseim esetenként a – kutatási területként választott – mobil tartálytűzoltás szakterületén túl is érvényesek lehetnek.

1. ÉGHETŐ FOLYADÉKOT TÁROLÓ NAGYMÉRETŰ, ÁLLÓHENGES, ATMOSZFÉRIKUS TARTÁLYOK ÉS TŰZTÍPUSAINAK JELLEMZÉSE, RENDSZEREZÉSE

Az első fejezetben a kutatási témának választott tartálytűzoltási területet elhelyezem a tűz- és katasztrófavédelem rendszerében, majd röviden áttekintem a nemzetközi és hazai kutatási eredményeket és publikációkat. Az értekezés további fejezeteiben bemutatásra kerülő kutatásaim megalapozása érdekében összefoglalom a nagyméretű atmoszférikus éghető folyadék tároló tartályok kialakítását és legfontosabb jellemzőit. Tudományos célkitűzésemmel összhangban rendszerezem és értékelem a tartálytüzeket, valamint a tartályokat és felfogóterüket érintő egyéb tüzeseteket.

1.1. A tartálytűzvédelem és tartálytűzoltás a tűz- és katasztrófavédelem rendszerében

A hazai katasztrófavédelem rendszerében az éghető folyadékok nagy mennyiségű tárolásának szakterületét két irányból vizsgálom. Figyelemmel a megelőzés fontosságára, a biztonságos üzemvitelre és a balesetek elleni védekezésre gondolva a nagyméretű tartályok üzemeltetését iparbiztonsági kérdésként is áttekintem. A nagymennyiségben tárolt éghető folyadék miatt elkerülhetetlen a tevékenység, a technológia és a létesítmények tűzvédelmi kérdésként történő értékelése és elemzése is, – vizsgálatom irányultsága okán – különös figyelemmel a mentő tűzvédelem területére.

Az ipari balesetek elleni védekezés első formái az ipar kialakulásával párhuzamosan jöttek létre és indultak fejlődésnek. Hazánk területén elsőként az „ipartörvény” (1872. évi VIII. törvénycikk) szabályozta egységesen az engedélyköteles „veszélyes tevékenységeket”, melyek „csak iparhatósági engedély alapján állíthatatnak fel”. Az akkori Magyar Királyság területén hatályos jogszabály a 8. §-ban tevékenység szerinti bontásban sorolta fel a hatálya alá tartozó „telepeket”, melyek engedélyezésének és felállításának rendjét már e törvénycikk szabályozta. A listában már éghető folyadékot tároló létesítmények is szerepeltek, így például „olaj-gyárak, ásványolaj-finomítók”. [4]

A műszaki, biztonsági és jogi szabályozás szükségességét az ipar fejlődése és termelés növekedése mellett a súlyos következményekkel járó külföldi és hazai ipari katasztrófák tették hangsúlyossá. A nemzetközi szervezetek jogi szabályozásokat alakítottak ki a súlyos ipari balesetek veszélyének megelőzésére és csökkentésére. Létrehozták a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek ellenőrzéséről szóló Seveso irányelveket, valamint 1992-ben az ipari balesetek országhatáron túli hatásairól szóló ENSZ EGB⁵ (Helsinki) Egyezményt.

⁵ ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága

A hazai iparbiztonsági jog- és intézményrendszer kiépítése az Egyezmény hazai bevezetésével kezdődött meg. Az Egyezményt Magyarország 1992-ben írta alá, amelyet a kormány 1994-ben erősített meg. [5] [6]

A múlt évszázad utolsó éveiben indult meg az iparbiztonság katasztrófavédelmen belüli fejlődése, a szabályozási és feladat-rendszer ennek megfelelő átalakulása. *„Az első katasztrófavédelmi törvény elfogadásával 1999. évtől kezdődően kiépült a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos ipari balesetek elleni védekezés rendszere.”* [7] A BM OKF Ipari Baleset-megelőzési és Felügyeleti Főosztálya tevékenységének, a veszélyes ipari üzemek engedélyezése és hatósági ellenőrzése keretében, már a kezdetektől részét képezte az éghető folyadékot tároló tartályokkal kapcsolatos feladatellátás.

Az iparbiztonság hazai fejlődésének történetében meghatározó mérföldkő a küszöbérték alatti üzem fogalmának bevezetése (219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet), amit a Seveso II. irányelv alkalmazási tapasztalatai alapoztak meg. Eszerint *„a veszélyes üzem azonosítás alapján olyan üzemek kerülhetnek ki a szabályozás hatálya alól, melyek potenciális veszélyforrást jelentenek a lakosság számára”*. [8] Muhoray Árpád „a katasztrófavédelem aktuális feladatai” című művében a témával kapcsolatosan a következőképpen fogalmazott: *„Mérőföldkő az ipari biztonság növelésében a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek megelőzésében a küszöbérték alatti üzem fogalmának bevezetése az üzemeltető irányítása alatt álló azon területre, ahol az alsó küszöbérték egynegyedét meghaladó, de az alsó küszöbértéket el nem érő mennyiségben van a veszélyes anyag jelen.”* [9] A küszöbmennyiség csökkentésével – a számos különféle eszközzel szinte folyamatos hatósági felügyelet alá vont (például: monitoring és bejelentési rendszer [10]) nagyobb létesítmények mellett – a szabályozás hatálya alá kerültek olyan éghető folyadékot tároló létesítmények is melyekre korábban nem vonatkoztak iparbiztonsági előírások.

Két változást fontos kiemelni a 2012-ben végrehajtott szervezeti és szabályozási módosítások közül: az önálló iparbiztonsági szakterület létrehozása mellett, a létfontosságú rendszerelemekkel kapcsolatos katasztrófavédelmi feladatok törvényi szabályozásának megalkotását (2012. évi CLXVI. törvény), amivel megvalósult *„az iparbiztonsági szakmai, illetve a hatósági és felügyeleti tevékenység kiteljesedése”*. [11] [12] Ez utóbbi intézkedés szorosan kapcsolódik választott kutatási területemhez: a hazánkban a legnagyobb számú földfeletti, atmoszférikus, éghető folyadék tároló tartályt üzemeltető – kísérleteim helyszínéül szolgáló – Dunai Finomító nemzeti létfontosságú rendszerelemként került kijelölésre.

A 2015. június 1-én bevezetett Seveso III. irányelvben *„a tűzveszélyes folyadékokat érintő változás, hogy a korábbi, lobbanáspontra vonatkozó határértékek a 21 °C és 55 °C közötti tartományról a 23 °C és 60 °C közötti intervallumra változtak.”* [13, 14]

A nagyméretű állóhengeres tartályokban történő tárolással kapcsolatos tűzvédelmi szabályozásokat vizsgálva megkülönböztethetjük a létesítési és használati tűzvédelem területét, valamint a tűzoltást és mentést. Kutatási területemként a tartályok tüzeseteivel kapcsolatos beavatkozási tevékenységet választottam, így a továbbiakban a tűzoltási részterülettel és annak legfontosabb kapcsolódó szabályozóival foglalkozom.

Az éghető folyadékok nagyméretű állóhengeres tartályokban történő tárolásának szabályozási rendszerét tűzvédelmi szempontból vizsgálva a 1996. évi XXXI törvényből kell kiindulnunk. A tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról szóló (Tűzvédelmi) törvény rendelkezései közül elsőként a 3/A. §-t emelem ki, amely az elmúlt évek előremutató törekvései eredményeként a tűzoltóságok beavatkozásával kapcsolatos tűzvédelmi követelmények Országos Tűzvédelmi Szabályzatban⁶ történő meghatározását is rögzíti.

A választott kutatási témámra figyelemmel kiemelkedő jelentőségű a gazdálkodó tevékenységet folytatókra vonatkozó néhány előírás. A 18.§ előírásai értelmében gondoskodniuk kell a jogszabályokban meghatározott tűzvédelmi követelmények érvényre juttatásáról, valamint *„a tevékenységi körükkel kapcsolatos veszélyhelyzetek megelőzésének és elhárításának feltételeiről”*. A 2. bekezdés értelmében kötelesek továbbá *„az oltóvíz és egyéb oltóanyagok biztosításáról gondoskodni”*, valamint *„a tevékenységi körükkel kapcsolatos tüzesetek megelőzésének és oltásának, valamint a műszaki mentésnek jogszabályokban meghatározott feltételeit biztosítani”*, mely rendelkezések a (mobil) tartálytűzoltás vonatkozásában különösen nagy jelentőséggel bírnak. [15] Figyelemmel a tartályokkal kapcsolatos beavatkozási feladatok összetettségére és sokrétű technológiai, valamint üzemeltetési kapcsolataira lényeges, hogy a 22.§ (3) értelmében a munkáltató köteles gondoskodni arról, hogy a munkavégzésben résztvevők *„a tűz esetén végzendő feladataikat megismerjék”*.

A 18/A. § a Tűzoltási és Műszaki Mentési Tervvel (TMMT) kapcsolatos rendelkezéseket tesz. *„A tűzvédelmi, gazdasági és műemléki szempontból kiemelt fontosságú létesítményekre”* a hivatásos tűzoltóság köteles tűzoltási tervet készíteni, melyhez a terület felett rendelkezési joggal rendelkezők adatszolgáltatási kötelezettségét is rögzíti. A TMMT-vel kapcsolatos rendelkezések sorában a következő szabályozási szint – ami egyben választott kutatási területem is – a beavatkozási részterület általános szabályairól rendelkező 39/2011. (XI. 15.) BM rendelet⁷. A tervkészítés vonatkozásában a III. fejezet 18. pontja (54-58.§) rögzíti a TMMT készítésével kapcsolatos általános szabályokat.

⁶ 54/2014. (XII.5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról

⁷ 39/2011. (XI. 15.) BM rendelet a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési tevékenységének általános szabályairól

A jogszabályokban lefektetett alapokra építkezve a tűzoltási műveletek eljárásrendjét részletesen rögzíti a Tűzoltás-taktikai Szabályzat, melyet az 5/2014. (II.27.) BM OKF utasítással – annak mellékletében – a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság főigazgatója adott ki. A tartálytűz oltással kapcsolatban, az általános szabályokon túl az utasítás X. fejezete szabályozza az Éghető folyadékot tároló tartályok és felfogó tereik tüzeinek oltását, mely fejezet előírásaival a későbbiekben részletesen foglalkozom.

A tartálytűzoltás szervezeti alapjai szabályozásának áttekintésekor ismét a Tűzvédelmi törvényhez kell visszanyúlnunk. A jogszabály 2.§-a kimondja, hogy „*A tűzoltás és műszaki mentés állami feladat*”, valamint rögzíti a különböző tűzoltóságok (hivatásos tűzoltóság, önkormányzati tűzoltóság, létesítményi tűzoltóság és önkéntes tűzoltó egyesület) együttműködési kötelezettségét. Az értelmező rendelkezések között definiálja a különböző tűzoltóság típusokat, köztük a létesítményi tűzoltóságot⁸ is. Rendelkezik a tűzoltás, mint szaktevékenységhez szorosan kapcsolódó tevékenység alapvető szabályairól, így például a tűzoltásvezető jogairól és kötelezettségeiről, a beavatkozásokkal összefüggésben okozott károk rendezéséről, a közreműködési kötelezettségről, az adatkezelésről, a tűzoltóságok irányításáról, ellenőrzéséről és a vonatkozó szabályozási kérdésekről. Általánosan szabályozza a létesítményi tűzoltóságok létrehozásával, működtetésével, irányításával, tagjaival és ellenőrzésével kapcsolatos kérdéseket.

A létesítményi tűzoltóságokra – melyből jelenleg 68 működik hazánkban, szemben a 2012-es 106-al – vonatkozó részletes szabályokat a 239/2011. (XI. 18.) kormányrendelet⁹ rögzíti. [16] [17] A kutatásomhoz számos ponton szorosan kapcsolódó jogszabály a 19. § (2) bekezdésében két követelményt rögzít a létesítményi tűzoltóság által biztosítandó beavatkozási képességekre vonatkozóan: „*A létesítményi tűzoltóságot úgy kell megszervezni és felszerelni, hogy képes legyen a létesítményben keletkezett tűz oltását önállóan, az elsőfokú hatóság által előírt erővel, eszközökkel megkezdeni és önállóan vagy a riasztható hivatásos tűzoltóságokkal együttesen a létesítményben várható legnagyobb veszélyhelyzetet megszüntetni.*” A következő bekezdésben rögzíti, hogy „*többféle, eltérő felszerelést és anyagokat igénylő veszélyhelyzet*” lehetősége esetén valamennyi eseménytípus elhárítására fel kell készülni, amihez azonban „megállapodás alapján biztosított egyéb erők” is figyelembe vehetőek. A kormányrendelet a 18. §-ban rögzíti, hogy mely esetekben szükséges a létesítményi tűzoltóság fenntartása, valamint mely esetekben kell főfoglalkozású létesítményi tűzoltóságot (FLT) működtetni.

⁸ 4. § q) *létesítményi tűzoltóság*: tűzoltási és műszaki mentési feladatok elvégzésére, gazdálkodó szervezet által létrehozott, önálló működési területtel nem rendelkező tűzoltóság;

⁹ 239/2011. (XI. 18.) Korm. rendelet az önkormányzati és létesítményi tűzoltóságokra, valamint a hivatásos tűzoltóság, önkormányzati tűzoltóság és önkéntes tűzoltó egyesület fenntartásához való hozzájárulásra vonatkozó szabályokról

Az FLT-k vonatkozásában a kormányrendelet és a további szabályozók az alkalmoszerűen igénybe vehető létesítményi tűzoltóságoknál szigorúbb, gyakran a hivatásos tűzoltóságoknál alkalmazottal megegyező követelményeket határoznak meg. Példaként kiemelhetők a főfoglalkozású tűzoltókra meghatározott egészségügyi, fizikai és pszichikai követelmények, melyek megegyeznek a hivatásos tűzoltókra előírtakkal ¹⁰, vagy a képesítési követelmények vonatkozásában: az FLT-k parancsnokainak, tűzoltás vezetőinek és főfoglalkozású tagjainak a készenléti jellegű szolgálatot ellátó hivatásos katasztrófavédelmi szervek tűzoltósági szakterületének tagjaival megegyező szakmai tartalmú képesítéssel kell rendelkezniük ¹¹.

A mobil tartálytűzoltás kérdését kutatva nemzetközi kitekintést tettem az egyes részterületek vizsgálata során. Vonatkozó megállapításaimat az értekezésben, az adott elemzés kapcsolódó pontjainál rögzítettem, ugyanakkor a következő általános megállapítást tettem. A tartálytűzek mobil eszköz-rendszerrel történő felszámolásával kapcsolatos elvárásokat és képességeket alapvetően két jellemző határozza meg: a szabályozási és hatósági környezet, valamint az üzemeltetői felelősségvállalás és tudatosság. Megállapításom szerint alapvetően e két tényező súlyától és arányától függően alakul ki az adott területen (országban) az éghető folyadékot tároló tartályok tűzoltásának rendszere.

A hatósági szabályozó szerep a legtöbb országban gyengébb, mint hazánkban, ami valószínűleg számos esetben hozzájárult a közelmúlt nagyobb jelentőségű, tartályokat érintő baleseteinek és tüzeseteinek kialakulásához is. Emellett a beavatkozások feltételrendszerének – már a létesítés során történő – biztosításában is meghatározó az előíró szabályozás, amiben hazánkban előrelépést hozott az új – 2015. március 5-től hatályos – Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ). [18] A gazdálkodó tevékenységet folytatók magasabb fokú szabadsága és a gyengébb hatósági előíró-szerep, rendszerint nagyobb költség és működési hatékonyságot eredményez, rugalmasabb megoldásokat hív életre. Ilyen – mobil tartálytűzoltáshoz kapcsolódó – példaként említhető a mobil tartálytűzoltás hatalmas eszköz- és anyagigényének megállapodásokon alapuló, nagy területről és távolságokról való, összevonással történő biztosítása.

¹⁰ 57/2009.(X.30.) IRM-ÖM-PTNM együttes rendelet az egyes rendvédelmi szervek hivatásos állományú tagjai egészségi, pszichikai és fizikai alkalmasságáról, közalkalmazottai és köztisztviselői munkaköri egészségi alkalmasságáról, a szolgálat-, illetve keresőképtelenség megállapításáról, valamint az egészségügyi alapellátásról

¹¹ 9/2015. (III. 25.) BM rendelet a hivatásos katasztrófavédelmi szerveknél, az önkormányzati és létesítményi tűzoltóságoknál, az önkéntes tűzoltó egyesületeknél, valamint az ez irányú szakágazatokban foglalkoztatottak szakmai képesítési követelményeiről és szakmai képzéseiről

Ezen eljárásrend hazánkban nem teljesen tisztázott, időszerű a szabályrendszer kérdéses pontjainak rendezése, hiszen e megoldás több nagy tartálytűz felszámolását tette lehetővé az elmúlt években a világban (például: 2003. szeptember: Hokkaido, Japán; 2005. december: Buncefield, Egyesült Királyság; 2008. június 3: Kansas City, USA; 2016. február 3: Fredericia, Dánia). [19] [2]

Hasonló rugalmasságot mutat a szabályozásban megfogalmazott, előremutató szemléletváltás: Az (új) OTSZ alapján a tűzvédelmi hatóság a tűzvédelmi műszaki irányelvektől vagy a nemzeti szabványtól részben vagy teljesen eltérő megoldást is jóváhagyhat, ha az igazoltan (legalább) azonos biztonsági szintet biztosít. [20] E szemléletmód napjainkban még nem jellemzi az általam kutatott, mobil eszközökkel történő tartálytűzoltási részterületet. Meggyőződésem, hogy hasonló rugalmasságot biztosító, együttműködésen alapuló megoldások, mentő tűzvédelmi területen történő bevezetése által a tartálytűzoltás rendszere is fejleszthető.

1.2. A mobil tartálytűzoltás kutatása a világban

A nagyméretű földfeletti tárolótartályok iparbiztonsági és tűzvédelmi környezetben történő elhelyezéséhez és megalapozásához kapcsolódóan több, az NKE HHK Katonai Műszaki Doktori Iskolájában megvédett doktori értekezés, habilitációs dolgozat, tanulmány és cikk készült, valamint a szakterület jeles képviselői más csatornákon is közzétették szakmai munkásságuk eredményét.

Választott kutatási területemhez szorosan kötődik két doktori értekezés, valamint szerzőik kapcsolódó tudományos tevékenysége. Hesz József munkája¹² a kőolajfinomítók iparibaleset-elhárításának részeként vizsgálta a tartálytüzekkel kapcsolatos beavatkozási kérdéseket, míg Szócs István környezetvédelmi fókusszal kutatta a tartálytüzek felszámolásának – elsősorban – beépített rendszerekkel történő fejlesztési lehetőségeit¹³. A tartálytüzek felszámolásával kapcsolatos közvetlen kutatásra kevés példa van az elmúlt évekből, esetenként a hazai felsőoktatásban – leginkább a műszaki területen¹⁴ – egy-egy részterület fejlesztésére irányuló vizsgálatra került sor. A mobil eszközökkel történő tartálytűzoltásra vonatkozó átfogó szakmai mű a közelmúltban nem készült.

¹² Hesz József: Az iparibaleset-elhárítás eljárás- és eszközrendszerének kutatása és fejlesztése, különös tekintettel a kőolaj-finomítókra – Doktori (PhD) Értekezés

¹³ Szócs István: Környezetkímélő technológiák kutatás-fejlesztése tartálytüzek oltására – Doktori (PhD) Értekezés

¹⁴ Aszódi Attila: Tranziens természetes konvekció modellezése: Veszélyes folyadékot tároló tartályok baleseti helyzetének termodinamikai elemzése – Budapesti Műszaki Egyetem, Gépészmérnöki Kar, PhD Értekezés

A tartálytűzoltással foglalkozó szakemberek az eljárásrend átfogó rendszerét napjainkban is csak az elmúlt évszázad hetvenes, nyolcvanas éveiben készült szakkönyvekben¹⁵ tanulmányozhatják részletesen. Hasonlóan – több évtizedes alapokra épülve – készültek az elmúlt évek kapcsolódó – éghető folyadékot tároló tartályokkal kapcsolatos ismereteket csak érintőlegesen tárgyaló – tankönyvei a Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet, a Katasztrófavédelmi Oktatási Központ, és a Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar Tűz- és Katasztrófavédelmi Intézet gondozásában¹⁶. Esetenként megkérdőjelezhető szakmai tartalmú tanfolyami jegyzetek kerültek közreadásra – többnyire valamely tanfolyamszervező vállalat szerkesztésében és kiadásában. Általánosságban kijelenthető, hogy a hazánkban napjainkban rendelkezésre álló szakirodalom korszerűsítésre, fejlesztésre szorul; egy, a nagyméretű, éghető folyadékot tároló tartályokkal és a tartálytűz oltással kapcsolatos ismereteket összefoglaló szakanyag készítése hiánypótló jelleggel bírna.

Napjainkban külföldön is csupán néhány szakmai központban folytatnak tartálytűzvédelmet is érintő kutatásokat. Ezek jobbára kutatóintézetekhez, vagy egyetemekhez kapcsolódnak, többnyire azonban tartályok üzemeltetésében érintett – elsősorban olajipari – nagyvállalatokhoz kötődnek. Leginkább finanszírozási nehézségek miatt – a megtérülési és gyakorlati hasznosításra irányuló lehetőségek okán – gyakran a kutatóintézetekben zajló fejlesztések háttérben is gazdálkodó szervezetek, nagy olajtársaságok és vállalatcsoportok állnak.

Tartálytűzvédelemmel (is) foglalkozó kutatóközpontként kiemelhető az Egyesült Királyságból a Loughborough Egyetem¹⁷, Svédországból az SP Svéd Nemzeti Kutató Intézet¹⁸, Japánból a Nemzeti Tűz és Katasztrófa Kutató Intézet¹⁹ és a Chiba Intézet²⁰, valamint Tajvanon a Nemzeti Kaohsiung Egyetem²¹. Ezek a kutatóintézetek általában a tartálytűzvédelem és tartálytűzoltás egy-egy részterületének vizsgálatára fókuszálnak, mely orientációk a külső igényektől és lehetőségektől függően folyamatosan változnak. Így a Loughborough Egyetemen a kivetődés-kiforrás jelenségét, valamint a tartálytüzekhez kapcsolódó – külső és belső – hőtani folyamatokat kutatták a közelmúltban Geoffrey Hankinson professor vezetésével. [21] [22] Az SP kutatóintézet kutatási projektje (FOAMSPEX Projekt) a nagyfelületű oltóhab alkalmazás vizsgálatára, valamint a habterjedés és tűzoltás modellezésére irányult 1998-2001 között. [23]

¹⁵ Bleszity János, Kun Szabó Gyula, Kuncz Imre, Pintér Ferenc, Puskás Sándor, Szalay Béla, Szalontai Imre, Szárai Zoltán, Tóth Mihály, Totzl Károly, Zelenák Mihály

¹⁶ Beda László, Bleszity János, Demény Gábor, Dombi József, Kovács István, Nagy Béla, Zemplén István, Zelenák Mihály,

¹⁷ Loughborough University

¹⁸ SP Swedish National Testing and Research Institute

¹⁹ National Research Institute of Fire and Disaster (NRIFD)

²⁰ Chiba Institute of Science

²¹ National Kaohsiung First University of Science and Technology

A japán NRIFD kutatóintézet a tartálytűzvédelem számos területével foglalkozik. Korábban elsősorban a folyadékok égési jellemzőit, és a kivetődés-kiforrás jelenséget kutatták, de a Hokkaido szigetén 2003 szeptemberében történt tartálytüzeket követően további szakterületekkel szélesítették kutatásaikat. Így például – a bekövetkezett eseményhez kapcsolódóan – vizsgálják a földrengések tárolótartályokra kifejtett hatásait és a kapcsolódó baleset megelőzési lehetőségeket. A japán Chiba Intézet szakemberei a tajvani Kaohsiung Egyetem kutatóival együttműködve – a NRIFD korábbi vezető kutatója, Hiroshi Koseki irányításával – vizsgálják az általam is kutatott „szárazhab”, tartályok tűzvédelmében történő alkalmazásának lehetőségét (2.1.3 és 4.2 fejezetek). Munkám során számos vizsgálati eredményt, megállapítást osztottunk meg egymással, mely együttműködést a továbbiakban is folytatni tervezem.

Választott kutatási területemhez kapcsolódó ipari fejlesztésben több nagy olajipari vállalat is aktívan vesz részt; ilyenek például a BP, Total, Shell, Nesteoil, Petronas, Sinopec, Qatar Petroleum, Mero, Idemitsu, Zadco, Tupras, Takreer, Sloznaft, INA, és végül hazánkban a MOL Nyrt. A felsorolt gazdasági társaságok és vállalatcsoportok több esetben más iparági szegmensekben is tevékenységet folytatnak. Erre leggyakrabban a vegyipar területén kerül sor, melyben ugyancsak jellemző az éghető folyadékok nagyméretű tartályokban történő tárolása. A vegyipari vállalatok közül kiemelkednek a német BASF tartálytűzvédelmi és mobil tűzoltási fejlesztései.

A fejlesztési folyamatokba esetenként bekapcsolódnak a tartályos tárolási területeken feladatot ellátó, beavatkozó, tűzvédelmi és mentési tevékenységet végző szolgáltatók is. Kutatási témakörömhöz kapcsolódóan az ipari tevékenységet folytató vállalatok belső tűz- és balesetelhárító szervezetei mellett külföldi példaként a Rotterdam ipari övezet és kikötő közös létesítményi tűzoltóságát²², míg hazánkban a MOL leányvállalatként működő FER Tűzoltóságot²³ érdemes kiemelni. Mindkét szervezet az általa védett terület sajátosságaihoz igazítottan, optimalizált mobil tartálytűzoltási rendszert fejlesztett ki az elmúlt időszakban, melynek néhány – kutatásaimhoz kapcsolódó – eleme a későbbiekben ismertetésre kerül. (2.3.2 fejezet)

A gyakorlati kutatások nemzetközi színtereként elsősorban az eddigiekben áttekintett résztvevői kör együttműködéseit és társulásait érdemes megemlíteni. Kutatásaim témakörére specializálódott, a nagyméretű állóhengeres atmoszférikus éghető folyadékot tároló tartályok tűzvédelmének átfogó vizsgálatára, és a nemzetközi tapasztalatcsere lehetőségének biztosítására jött létre a LastFire projekt.

²² Gezamenlijke Brandweer

²³ FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft.

A LastFire csoport a 10 méternél nagyobb átmérőjű, atmoszférikus tárolótartályoknál bekövetkezett eseteket, valamint e tartályok tűzvédelmét átfogó jelleggel – Niall Ramsden – irányításával vizsgálja. Az 1997 júniusa óta működő szervezetben a világ legnagyobb olajipari vállalatai a tartályüzemeltetési, a biztonsági és a tartálytűz oltási területen működnek együtt. Jelenleg 16 nagy olajipari vállalat dolgozik együtt a fejlesztéseken, teszi közzé tapasztalatait, eredményeit. A MOL Magyar Olaj- és Gázipari Nyrt. 2003-tól tagja a szervezetnek, tevékeny részvételével hozzájárul a kutatásokhoz. A cégcsoport 3 fővel képviselteti magát a projekt irányítótestületeiben és az évente két alkalommal megrendezésre kerülő tanácskozásokon. [24]

Kiemelkedő a JOIFF keretében megvalósuló nemzetközi együttműködés. A veszélyes ipari létesítmények biztonságával foglalkozó szakemberek és elhárító szervezetek szakmai szerveződésének középpontjában a tudásmegosztás áll. A szakmai tapasztalatok és „legjobb gyakorlatok” megosztása mellett, az ipari biztonsághoz kapcsolódó ajánlásokat, esettanulmányokat, vizsgálati jelentéseket is közzétesznek. A szerveződésen belüli kommunikáció során kitűnően használják ki az elektronikus kapcsolattartási lehetőségeket, melyek nagyon gyors és széleskörű tájékoztatást tesznek lehetővé. A szerveződésnek jelenleg közel négyszáz – többnyire szervezet – a tagja. A tartálytűzoltás különleges, de egyre időszerűbb területével foglalkozik az ETANKFIRE. Kutatási célterülete a nagy etanol tartalmú éghető folyadékot (például E97²⁴ és E85²⁵) tároló tartályok tűzoltási kérdéseinek vizsgálata. A korábban már említett svéd SP kutatóintézet koordinációjával működő szerveződés tagjai között egyaránt találunk olajtársaságot és ipari beszállítót. [25]

A vonatkozó kutatások rendkívül költségesek, ugyanakkor az új műszaki megoldások, anyagok, vagy éppen technológiák kifejlesztése és piaci bevezetése csábító üzleti lehetőséget kínál. Nem meglepő tehát, hogy a fejlesztésekben legnagyobb anyagi forrással a tartályos tárolásban érintett iparágakat kiszolgáló, legnagyobb beszállítók vesznek részt. A folyamatosan erősödő környezetvédelmi törekvések okán a nagy habképzőanyag gyártó vállalatok – egymással versenyezve – újabb és újabb oltóanyagokkal jelennek meg. Termékfejlesztéseik kritikus pontja a tűzoltási kísérletek alacsony száma, valamint a tényleges tűzoltási feladattól többnyire nagyságrendekkel kisebb mérete. Üzleti megfontolások miatt, elsősorban a „piacra kerüléséhez” elengedhetetlenül szükséges szabványos teszteken²⁶ törekednek kiemelkedő teljesítményre, nagyobb felületű próbákra csak alkalmanként, valamint a végfelhasználókkal együttműködve kerül sor.

²⁴ E97: Denaturized ethanol azaz denaturált szesz

²⁵ E85: 85 t% etanol és 15 t% benzin elegye

²⁶ Például: EN 1568; ICAO; UL; LastFire;

A tartálytűzoltás mobil eszközeinek fejlesztési folyamatában két szereplőcsoport azonosítható: az eszközöket használó beavatkozók, akik a korábbiakban jelzett ipari elhárítási igényeket megfogalmazzák, valamint a felszerelés gyártók, akik a „vásárlók” által megfogalmazott piaci elvárásokat a kor műszaki színvonalának megfelelően kielégítik. Az értekezésem témaköréhez kapcsolódó, a mobil tartálytűzoltó eszközök fejlesztésének speciális jellemzője, hogy az általánosan alkalmazott felszereléseknél többszörösen nagyobb teljesítményű műszaki rendszerelemek létrehozására irányul. A technikai eszközök elvi kialakítása a legtöbb esetben megegyezik a kisebb teljesítménytartományban működő felszerelésekkel, a fejlesztés csupán a technika „méreteit” illetően különleges.

Különleges beszállítói, és egyben szolgáltató szerepben vesz részt a fejlesztésekben az amerikai Williams Fire & Hazard Control. A texasi székhelyű vállalat az általa kifejlesztett és forgalmazott ipari tűzvédelmi eszközrendszer és oltóanyagok mellett, tűzoltási szolgáltatást is nyújt szerződéses partnereinek. Ezzel összefüggésben az értékesíthető termékek fejlesztése mellett kutatja a tartálytűzoltási eljárásokat, valamint tanfolyamokat szervez az érdeklődő szakemberek számára.

A beszállítói és szolgáltatói fejlesztéseket alapvetően az adott vállalatok üzleti érdekei vezérlik, nem tekinthetők független kutatásnak, a közzétett ismeretcsomag tartalmának teljessége nem minden esetben bizonyított. Ezt a „bizonytalanságot” magában hordozzák azok a – rendszerint nagyon költséges – szaktanfolyamok is, melyek a habbaloltás, vagy éppen tartálytűzoltás témakörében, a beszállítók szervezésével, vagy támogatásával szerveződnek. A szakmai hitelesség szempontjából előnyösebbek az iparágban jelenlévő érintett vállalatok – korábban már említett – együttműködési szervezetei által koordinált képzések.

A kutatási és fejlesztési folyamatot végigkíséri a taktikai eljárásrend, valamint a rendelkezésre álló „elérhető” oltóanyagok és műszaki eszközök hármas rendszere. E három rendszerelem, és az ezeket „képviselő” fejlesztőcsoportok kölcsönhatása és együttműködése eredményezi a mobil tartálytűzoltási rendszer egyre hatékonyabb és eredményesebb működését. Az eddigiekben bemutatott értekezésemben foglalt témakörhöz kapcsolódó fejlesztő tevékenység legfontosabb résztvevőit. A fentiekben kiemelt – valamint hasonló – szervezetek a szerepkörüknek megfelelően tudományos és szakmai publikációk, vagy piaci eszközök útján teszik közzé eredményeiket. Az ismeretmegosztás és kommunikáció fontos felületeként kell megemlíteni a konferenciákat, tanácskozásokat és egyéb fórumokat, melyek meghatározóak a mások eredményeinek megismerése, a megállapítások gyakorlati hasznosítása, a további fejlesztési törekvések megalapozása, valamint a kutatási együttműködések és közös munkák kialakítása szempontjából.

Áttekintettem az éghető folyadékot tároló tartályokra vonatkozó, valamint tűzeseteik mobil eszközökkel történő tűzoltásához kapcsolódó kutatások és fejlesztések rendszerének legfontosabb elemeit. Az értekezésemben bemutatásra kerülő munkámat a szakterület – és különösen az előzőekben bemutatott szakemberek és kutatók – eddigi eredményeire építettem, mely alapadatok forrásait a későbbiekben az adott ismerethez kapcsolódó hivatkozásként szerepeltetem.

1.3. A tárolótartályok és felfogótereik csoportosítása kialakítás, elhelyezkedés és típus alapján

Az atmoszférikus, szénhidrogén tároló tartályok többféle jellemző alapján csoportosíthatók. Tűztípusaikat vizsgálva megállapítható, hogy a tartályok kialakítása a fő meghatározó körülmény.

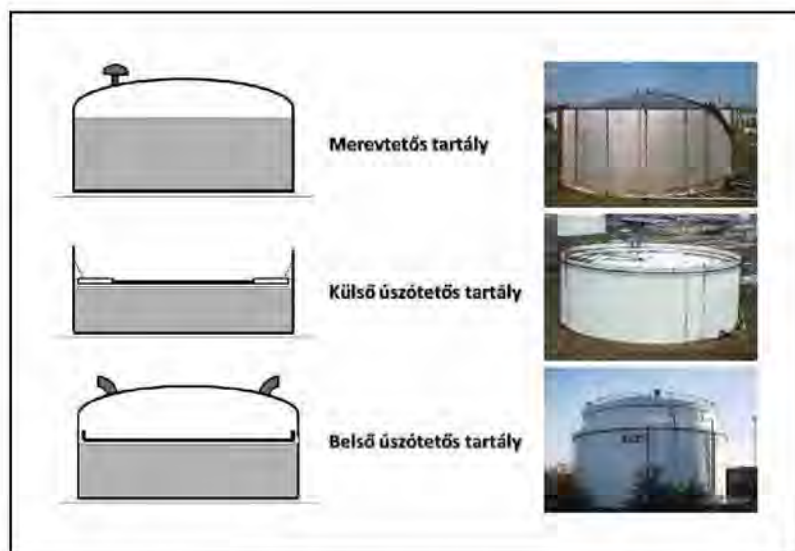
Alakjuk szerint megkülönböztetünk gömbtartályokat, álló- és fekvőhengeres tartályokat. A gömbtartályokat általában gázok, valamint illékony cseppfolyós szénhidrogének tárolására használják, általában kisebb tároló térfogattal. A fekvőhengeres tartályok jellemzően szintén kisebb tároló térfogatúak, mint az állóhengeres tárolótartályok. A legszélesebb térfogat tartományban kétségtelenül az állóhengeres tartályokkal találkozunk; néhánytól a 100.000 köbmétert meghaladó térfogatúak is használatban vannak. A kisebb tartályok gyakran technológiai szerepet látnak el, tűztípusaikat vizsgálva inkább technológiai, mint tároló berendezések.

Elhelyezkedésük alapján a tartályok földfeletti, földalatti, földtakarás alatti vagy részben földalatti kialakításúak. A földalatti elhelyezkedés elsősorban a kisebb tároló térfogatú, fekvőhengeres tartályokra jellemző, például katonai készlettárolás esetén fordul elő. A tartálytüzeket említve általában nagyméretű, atmoszférikus, állóhengeres, földfeletti tárolótartályok tűzeseteire gondolunk, de az alapelvek és módszerek gyakran egyéb éghető folyadék tüzek oltására is átültethetők.

A továbbiakban elsősorban a folyékony szénhidrogének nagymennyiségű tárolására szolgáló, állóhengeres, atmoszférikus acéltartályok jellemzőit tekintem át.

Tetőszerkezetük szerint célszerű csoportosítva három fő típusuk fordul elő [26]:

- Merevtetős tartály: a tartálypalásthoz hozzáerősített, sík vagy kupola formájú tetővel fedett tartály;
- Úszótetős tartály: közvetlenül a tárolt folyadékon úszó, annak felszínét lefedő tetejű, merevtető nélküli tartály;
- Belső úszótetős tartály: merevtetővel és a tárolt anyag felszínén úszó belső úszótetővel is rendelkező tartály.



1. ábra: Tartálytípusok; készítette a szerző 2009.

1.3.1. Merevtetős (fixtetős) tartályok

Ezeknek a tárolóedényeknek rögzített (fix) teteje van, ami a legáltalánosabb – és legegyszerűbb – megoldás. Az alulról bordákkal erősített tartálytetőt mereven hozzáerősítik a tartályköpenyhez, rendszerint hegesztéssel. A tető közel sík vagy kupola formájú lehet. A merevtetős tartályok hazánkban jellemző méreteit az 1. táblázat szemlélteti. [27] A merevtetős tartályokat általában olyan „fekete/sötét-”, nehéztermékek tárolására használják, mint a fűtőolaj, a vákuum desztillátum, vagy a bitumen. (A könnyebb, illékonyabb anyagok tárolására a nyitott, és belső úszótetős tartálytípus szolgál.)

Névleges tartályúrtartalo m (m ³)	Tartály				Védőgödör felülete tartály nélkül (m ²)
	Átmérő (m)	Felület (m ²)	Kerület (m)	Magasság (m)	
2000	16	201	51	10	671
5000	22	380	70	13	1505
10000	30,5	779	96	13	2585
20000	40	1256	126	16	6175
20000 (orosz)	45,6	1633	143	12	4569
30000	50	1963	157	16	7565

1. táblázat: A merevtetős tartályok hazánkban jellemző méretei; készítette a szerző 2009.

E tartályok esetében a legnagyobb veszélyforrást az jelenti, hogy a tárolt folyadék felszíne felett éghető folyadékgőz-levegő keverék alakul ki, mely elegy – az éghetőségi határkoncentrációk között – tűz- és robbanásveszélyt eredményez. A robbanásveszélyes gőz térfogata a folyadékszint és a tető közötti távolságtól függ, alacsony folyadékszint esetén a tartály névleges térfogatát is megközelítheti. A robbanóképes elegy robbanása elrepítheti vagy megrongálhatja a tetőt, ami kiterjedt, nyílt felületű vagy megosztott, illetve árnyékolt felületű tartálytűz kialakulásához vezet. Tűzoltás szempontjából a teljes felületű égés a legelőnyösebb, mert az oltáshoz szükséges habmennyiséget hatékonyabban lehet a tűz felületére juttatni.

Az elrepülő tető további veszélyt jelent, hiszen nagyobb távolságokra eljutva megrongálhatja a felfogóteret határoló szerkezetet, a környező technológiai berendezéseket, tartályokat, vezetékeket, valamint veszélyezteti a közelben tartózkodókat is.

1.3.2. Úszótetős tartályok

Az úszótetős tartályok elnevezése abból adódik, hogy a tetőszerkezet mindenkor követi a folyadékszintet, a folyadék felszínén úszik. Ennek következtében a tető felett nyitott tér található, míg a tető alatt nem alakulhat ki a merevtetős tartályoknál veszélyt jelentő gőz-levegő elegy, hiszen ott a folyékony termék található. [28] Az úszótető beékelődésének megelőzésére a tető átmérőjét a tartályátmérőnél 100 - 400 mm-rel kisebbre készítik.

Az úszótető különféle kialakítású lehet; legismertebb megoldások:

- Ponton úszótető: A tartály teljes felületét levegővel töltött rekeszek (kavernák) fedik. Még nagyszámú kaverna kilyukadása esetén sem süllyed el az úszótető.
- Gyűrűpontos (membrán) úszótető: A tartálytető kerülete mentén, gyűrűszerűen helyezkednek el a tető úszását biztosító, radiális irányú elemekkel cellákra osztott rekeszek. A gyűrűn belül, a tető középső felszíne 3-6 mm vastag körlemez membránból áll.

A tartálypalást felső élének megerősítését, annak merevítése érdekében biztosítani szükséges, amit általában merevítő peremmel tesznek meg. Néhány esetben a körjárdát alkalmazzák ilyen célra és hegesztik az oldallemez tetejéhez, ami egyben lehetővé teszi a palást körüli közlekedést is.

Az úszótetős tartályok és a tető legkritikusabb pontja a tető széle és a palást közötti zárószervezet. E szigetelő szerkezet kapcsolja össze a palástot és a tetőt, lezárja a folyadék felszínét, megakadályozza a gőzök légtérbe szivárgását. A tömítés rugalmas, a tárolt folyadék hatásának, az időjárásnak és a tartályköpenyen való súrlódásnak ellenálló, nehezen éghetőanyagból készül.

A zárószerkezet mentén, az esetlegesen itt kialakuló gyűrűszerű tűzfelület oltására, a bejuttatott hab úszótetőre történő szétterülésének megakadályozására, a tetőre habgát lemezt építenek. Az így kialakuló, 80-100 centiméter magas, tűz esetén habbal feltölthető tér az úgynevezett körgyűrű.

Az úszótetős tartályok esetében kritikus feladat a tető víztelenítésének biztosítása. A merevtetővel rendelkező állóhengeres tartályok (merevtetős és belső úszótetős tartályok) csapadékelvezetését a tető kiképzése, annak a terület felé irányuló lejtése biztosítja. A nyitott úszótetőre hulló csapadék összegyűjtését és elvezetését azonban a tetőlemez kialakításával és vízelvezető rendszer kiépítésével kell megoldani. A tartály töltöttségétől függő magassági helyzetű tetőről, az összefolyókba gyűjtött víz, tartályon történő átvezetését csuklós kialakítású vagy rugalmas tömlőből készült víztelenítő cső biztosítja. A vízelvezető rendszer eltömődése esetén a felgyülemelő csapadékvíz a tető megbillenését, elsüllyedését okozhatja, míg az átvezető vezeték lyukadása esetén a tárolt szénhidrogén az úszótető fölé kerülve okozhat veszélyt.

A tető túltöltéssel történő kiemelése elleni védelem céljából a tartálypaláston túlfolyónyílásokat létesítenek, melyek a felfogótérbe vezetik a folyadéktöbbletet.

A tetőlemez alsó felületén lábak találhatóak, melyek a tartály leürítése esetén – a tető alatt járható teret biztosítva – az úszótetőt megtartják. E megoldás teszi lehetővé a leürítést követően az esetleges belső ellenőrzési, karbantartási, javítási munkálatok elvégzését.

Névleges tartály űrtartalom (m ³)	Tartály				Körgyűrű felülete (m ²)	Gödör felülete tartály nélkül (m ²)	Köztitér felülete (m ²)
	Átmérő (m)	Felület (m ²)	Kerület (m)	Magasság (m)			
5000	22	380	70	13	96	1505	-
10000	32	804	100	16	143	2930	-
20000	41,5	1352	130	16	190	4715	-
40000	58	2641	182	16	265	7968	-
60000	72	4070	226	16	331	7706	5336
80000	70,5	3902	221	22,2	325	573	-

2. táblázat: A nyitott úszótetős tartályok hazánkban jellemző méretei; készítette a szerző 2009.

Az úszótetős tartályok általában nagyobb beruházási költséggel építhetők, mint a merevtetősök. Mégis egyre szélesebb körben alkalmazzák, hiszen ez a kialakítás lehetőséget biztosít nagyobb tároló térfogatok elérésére, és a megépítés többletköltségei a lényegesen kisebb párolgási veszteségek miatt gyorsan megtérülnek. A nyitott úszótetős tartályok hazánkban jellemző méreteit a 2. táblázat szemlélteti.

1.3.3. Belső úszótetős tartályok

A belső úszótetős tartálytípus leginkább a merevtetős és az úszótetős tartály egyesítéseként írható le, hiszen ebben az esetben mindkét tető megtalálható a tárolótartályon. E kettős tetőszerkezettel kialakított edényszet egyesíti a nyitott úszótetős és merevtetős tartályok előnyeit. Alkalmazása akkor előnyös, ha más megoldás esetén a termék párolgási vesztesége jelentős anyagi kárt okoz. E hatékonyság csökkenés különösen állandóan magas napi középhőmérsékletű térségekben, valamint erősen párolgó anyagok esetén jelentkezik. A nyitott úszótetőről történő csapadékelvezetés sérülékenységet is kiküszöböli a külső merevtető, így a veszélyt jelentő üzemzavarok lehetősége is csökken.

A fixtető ebben az esetben is hasonló a merevtetős tartályok esetében alkalmazotthoz, de jól látható, nagy szellőzőnyílások találhatók a tartálytető felületén. E kürtők célja a levegő átáramlásának tetőn át történő biztosításával a belső gőztér folyamatos átszellőzése. Megfelelő légcserre esetén a két tető közötti térben nem alakulhat ki robbanásveszélyes gőz/levegő elegy. A belső tető az úszótetős tetőszerkezethez hasonló, azzal a különbséggel, hogy nincs szükség tetővíztelenítő berendezésre, hiszen a csapadékelvezetését a külső tető biztosítja.

Alkalmaznak kaverna nélküli, tálcaszerűen kialakított membrántetőket is. Ebben az esetben nem kerülnek kialakításra a tető úszását elősegítő cellák.

A belső úszótetős tartályokat gyakran már meglévő tartályok átalakításával hozzák létre: a meglévő merevtetős tartályokba belső úszótetőt építenek be, illetve az úszótetős tartályt merevtetővel egészítik ki.

1.3.4. A felfogóterek csoportosítása

A tartályok esetleges sérüléséből adódó anyagkifolyások következményeinek csökkentése érdekében a tárolóedény körül felfogóteret alakítanak ki. Ha a tartály megsérül, a kifolyó anyag a felfogótérbe áramlik, és feltölti azt. [29]

A tartályok a felfogóterek kialakítása szerint lehetnek:

- Védőgödörös tartályok, melyek kétféle kialakításban terjedtek el:
 - Földsánccal határolt védőgödör;
 - Védőfallal (például beton, vasbeton, téglá) körülvett védőgödör.
- Védőgyűrűs tartályok.

A felfogótérben helyezkednek el a tartály üzemeltetéséhez szükséges technológiai berendezések (például: keverőmotor, víztelenítő, szintjelző), a kapcsolódó csővezetékek és a kezelést segítő közlekedőfelületek, járdák, pódiumok. A felfogótérben lejtéssel kialakított nyitott árkok gyűjtik össze és vezetik el a csapadékot a legmélyebb ponton kiépített gyűjtőaknába. Onnan – üzemelő tartályok esetében általában zárt állapotú – kettőzött tolózárak megnyitásával lehet továbbengedni az esővizet, hóolvadékot az üzemi csatornahálózatba. Ez a csapadékvíz elvezető csatornarendszer a tűzoltás során a felfogótérbe bejuttatott oltóvíz eltávolítását is biztosíthatja.

1.3.4.1. Védőgödör felfogótérrel kialakított tartályok

Hazánkban a nagyobb térfogatú tartályokat általában földsánccal határolt védőgödörben helyezik el. Az ilyen gátszerkezet megépítése során nagy figyelmet kell fordítani a megfelelő kivitelezésre, hiszen anyagkifolyás esetén akár több méteres folyadékmagasság visszatartását kell biztosítani. Tartályfelújítások esetén általános, hogy a földsáncot átvágják, így biztosítva a járművek behajtását a tartály közelébe. Ilyen munkálatok befejezését követően a földsáncot folyamatos tömörítéssel kell visszaépíteni, a tartály csak ezt követően vehető ismét használatba.



1. fénykép: Földsánccal határolt védőgödör; készítette a szerző 2009.

A védőfallal kialakított védőgödör elsősorban kisebb térfogatú tartályok esetén alkalmazott, a földsánchoz képest kisebb helyigényű megoldás. Hátránya, hogy a ridegebb határoló szerkezet sérülékenyebb, kevésbé őrzi meg álló- és záróképességét egy esetlegesen elhúzóódó felfogótértűz alkalmával, sőt a védőfal alámosódása is bekövetkezhet.

Hazánkban leggyakrabban vasbetonból épített falakat alkalmaznak, de előfordulnak betonból, kőből, téglából kialakított szerkezetek is.



2. fénykép: Beton védőfallal kialakított védőgödör; készítette a szerző 2009.

A 2005. decemberben bekövetkezett Buncefield-i tartálytelep-katasztrófa során megsérült védőfal károsodásait szemléltetik az alábbi fényképek.



3. fénykép: Tűzeset során károsodott védőfal

[30]



4. fénykép: Alámosott védőfal [31]

Kisebb térfogatú tartályok esetében több tartály is elhelyezhető közös védőgödörben. Kialakíthatnak köztiteres, vagy kiegészítő-teres védőgödört is, amikor kettő vagy több tartályhoz külön-külön szükséges kármentő térfogatot átfedéssel biztosítják. Ennél a helytakarékos kialakításnál a védősáncot a közös felfogótér-rész irányába a külső, határoló gátnál 30-40 cm-rel alacsonyabbra építik. A tartályból a kármentőbe kerülő anyag az alacsonyabb gáton átbukva átfolyhat a szomszédos köztiterbe, miután saját felfogótérét megtöltötte.

1.3.4.2. Védőgyűrűs tartályok

A védőgyűrű a tárolótartály köré épített, felül nyitott, külső tartály, amelynek a palástmagassága kisebb, míg átmérője nagyobb, mint a védett tartályé. Ha a tartály megsérül, a kifolyó anyagmennyiség feltölti a gyűrűteret. Méretezésénél – a védőgödör felfogótérhez hasonlóan – követelmény, hogy a védett tartályból kijutó anyag teljes mennyiségét vissza tudja tartani.

A védőgyűrű vasbetonból vagy acélból készülhet, hazánkban az acélból épített szerkezet terjedt el. A tartálypalást és a védőpalást minimális távolsága másfél méter. Külön beépített oltóberendezést kell létesíteni a tartálypalást és a védőpalást hűtésére. A védőgyűrű tűzfelülete számottevően kisebb, mint az azonos méretű tartály köré épített védőgödör tűzfelülete, így a tűzoltáshoz lényegesen kevesebb erő, eszköz és oltóanyag szükséges. A kisebb tűzfelület következtében a beavatkozást végzők nagyobb biztonságban vannak, enyhébb a tűz pszichikai hatása és a környezet hőterhelése is.

A védőgyűrűs tartályok tűzoltásáról kevés az elérhető gyakorlati ismeret, hiszen az ilyen tüzek különösen ritkán fordulnak elő. Hazánkban az elmúlt évtizedekben kezdtek az ilyen felfogótér típussal épített tartályok elterjedni (az első ilyen tartály 1995-ben került átadásra).



5. fénykép: Védőgyűrűs tartály;
készítette a szerző 200

1.4. Az éghető folyadékot tároló nagyméretű állóhengeres, atmoszférikus tartályok tűztípusainak rendszerezése

Ebben a fejezetben az előzőekben áttekintett tartály típusok legjellemzőbb tűzjellemzőit rendszerezem.

1.4.1. A tárolótartályokat érintő tüzesetek előfordulásának gyakorisága

A különböző tartálytűz típusok előfordulási gyakoriságát a LastFire projekt statisztikai adatait felhasználva, a bekövetkezett tüzesetek – valamint egyéb események – számát egy tartályévre²⁷ vetítve mutatom be. E mutatószám a vizsgált időszakban – a kutatásba bevont létesítményekben – bekövetkezett esetek számának és ugyanezen idő alatt teljesített tartályévek hányadosa. Kifejezi, hogy az adott esemény típus évente, tartályonként milyen előfordulási valószínűséggel következik be.

Az adatok a csoport tagvállalatainál 1984 és 2011 év vége között, a 10 méternél nagyobb átmérőjű, állóhengeres, földfeletti, atmoszférikus tárolótartály-állománynál bekövetkezett tartály eseményeket tartalmazzák. A kutatásban 3.756 nyitott úszótetős tartály; 10.914 merevtetős tartály; és 893 belső úszótetős tartály adatai; összesen 441.185 tartály üzemév²⁸ szerepel. [32]

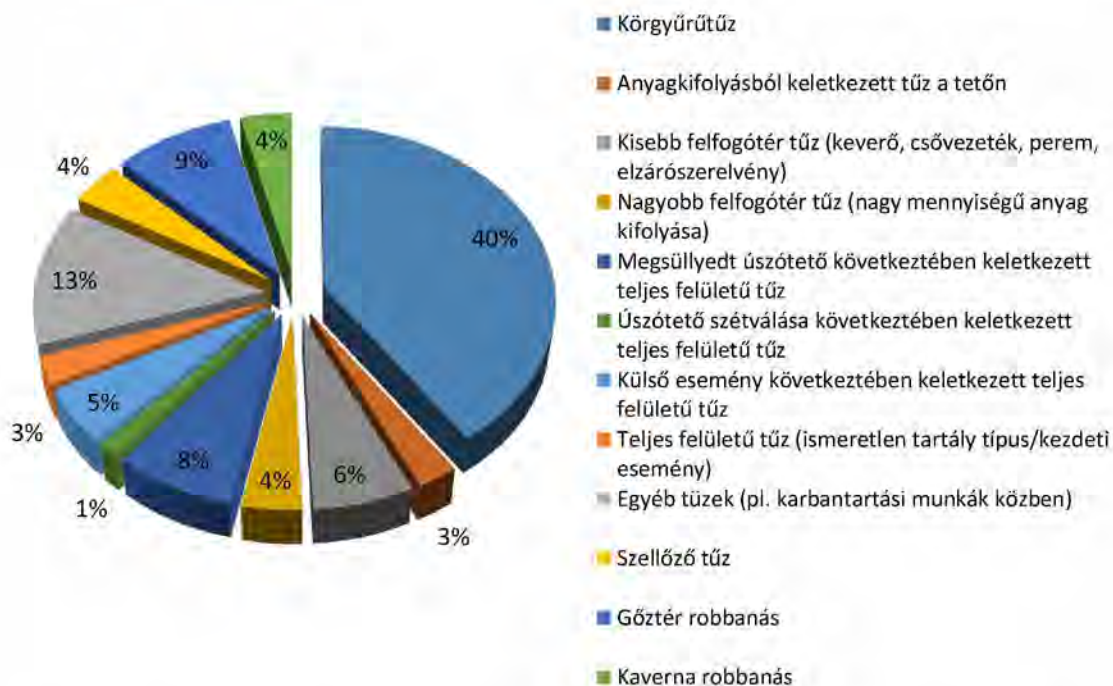
Megállapításuk szerint a tartálytüzek átlagos valószínűsége $1,75 \times 10^{-4}$. Ezen átlagos értéket meghaladó gyakorisággal, $3,47 \times 10^{-4}$ értékkel következnek be tüzesetek nyitott úszótetős tartályokon, amely a tartálytüzek által leggyakrabban érintett tartálytípus. E gyakoriság adatot értékelve figyelemmel kell lennünk azonban arra a tényre is, hogy – a nagy tartályátmérők merevtetővel történő lefedésének nehézségei miatt – nyitott úszótetővel a legnagyobb tárolótérfogatú tartályokat létesítik. Ezt támasztja alá egy másik forrás [33], mely szerint a 40 méternél nagyobb tartályok esetében az általános tartálytűz gyakoriság $1,5 - 1,6 \times 10^{-3}$ tűz/tartályév. A merevtetős ($1,01 \times 10^{-4}$) és belső úszótetős tartályok ($8,77 \times 10^{-5}$) esetében a tüzeset gyakoriság az átlagosnál kisebb.

A 2. ábra a tartálytüzek kezdeti tűztípusainak megoszlását mutatja be. [32]

A 3. táblázat a LastFire projektben résztvevő vállalatok 1984-től 2011-ig terjedő időszakra vonatkozó adatai alapján mutatja be a tárolt anyag tartályból történő kijutásának a gyakoriságát.

²⁷ Egy tartályév: egy tárolótartály egy teljes naptári éves üzemeltetése

²⁸ Az adatszolgáltatásba bevont tartályok összesített működési ideje a vizsgált időszakban (1984-2011)



2. ábra: A tartálytüzek kezdeti tüztípusainak megoszlása; készítette a szerző 2015.

	Tetőre	Tető megsüllyedés	Felfogótérbe
Gyakoriság ($\times 10^{-4}$ /tartályév)	3,09	2,96	3,97

3. táblázat: Az anyagkijutás előfordulási gyakorisága [32]

A 3. számú táblázat adatai alapján megállapítható, hogy a a tartálytüzek által leggyakrabban érintett tartálytípus a nyitott úszótetős tartályok csoportja.

Néhány jellegzetes tartálytűz típus kialakulásának valószínűségét szemlélteti a 4. táblázat. [32]

Tűztípus	Gyakoriság
Körgyűrű tűz	$2,00 \times 10^{-4}$
Szellőző tűz	$9,71 \times 10^{-6}$
Csővezeték-, perem-, elzáró szerelvénny tűz	$9,07 \times 10^{-6}$
Felfogótér tűz	$1,13 \times 10^{-5}$
Anyagkifolyásból keletkezett tűz a tetőn	$4,53 \times 10^{-6}$
Teljes felületű tűz	$2,95 \times 10^{-5}$
Gőztér robbanás	$2,27 \times 10^{-5}$
Kaverna robbanás	$2,27 \times 10^{-5}$
Egyéb	$3,40 \times 10^{-5}$

4. táblázat: Tartálytűz-típusok kialakulásának a valószínűsége [32]

A LastFire csoport által közzétett adatokból kitűnik, hogy a felfogótérek esetében jóval ritkábban következnek be tüzesetek: A felfogótérek tüzeseteit jellemző, egy tárolási tartályévre vetített mutatószám $1,13 \times 10^{-5}$, míg a tartályok vonatkozásában ez az adat $1,75 \times 10^{-4}$. [32]

A tömítőrés tűz és a teljes felületű tűz bekövetkezésének valószínűségét tartálytípusok szerinti bontásban mutatja be az 5. táblázat.

	Merevtető	Nyitott úszótető	Belső úszótető
	tűz/tartály év		
Körgyűrű tűz	-	$2,27 \times 10^{-4}$	$4,39 \times 10^{-5}$
Teljes felületű tűz	$2,10 \times 10^{-5}$	$5,29 \times 10^{-5}$	nincs adat

5. táblázat: A körgyűrű és teljes felületű tartálytüzek gyakorisága. [32]

1.4.2. Tartályok jellemző tűztípusai

A folyékony szénhidrogének nagymennyiségű tárolására szolgáló állóhengeres, atmoszférikus acéltartályokat érintő tüzeset típusokat vizsgálva megállapítottam, hogy alapvetően két tényező jellemzi – a beavatkozás lehetőségét is meghatározó módon – ezeket a tüzeseteket: a tárolótartály (különösen a tetőszerkezet) és a felfogótér kialakítása, valamint a lángolás térbeli alakja. A tartályok és a felfogótérek kialakításának legfontosabb jellemzőit az előző fejezetben ismerttettem.

A tüzek térbeli kiterjedését elemezve a lángolás három típusát azonosítottam: pontszerű tüzek, vonalszerű tüzek, felületi tüzek.

A 6. táblázatban a tartálytüzek legjellemzőbb típusait a lángolás kiterjedése és a tartályok kialakítása szerint rendszereztem. [34]

Térbeli kiterjedés	Tartálytípusok		
	Nyitott úszótető	Belső úszótető	Merevtető
Pontszerű tüzek	Csővezeték-, perem-, elzárószerelvénny-tűz		
	Kaverna- tűz	Szellőző tűz	
		„Halszájak” tüze	
Vonalszerű	Tömítőrés- (körgyűrű-) tűz		-
Felületi tüzek	Felületi tűz az úszótetőn		-
	Részleges tartálytűz		
	Teljes felületű tartálytűz		
	Takart felületű tűz		

6. táblázat: A legjellemzőbb tűztípusok térbeli kiterjedése; készítette a szerző 2015.

1.4.2.1. Merevtetős tartályok jellemző tűztípusai

Merevtetős tartályok tűztípusait csoportosítva felületi és pontszerű (lokális) lángolásokról beszélhetünk.

- a) A felületi tüzek legjellemzőbb típusai:
 - Teljes felületű tartálytűz;
 - Takart felületű tartálytűz;
 - Osztott felületű tűz;
 - Részleges felületű tartálytűz;
- b) A pontszerű (lokális) tüzek legfontosabb típusai
 - Szellőzők tüzei;
 - „Halszájak” tüzei;
 - Csővezeték-, perem-, elzárószerelvényszerű- és egyéb technológiai elemek tüzei.

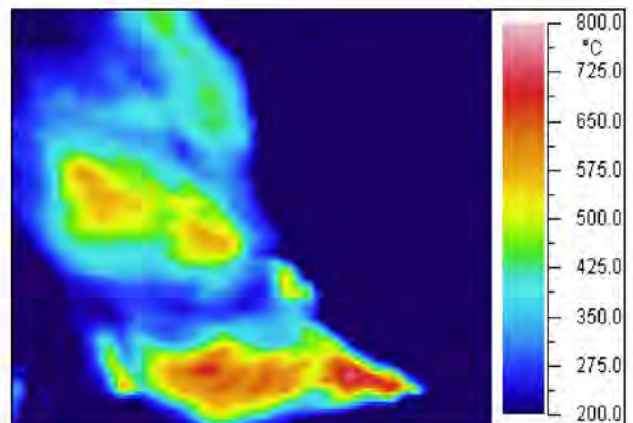
1.4.2.1.1. Felületi tüzek

Teljes felületű tartálytűz: A felületi tűz lehetősége akkor adott, ha egy robbanás következtében a tető megsérül, vagy leszakad. Ha a tető részben vagy teljesen felhasad, kialakulhat a teljes felületű tartálytűz. A beavatkozók feladata viszonylag egyszerű, hiszen nem akadályozza sérült, visszamaradt szerkezet az oltóhab lángoló felszínre juttatását.

A legkézenfekvőbb megoldásnak a beépített habfolyatók alkalmazása tűnik. E beépített berendezések és részegységek azonban rendkívül sérülékenyek, a detonáció gyakran – a tetővel együtt – a szerelvények sérülését és deformációját is okozza.



6. fénykép: Teljes felületű tartálytűz;
Forrás: FER Tűzoltóság



3. ábra: Teljes felületű tartálytűz lángterének hőképe [35]



7. fénykép: Lerobbant
tartálytető;
készítette a szerző [26]

Az 1.4.1 fejezet adataiból (5. táblázat) kitűnik, hogy teljes felületű tartálytűz nem csak a merevtetős tartályok esetében fordul elő, bár adat hiányában nem ismert e tüztípus belső úszótetős tárolóedényeken történő bekövetkezésének a gyakorisága.

Takart felületű tartálytűz: Takart felületű tartálytűzről akkor beszélhetünk, amikor a tárolt anyag a tartály valamely megsérült szerkezete – általában a tartálytető, a tartálypalást, vagy annak egy része – alatt, annak takarásában lángol. Ebben az esetben komoly kihívást jelent az oltóhab tűzfelületre juttatása, a teljes felület habtakarásának kialakítása, hiszen a hab belövését akadályozza a takaró hatású szerkezet.

Osztott felületű tűz: Ha egy sérült – rendszerint a kezdeti robbanás következtében károsodott – szerkezeti elem kettő vagy több felületre tagolja a lángoló felszínt, osztott felületű tűzről beszélhetünk. Ebben az esetben a folyadékfelületet megosztó szerkezetroncs akadályozza a habtakaró szétterjedését, így a teljes felület eloltását. A tűzoltás eredményessége több habbejuttatási pont egyidejű alkalmazásával, a mobil eszközökkel képzett habsugár pozíciójának változtatásával biztosítható. A feladatot tovább nehezítheti, ha takart tűzfelület is kialakul.

A tűzoltást (habtakarási feladatot) nagymértékben nehezíti a – későbbiekben bemutatásra kerülő – falhatás jelensége. Az égő folyadékfelszínt megosztó acél szerkezeti elemet mindkét oldalról intenzív lángolás hevíti. Kizárólag kétoldali, egyidejű és összehangolt tűzoltással és hűtéssel alakítható ki megfelelő záróképességű habtakaró a lángteret megosztó lemez közvetlen közelében. Ennek hiányában a túloldali tűz által hevített acélszerkezet magas hőmérséklete okán a habtakaró roncsolódik, nem alakul ki megfelelő záróképességű réteg, így meghiúsul a tűzoltás és/vagy kialakul a visszagyulladás lehetősége.

Részleges felületű tartálytűz: A tűzoltási feladat részleges felületű tartálytűz kialakulása esetén egyszerűbb. Ebben az esetben a teljes felületű tartálytűznél kisebb tűzfelület – megosztás és takart felület nélkül – alakul ki. Elhúzódó beavatkozás esetén fel kell készülni a lángolás kiterjedésére és osztott, vagy teljes felületű tartálytűz kialakulására.

1.4.2.1.2. Pontszerű tüzek

Szellőzők tüzei: A merevtetős tartályok tetején légzőszerelvények – nyomás/vákuum (P/V) szellőzők – találhatók, mely nyílások akkor nyitnak, amikor a tartály ürítés vagy töltés alatt áll. A legtöbb, ilyen tartályon előforduló tüzeset pontszerű tűz, azon belül is a légzőszerelvény tüze.

„Halszáj” tüzek: Előfordul, hogy a belső gőztér robbanása – a túl erős szerkezeti kialakítás következtében – „csupán” néhány kisebb nyílást szakít a tetőn. Ezeket a formájukból adódóan „halszájaknak” nevezik. A kialakult nyílások elhelyezkedésétől, méretétől, a tárolt folyadék jellemzőitől és a felszín elhelyezkedésétől függően – a szellőzők tüzeihez hasonlóan – többnyire külső tűzoltás szükséges.

A szellőzők és a „halszájak” tüzei általában elolthatóak vízköd alkalmazásával, inertgáz tartályba juttatásával, vagy – a tűz és a tetőre vezető feljáró elhelyezkedésétől függően – oltópor alkalmazásával.

Egyéb technológiai elemek tüzei: A tartályok különböző gépészeti, tűzvédelmi, biztonsági és egyéb berendezésekkel vannak felszerelve, melyek közül a legfontosabbak a bűvő- és tisztítónyílások; szintmérő berendezések; hőfokmérők; keverők; töltő-, ürítő- és víztelenítő szerelvények; mérő- és mintavevő nyílások; túlfolyók; belső- és külső létrák; légzők; villámhárítók; földelések; palást- és tetőhűtők; habbaloltó berendezések. A felsorolásból is látható, hogy a tartályokon alkalmazott kiegészítő szerkezetek egy részénél nem kell tűz keletkezésére számítanunk.

Nehézséget jelent egy kedvezőtlen elhelyezkedésű, nehezen vagy csak nagy kockázatvállalással megközelíthető lokális tűz hagyományos kézi oltóeszközökkel és sugarakkal történő oltása.

Ne feledkezzünk meg arról, hogy az égő szellőző vagy felhasadt palástszakasz alatt robbanóképes gőzzel töltött tér található, ami a tartályra történő felhatolást kockázatosná teszi. Ilyen szempontokra is figyelemmel számításba kell vennünk a tartály környezetéből – talajszintről, emelőkosaras gépjármű kosarából, vagy esetlegesen a szomszédos tartályokról – végzett, víz- vagy habágyúkkal történő oltást, kihasználva az oltási távolság jótékony és biztonságot növelő hatását.

Lokális tüzek esetében a beépített habfolyatók tűzoltásra történő közvetlen alkalmazására általában nincs lehetőség, de a folyadékfelület habbal történő letakarásával csökkenthető a tűz utánpótlása.

1.4.2.2. Nyitott úszótetős tartályok jellemző tűztípusai

A nyitott úszótetős tartályok esetében a tűz elhelyezkedése és alakja szerint

- pontszerű,
- vonalszerű (körgyűrű-tűz) és
- felületi tüzek is kialakulhatnak.

1.4.2.2.1. Pontszerű tüzek

A külső úszótetős tartályok esetében is kialakulhat tűz a berendezés, vagy kapcsolódó rendszerek technológiai elemein, de ezt a tárolótartály típust jellemző pontszerű tűzként a kavernarobbanást, a kavernatüzet kell kiemelni. A kavernák a tartálytető teljes felületét, vagy csak a tető egy részét – például gyűrűszerűen – fedő, levegővel töltött rekeszek. Az ezen kavernákba kerülő folyadék gőzének robbanása mechanikai sérülést és fennmaradó füstölést, izzást, lángolást okozhat. Az égő – általában kis mennyiségű – szénhidrogén rendszerint a rekesz(ek) lyukadása vagy esetleg a tető felszínére került anyag következtében jut a kavernába.

Gyújtóforrásként leggyakrabban tűzveszéllyel járó munkavégzés vagy villámcsapás azonosítható. A kavernatüzek oltására leghatékonyabb lehetőségként a kézi habsugarakkal és/vagy tűzoltó készülékekkel végrehajtott beavatkozás kínálkozik. Kisebb lángoló anyagmennyiség esetén, szennyeződészerű lángolásoknál víz, vagy nedvesített víz alkalmazása is elegendő lehet. Kis területre és – legfeljebb – néhány rekeszre kiterjedő tüzek felszámolása érdekében a helyszínt meg kell közelíteni. A helyszín elhelyezkedésétől függően a tartály közlekedő felületeiről (például körjárda, kezelő-pódium), vagy a tetőre – megfelelő biztosítás mellett – leereszkedve vethetőek be az oltóeszközök.

Hab- és vízsugarak vagy -ágyúk alkalmazása esetén a belőtt oltóanyag az úszótető megbillenését okozhatja, ezért törekedni kell a bejuttatott oltóanyag mennyiségének minimalizálására, és kerülni kell a nagyteljesítményű eszközök bevetését.

1.4.2.2.2. Körgyűrű-tűz

A körgyűrűtűz az úszótető és a tartálypalást közötti tömítőrés tüze. Úszótetős tartályok esetében a leggyakrabban előforduló tűztípus. A források egy része ennél a tartály kialakításnál más típusú események kialakulásának még a lehetőségét sem említi.

A tömítés csökkent záróképessége esetén, ha gyújtóforrás jelentkezik, a körgyűrű mentén egy vagy több kisebb tűz keletkezhet, és akár a teljes kerületre kiterjedő körgyűrűtűz is kialakulhat. A lángok ebben az esetben nem olyan magasak, mint teljes felületű tartálytűz esetén, azonban a falhatás miatt eloltásuk a lángoló felülethez viszonyítva aránytalanul nehéz. Kialakulásának gyakoriságára nézve a $2,27 \times 10^{-4}$ tűz/tartályév adat a leginkább elfogadott (lásd az 5. táblázatot az 1.4.1. fejezetben).

Erre a „vonali tűzoltásra” elsődlegesen a beépített habfolyatók biztosítanak lehetőséget. Hiányuk, üzemképtelenségük vagy hatástalan működésük esetén a beavatkozóknak fel kell hatolniuk a tartályra, és – rendszerint – kézi habsugarakkal kell végrehajtaniuk a tűzoltást.

A nagyobb bevetési távolságot és ezzel a biztonságot garantálni képes habágyúk a tömítőrés-tűz oltására nem, vagy csak korlátozott mértékben alkalmasak. E művelet lehetősége nagyban függ a feljárók és a körjárda kialakításától, elhelyezkedésétől. A talajszintre, tartálytetőre vagy emelőkosárba telepített habágyúk önálló bevetése csak akkor eredményes, ha azok – közel – a teljes kerületen képesek belőni a körgyűrűt. A korábban általánosan elterjedt habárboc alkalmazásával történő oltás az újabb eszközök megjelenésével – nehézkes alkalmazhatósága következtében – már szinte teljesen feledésbe merült.

Az oltás során bejuttatott vízmennyiség, az erős esőzések következtében esetlegesen felgyülemlett esővízzel együtt, az úszótető megbillenését vagy süllyedését okozhatja, ilyen módon felületi tüzet eredményezhet.

1.4.2.2.3. Felületi tűz

A felületi tűz kialakulásának leggyakoribb oka a műszaki meghibásodás (például: az úszótető rekeszeinek lyukadása, robbanása, a tető megszorulása, túltöltés). Az erős esőzések során esetlegesen felgyülemlett esővíz is okozhatja a tető alámerülését, amennyiben a csapadékvíz elvezető rendszer eldugul, vagy alulméretezett. Ezen okok következtében az úszótető részben vagy teljesen elsüllyedhet, így teremtve meg az éghető folyadék – részleges, vagy teljes – felületi tüze kialakulásának a lehetőségét. Felületi tűz kialakulhat az úszótetőn, valamint a tárolt anyag szabad folyadékfelszínén.

Felületi tűz az úszótetőn: Az úszótető felszínén szennyeződésszerűen jelenlévő éghető folyadék tüze. A tárolt folyadék felszínén lebegő úszótetőn tócsatűz is kialakulhat, amennyiben a tető felszínére valamely okból éghető folyadék került.

Ez olyan meghibásodások eredményeként következhet be, mint például úszótető lyukadás, úszótető sérülés, tűzveszélyes folyadékkal való szennyeződés, valamint a tárolt anyag tetőre áramlása, ami a tető vízelvezetőjén vagy sérült rekeszein keresztül történhet.

Az ilyen tüzek oltására, azok kiterjedésétől és elhelyezkedésétől függően – kisebb tűz esetén – tűzoltó készülékek, kézi habsugarak vagy habágyúk biztosítanak lehetőséget. A beépített habfolyató eszközök általában nem biztosítják az oltóanyag célirányos kijuttatásának lehetőségét, hiszen a habgát megakadályozza a hab tetőre áramlását és szétterülését.

A tárolt anyag felszínének tüze: Ebben az esetben a tartályban tárolt anyag szabad folyadékfelszíne lángol. Típusait a tető és a lángoló felület elhelyezkedése alapján – a merevtetős tartályokhoz hasonlóan – csoportosíthatjuk.

- **Részleges tartálytűz** akkor fordul elő, ha az úszótető valamelyik oldala megsüllyed, ami a tartályfelület egy részén nyílt folyadékfelület kialakulásához vezet. [36] Elhúzódó beavatkozás esetén fel kell készülni a lángolás kiterjedésére, (például az úszótető teljes elsüllyedése következtében) és az esemény teljes felületű tartálytűzzé fejlődésére. A lángolás közben az úszótető mozgása, a tető-kamrák (kavernák) robbanása, vagy egyéb jelenségek további szerkezeti változást okozhatnak. Szükséges esetben akár a tartálypalást sérülése is bekövetkezhet, ami a lángoló folyadék felfogótérbe jutását és a tűz kiterjedését okozhatja. E veszély csökkentésére egyetlen lehetőségként az eredményes – a továbbterjedést megelőző – tűzoltás kínálkozik.
- **Teljes felületű tartálytűz** általában az úszótető teljes elsüllyedése esetén fordul elő. A merevtetős tartályoknál említetthez hasonló beavatkozási feladat, azonban a beépített habfolyatók alkalmazása csak részben kínál megoldást. A nyitott úszótetős tartályok beépített habfolyatóinak teljesítményét rendszerint körgyűrű-tűzre méretezik, így – még a sértetlen, üzemkész állapotú beépített rendszer bevetése esetén is – szükség van az oldatteljesítmény növelésére további eszközök alkalmazásával.
- **Takart tűzfelület** akkor jön létre, ha az úszótető egyik oldala megsüllyed, míg annak átellenes oldala kiemelkedik a folyadékfelszínből. A megemelkedett tetőrész alatti nyílt folyadékfelületen a tető által takart tűzfelület alakul ki, melynek oltása – a habbejuttatás korlátozott lehetősége okán – különlegesen nehéz feladat.

Amennyiben az úszótető alsó pozícióban van, és támasztólábakon áll, gőztér alakul ki a tető és a termék felszíne között. Ebben az esetben a körülmények hasonlóak a merevtetős tartályokhoz, és számolni kell a gáz/levegő keverék robbanásának veszélyével.

1.4.2.3. Belső úszótetős tartályok jellemző tűztípusai

A belső úszótetős tartályoknál a két együttesen alkalmazott tetőszerkezet előnyei mellett nehézséget jelent, hogy az üzemeltetés során az úszótető helyzete, állapota, felületének esetleges szennyeződése nem követhető figyelemmel. Az úszótető könnyített, vékonyabb kialakítása miatt könnyebben fordulhat elő szabad folyadékfelszín az úszótető felületén, amit a vizuális ellenőrzés nehézségei okán nehezebb észlelni.

A tárolt anyag magas hőmérséklete, a nyári kánikula, vagy az erős napsugárzás intenzív kipárolgást okozhat, ami a nagyméretű szellőzőnyílásokon át kiáramolva robbanásveszélyes koncentrációt alakíthat ki a környezetben. E kibocsátó forrás megszüntetése összetett, elhúzódó és nagy odafigyelést igénylő feladat. Párolgás csökkentő habtakaró alkalmazása esetén figyelemmel kell lenni az oltóhab sztatikus szikraképző képességére, ami technológiai meghibásodásból könnyen robbanást és tartálytűzet okozhat.

Ennél a tartálytípusnál pontszerű, vonalszerű és felületi tüzek egyaránt kialakulhatnak, leggyakrabban szellőző, körgyűrű, vagy felületi tűzként.

Az ilyen tartályoknál a leggyakoribb tűztípusok:

- Szellőzők tüze,
- Körgyűrűtűz,
- Felületi tűz.

A belső úszótetős tartályok esetében is – a merevtetős és a külső úszótetős kialakításhoz hasonlóan – kialakulhat „technológiai jellegű” (pontszerű) tűz, melyet itt nem részletezek ismételten.

- **Szellőzők tüze:** A szellőzők tüzét leginkább a merevtetős tartályokhoz hasonlóan kezelhetjük, a lángolás környékére nagy odafigyeléssel irányított oltóanyag sugarakkal. Veszélyt jelent, hogy a merevtetőn belüli tér oxigénben gazdag, így bekövetkezhet a láng visszaégése, illetve ennek a gőz-levegő keveréknek a robbanása. A felkészülést nehezíti, hogy ilyen tüzesetek oltásáról nem áll rendelkezésre kellő tapasztalat.
- **Körgyűrű-tűz:** Ebben az esetben a nyitott úszótetős tartályoknál leírtakhoz hasonló körgyűrű-tűz oltásához – a tartály kialakításának következtében – a beépített habfolyatók alkalmazhatóak megfelelően. E vonalszerű tűz a belső úszótetős tartályok esetében $4,39 \times 10^{-5}$ tűz/tartályév gyakorisággal következik be. [7]

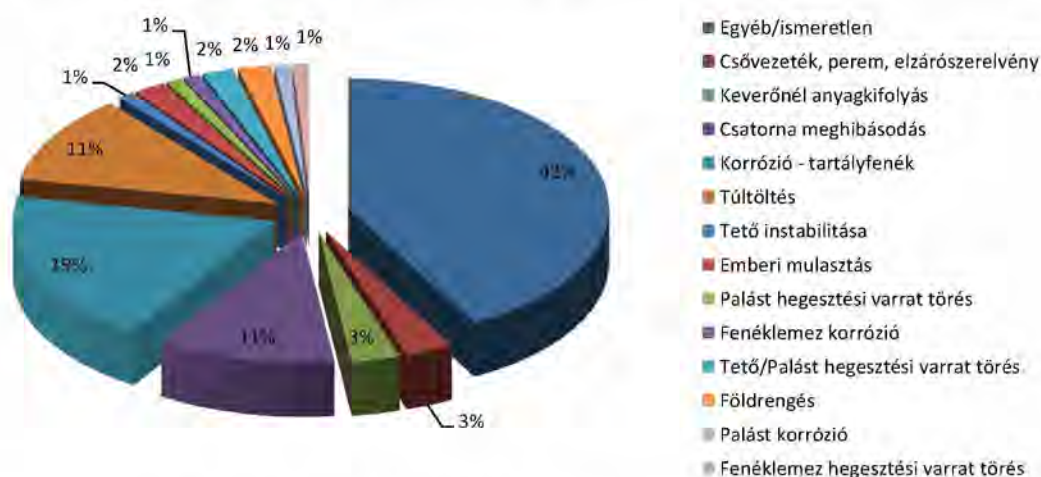
- **Felületi tűz:** A belső úszótetős tartályok esetében is kialakulhatnak nagyobb tűzfelületek, azonban ehhez a merevtető sérülése, és a tárolt éghető folyadék úszótető fölé jutása szükséges. Adat hiányában nem ismert e tüztípus belső úszótetős tárolóedényeken történő bekövetkezésének a gyakorisága. A felületi tűz a korábban – a merevtetős, illetve nyitott úszótetős tartályoknál – említettekhez hasonló beavatkozási feladat.

1.4.3. Tűzveszélyes folyadékot tároló tartályok felfogótér tüzeinek elemzése

A tárolótartályokat érintő tüzeset típusokat vizsgálva a legfontosabb, és a beavatkozás lehetőségét is meghatározó tényező a tárolóedény és felfogótérének kialakítása. A következőkben a tudományos célkitűzésemmel összhangban bemutatom és értékelem a felfogótér tüztípusait, és a tűzoltásukkal kapcsolatos legfontosabb körülményeket.

1.4.3.1. Felfogótér tüzek kialakulása

A felfogótérben alapvetően felületi tüzek alakulhatnak ki, amelyek a „kármentő” felület egy részére (részleges felfogótér tűz), vagy teljes felületére (teljes felületű felfogótér tűz) terjedhetnek ki. Ahhoz, hogy ilyen tüztípus alakuljon ki, a tárolt éghető folyadéknak a felfogótérbe kell kerülnie. Ez bekövetkezhet különböző meghibásodások vagy technológiai hiba következtében, ahogy a 4. ábra is szemlélteti. [32]



4. ábra: A tartályból történő anyagkifolyások okai [11]

Az éghető anyag felfogótérbe kerülhet

- a tűz keletkezését megelőzően, vagy
- a tartály-, illetve technológiai tűz következtében.

Az utóbbi esetben a korábban keletkezett – a tartályra, vagy annak egy részére kiterjedő – tűz hatásainak következtében keletkezik sérülés a tartályon, vagy jön létre tömítetlenség és kerül a védőgödörbe a tárolt anyag. A tűz hatása és a tűzoltásra, illetőleg kárenyhítésre irányuló erőfeszítések együttesen előre nem látható folyamatokat és változásokat indíthatnak el. Példaként említek néhány kiszámíthatatlan következménnyel járó változást: különleges hőmérsékleti viszonyok és ebből eredő belső feszültség (pl. a tűz által okozott hőterhelés, a palást és egyéb szerkezetek hűtése); a bejuttatott oltóanyag tömege, annak tartályszintet emelő-, helyi hűtő- és fizikai (ütő) hatása; a tárolt anyag töltése, vagy ürítése miatti szint változás; a hőmérsékleti viszonyok kiegyenlítését célzó intenzív keverőmotor működés; egyes szerkezetek sérülése/károsodása/deformációja; mozgó szerkezetek (pl. úszótető) megszorulása. Ezek a körülmények a tartály – vagy egyes szerkezeteinek – meggyengülését, tömörtelenségét, ezáltal a tűz felfogótérbe történő továbbterjedését okozhatják.

A már hosszabb ideje pusztító tűz felfogótérbe történő továbbterjedésével jár néhány, hazánkban kevésbé kutatott jelenség, melyek közül a hazai szakmai gyakorlatban a kivetődés és a kiforrás ismertebb. Az alábbi, tartálytűzekkel összefüggő jelenségek a tűz kiterjedésének rendkívül gyors növekedésével járnak:

- Kivetődés, kiforrás (boilover),
- „Froth-over” jelenség,
- „Slop-over” jelenség.

E jelenségek legfontosabb jellemzőit a 1.4.5 fejezetben részletesebben ismertetem.

Az eddig áttekintett jelenségeken túl a tűz felfogótérre való továbbterjedését okozhatják különféle külső behatások, például:

- földrengés,
- terrortámadás,
- környező tartálynál bekövetkezett esemény továbbterjedése,
- környezetben bekövetkezett egyéb esemény hatásai (baleset, robbanás, más – nem a tartályt érintő – tüzeset, stb.).

1.4.3.2. Felfogótér-tűzek különleges tűzoltási jellemzői

Az éghető folyadékot tároló tartályok felfogótéreinak tűzoltása – a tartálytűzhez hasonlóan – alapvetően habbaloltás. Az oltás végrehajtható beépített habbaloltó rendszerrel, mobil eszközökkel, vagy ezek együttes alkalmazásával. Nagyméretű tűzfelületekről lévén szó, a bevetésre kerülő erők rendszerint nagyobb területről kerülnek összevonásra és gyakran eltérő típusú habképző anyagokkal érkeznek a helyszínre.

A tűzoltás módozatától függetlenül, figyelmet kell fordítani az alkalmazott habképző anyagok összeférhetőségére, együttes alkalmazásának lehetőségére – különösen fehérje alapú és szintetikus oltóanyagok együttes rendelkezésre állása esetén. Mobil habbaloltás – vagy beépített és mobil eszközök együttes alkalmazása – esetén a telepítési helyek és habbejuttatási módszerek helyes megválasztásával meg kell akadályozni a habtörést, biztosítani kell, hogy a habbevezetések ne ronscolják a más eszközök által képzett oltóhabot.

Ha a stabil felfogótér-oltó rendszer működőképes, akkor elsősorban azt kell bevetni, de félstabil habrendszer esetén is ajánlott a tűzoltást a beépített berendezésre alapozni. Ettől indokolt esetben el lehet térni, így például:

- a beépített rendszer nem megfelelő állapota, sérülése, károsodása esetén;
- amennyiben a félstabil rendszer alkalmazása a mobil tűzoltáshoz képest aránytalanul nagy többletfeladatot, nehézséget, kockázatot jelent (például kedvezőtlen meteorológiai viszonyok miatt);
- nagy hatékonyságú, a helyi körülményekhez illeszkedő mobil oltórendszer rendelkezésre állása esetén.

A védőgyűrűs felfogóterek szinte minden esetben rendelkeznek beépített stabil vagy félstabil habbaloltó rendszerrel, melyek alkalmazása ennél a műszaki kialakításnál különösen előnyös. A kármentő korszerű kialakításának előnye a kisebb tűzfelület, de mobil tűzoltás esetén nehézséget okoz, hogy az oltóanyagot lényegesen pontosabban és magasabbra kell célba juttatni. Különösen fontos a felállítási helyek átgondolt megválasztása, és felértékelődik az emelőkosaras gépjármű kosarából, vagy oltókarról alkalmazható habágyúk bevetése.

Ha csak kisebb lángolás alakul ki, az rendszerint jól oltható tűzoltó készülékek vagy vízsugarak bevetésével. Ebben az esetben elkerülhetetlen a tűz megközelítése, amit kellő biztonsággal, a visszavonulás lehetőségét folyamatosan fenntartva kell szervezni és végrehajtani. Védőgyűrűs tartályok esetén még kisebb lángolások tűzoltása során is a beépített (akár félstabil) oltórendszert kell használni. Ezek alkalmazhatatlansága esetén a védőgyűrű – vagy tartály – körjárdájáról is bevethető az oltósugar. Ha a tűz szintjének megközelítése elengedhetetlen, a felfogótérbe lépcsőkön, hágcsókon, létrákon leereszkedve, a környezettől független légzésvédelem használatával – és megfelelő biztosítás mellett – tehetjük ezt meg.

Sugárszerű égés [37] alakulhat ki, ha mechanikus sérülés, anyaghiba, tömítetlenség, stb. következtében a tárolt anyag a felfogótérbe áramlik, és ott szétterjedve meggyullad. Ebben az esetben két tűzoltási feladatot azonosítottam:

- Folyadék felületi tüzésnek oltása, és
- Az áramló, lángoló folyadéksugar „térbeli” („háromdimenziós”) tüzésnek oltása.

A védőgödörbe kifolyt éghető folyadék felületének oltására a megfelelő habtakaró kialakítása és folyamatos fenntartása kínál lehetőséget.

Az áramló anyagsugár „térbeli” tüze alapvetően két módszerrel szüntethető meg:

- Kombinált tűzoltás: oltópor és hab együttes bevetésével (lásd a 2.1.2 fejezetben);
- A kifolyt folyadék szintjének megemelésével.

A kifolyt folyadék szintjének a palástsérülés – vagy egyéb tömítetlenség – szintje fölé történő megemelésével megszüntethető a sugárszerűen áramló anyag különálló tüze. Ez a kifolyt éghető folyadék elszivattyúzásának, valamint a haboldatból kivált, vagy hűtési céllal alkalmazott víz elvezetésének szabályozásával érhető el. Indokolt esetben sor kerülhet a felfogótér ipari vízzel – vagy esetlegesen a tárolt anyaggal – való célirányos, felügyelt töltésére.

Védőgyűrűs tartály sugárszerű tüze esetén az oltópor bejuttatását az áramló (háromdimenziós) folyadéktűz lángterébe megakadályozza a kívül elhelyezkedő védőgyűrű. A védőgyűrű magassága megközelíti a védett tartályban lehetséges legmagasabb tárolási szintet, így általában lehetőség van a sugárszerű égés megszüntetésére a felfogótérben kialakult folyadékfelszín megemelésével. Ez nem alkalmazható, ha a lyukadás vagy a palástsérülés a védőgyűrű felső pereme felett, vagy annak közelében helyezkedik el, ebben a magasságban azonban a védőgyűrű már nem jelent a porraloltást korlátozó akadályt. A porsugarat magasbólmentő eszköz kosarából, vagy porraloltásra is alkalmas oltókarról lehet bevetni.

Védőgödörös kialakítású tartály esetén mindkét módszer vonatkozásában figyelemmel kell lenni korlátozó körülményekre:

- A folyadékszint kiáramlási pont fölé emelésében korlátot szab a határoló sánc vagy védőfal gátkorona magassága. A védőgödör feltöltése (vagy feltöltődése) csak megfelelő kialakítású, állapotú – és földszánc esetén kifogástalan tömörségű – határoló szerkezet esetén biztonságos.
- A kombinált tűzoltás alkalmazásában korlátot jelent a porsugarak, porágyúk – habágyúknál – kisebb hatásos sugártávolsága, hiszen nagyobb tartályok esetén akár 40-50 métert meghaladó lövőtávolságú eszköz is szükséges lehet. Ezt a hagyományos porraloltó eszközöknél fennálló gyengeséget küszöböli ki a közösetengelyű por-hab kombinált oltósugár alkalmazása, mely műszaki megoldást a későbbiekben részletesen elemzünk (2.1.2.2 fejezet).

A beavatkozás teljes időtartama alatt fokozott figyelmet kell fordítani a keletkező fenékvíz (hűtésre használt, vagy oltóhabból kiváló víz) folyamatos, szabályozott elvezetésére, mivel ennek hiányában a kármentőben felgyülemlett éghető folyadékot kiszorítva, a tűz terjedését okozhatja.

1.4.4. Tartályokat, felfogótereket érintő egyéb tüzek

A felfogótérben – és esetenként a tartályon is – kialakulhatnak olyan tüzek is, melyek nem tekinthetők felfogótér- (vagy tartály-) tűznek, de technológiai berendezéseket vagy a tartályt érintik, illetőleg veszélyeztetik. Ezek a tüzek, ellobbanások a technológiai tüzekre általában jellemző beavatkozási feladatot jelentenek; leggyakrabban előforduló típusaik:

- Száraz növényzet tüze,
- Felfogótérben tárolt anyagok (például lebontott szigetelés), eszközök, gépek tüze (például karbantartás, felújítás időszakában),
- Kisebb tömítetlenségek következtében „tócsatűz”, fáklya-, vagy sugárszerű égés,
- Szennyezett felületek vagy talaj tüze,
- Szigetelés beizzása, tüze.

Az ilyen, a tartályokat vagy felfogótereket kizárólag elhelyezkedésük szempontjából érintő technológiai tüzek oltása általában a termelő üzemekben és azok környezetében bekövetkező hasonló tűztípusok felszámolásával megegyező. Ezeknek a technológiai jellegű tüzeknek az oltása, felszámolása rendszerint nem teszi szükségessé a tartálytűzoltó megoldások és rendszerek alkalmazását. A beavatkozás többnyire az általánosan készenlétben tartott univerzális eszközökkel, oltóanyagokkal és taktikával is eredményes lehet, de a technológiai üzemekben alkalmazott módszerek alkalmazása szinte mindig eredményre vezet. Megfelelő beavatkozás hiányában ezek a tüzek továbbterjedhetnek a tartályra vagy a felfogótérre, és a tartálytűzoltó rendszerek bevetése válik szükségessé.

A tűzoltás szervezése során figyelemmel kell lenni néhány különleges körülményre:

- A helyszín megközelítését akadályozza a felfogótér határoló palást, fal vagy földsánc, a beavatkozó gépjárműveket a határoló utakon megállítva kell a szerelési feladatokat végrehajtani.
- A tüzeset elhelyezkedésétől függően – általában korlátozott mértékben – használhatóak a tartályok beépített stabil, félstabil tűzoltó és hűtő berendezései, valamint a szerelés megkönnyítéséhez a szárazfelszálló vezetékek.
- Magasban elhelyezkedő beavatkozási helyszín esetén a tűzoltási és bontási munkákhoz magasbólmentő eszközök alkalmazására lehet szükség. A keskeny határoló utak, a felfogótér kiterjedése, a felfogótér határoló földsánc vagy falazat a lehetséges telepítési helyeket behatárolja.
- A felújítások, építési munkák során a megnyitott földsánc gyakran lehetővé teszi a felfogótérbe gépjárművel történő behajtást, amely lehetőséget az esemény típusa, kiterjedése és a lehetséges továbbterjedés ismeretében kell értékelni.

Ilyen tüzesetek gyakran részleges vagy teljes karbantartás, javítás, felújítás, valamint átépítési munkák során következnek be, de előfordulnak kisebb műszaki meghibásodások miatt bekövetkező esetek is. A tartályon, annak környezetében folyó munkavégzések gyakran a tartály lezáró elemeinek (például bűvönnyílás fedelek, keverőmotor) eltávolításával, valamint a technológiai kapcsolatok (vezetékkapcsolatok, elzárószerelvények) megbontásával járnak. E tömörtelen állapot során (például visszamaradó anyagok eltávolítása során, tisztítás időszakában) a tartályban, vezetékekben, szerelvényekben jelentős mennyiségű szénhidrogén, vagy szénhidrogént is tartalmazó szennyeződés fordulhat elő.

Ez az időszak és helyszín különösen veszélyes lehet az üzemszerű állapottól eltérő körülmények miatt, például:

- A tartályban és környezetében toxikus és robbanásveszélyes anyagfelhő alakulhat ki,
- A folyó munkavégzési és beavatkozási tevékenység miatt nem megfelelően védett (például nem robbanásbiztos kivitelű) gépek, eszközök is jelen lehetnek és üzemelhetnek a veszélyzónában.
- A veszélyzónában szokatlanul nagy létszámban tartózkodnak munkavégzők, esetenként – az üzemszüneti állapot okán – hiányos egyéni védőfelszerelésben.
- A munkát, beavatkozást végzők nem rendelkeznek megfelelő technológiai, anyag- és helyismerettel.

Az ilyen, a tartályokat vagy felfogótereket kizárólag elhelyezkedésük szempontjából érintő technológiai tüzek oltását értekezésemben nem vizsgálom részletesebben.

1.4.5. Különleges tartálytűz-jelenségek

A tartályokat érintő tüzek gyors továbbterjedésével jár néhány – kizárólag éghető folyadékot tároló tartályok tüzeseteinél előforduló – jelenség. A következőkben a lángolással érintett terület méretének gyors, akár szinte robbanásszerű növekedésével járó különleges jelenségeket tekintem át.

1.4.5.1. Különleges tartálytűz jelenségek legfontosabb típusai

Kivetődés:

A kivetődés során a tartály fenékvize – a huzamosabb ideje lángoló felszíntől a tartályfenék felé irányuló belső hőterjedés következtében – eléri forráspontját, és mintegy 1694-szor nagyobb térfogra tágul ki. A gyors és hirtelen térfogatváltozás következtében a gőzoszlop által szállított forró, égő anyag lövell a magasba és a tartály környezetébe.

Kivetődés esetében is rendkívüli jelentőséggel bír az időtényező. A 100-115 °C-os réteghőmérséklet süllyedési sebessége – ami az adott anyagra jellemző érték – határozza meg a kivetődés várható időpontját. Ha ez a hőhullám eléri a fenékvíz réteget, létrejön a kivetődés. Korábban, kísérletek során méréseket végeztek a hőterjedési sebesség megállapítására. A tapasztalatok szerint ez az érték kőolaj esetében 4,0-4,6 mm/perc, kerozin esetében 2,9-3,3 mm/perc [38] tartományban alakul, az anyagminőségtől függően.

Ezekből az értékekből kiderül, hogy a kivetődés várható időpontja – a tartályban tárolt anyag vastagságától függően – órákkal, vagy akár napokkal a tűz keletkezésének időpontja utánra tehető. Belátható, hogy a tartálytartalom eltávolításával a kivetődés várható időpontja korábbi időpontra kerülhet át.

Kiforrás:

Az égő folyadékban oldott víztartalom felforrásának következtében bekövetkező jelenség. A kiforrás során a lángoló anyag felhabosodva fut ki a tartályból – a tűz felfogótérbe történő továbbterjedését okozva. A tapasztalatok szerint a jelenség csak olyan szénhidrogének esetében jelentkezik, melyeknek jelentős az oldott víztartalma. Hasonló veszélyt okozhat a sikertelen tűzoltási kísérlet során bevitt víztartalom is (hűtésből vagy az oltóhabból).

A kivetődés és kiforrás a beavatkozók tevékenységétől függetlenül, egyre erősödő, forrásra utaló hangjelenség kíséretében következik be.

A kivetődést és a kiforrást a nemzetközi szakirodalom gyakran együtt kezeli és „boilover” jelenségnek nevezi. Általánosságban a boilover jelenség az alábbi körülmények együttes teljesülése esetén következhet be [39]:

- Széles forráspont tartományú éghető folyadék – például kőolaj – tárolása esetén. (Finomított termék, „egy forráspontú” termék nem képes boiloverre.)
- Erőteljes hőhatással járó tűzeset, például teljes felületű tartálytűz.
- Víz jelenléte a tárolt anyagban, vagy a tartály alján.
- Forró zóna kialakulása a kedvező körülmények és a könnyebb komponensek következtében.

A közelmúltig általánosnak volt tekinthető az a szakmai vélemény, miszerint a kivetődés és kiforrás kizárólag nyersolaj és sötét termékek tárolása során következhet be. [37] Az elmúlt évek kutatásai több új megállapítást eredményeztek, kiegészítették a kivetődésre és kiforrásra képes anyagok körét.

Kutatások igazolták, hogy a napjainkban egyre szélesebb körben jelenlévő biodízel anyagok esetében is előfordulhat a kivetődés jelensége. [39]

A „hagyományos” dízel üzemanyagok is képesek „boilover-szerű” jelenségre. Kivetődésük lényegesen eltér a kőolajoknál megfigyelttől, kutatásaim során magam is végeztem 1,2 méter átmérőjű tesztálcában modellkísérleteket „motorikus gázolajjal” (gépjármű üzemanyagként használt késztermékkel). A dízel üzemanyagok kivetődése – a kőolajoktól eltérően – nem jár a lángoló, éghető folyadék mennyiség nagy tömegű kilövellésével és szétterjedésével. Kisebb égő anyag „pamacskok” fröccsennek ki a lángoló felszínből, a hősugárzás kissé megemelkedik. [40]

„Froth-over”:

A környezeti hőmérsékletnél magasabb tárolási hőmérsékletű anyagok tartályainál (fűtött, szigetelt tartályok) előforduló jelenség. Amennyiben a tárolt forró folyadékba – meghibásodás vagy technológiai hiba következtében – a tárolt anyag hőmérsékleténél alacsonyabb forráspontú anyag kerül, a hirtelen gőzzé lobbanó idegen anyag a tartályban nyomásnövekedést, és ez által a tárolóedény felhasadását, szétrobbanását okozza.

„Slop-over”:

A hazai szakirodalom rendszerint kiforrásnak sorolja a hosszabb ideje lángoló, felhevült anyagréteg oltóhab vagy hűtővíz okozta gyors felhabosodását is, amire azonban a nemzetközi gyakorlat külön kifejezést alkalmaz. Amennyiben a tűzoltóhab az égő és már átforrósodott anyagrétegre érkezve azonnal gőzzé válik – a „slop-over” jelensége jön létre. A lángoló tűzveszélyes folyadék hirtelen felhabosodik, a forró, égő anyag kilép a tartályból. E jelenséget elsősorban kőolaj és sötét szénhidrogén termékek esetében tapasztalták.

A „slop-over” a habfolytatás megkezdését követően az égő anyag felfogótérbe – és az esetlegesen még nem égő felszínre vagy az úszótető felületére - történő szétfutását eredményezi. A tűz keletkezésétől eltelt időnek ebben az esetben is nagy a jelentősége. A kérdés az, hogy milyen szabadégési időt követően kell számítanunk a „slop-overre”, mint a habbaloltás megkezdésének nem kívánt kísérő jelenségére?

Kőolajtűz esetén jól megfigyelhető, hogy a tűz keletkezésétől eltelt idő múlásával a folyadékfelszín egyre erőteljesebben kezd forni. Az intenzív forrásban lévő, lángoló anyagrétegre jutó hab – vagy esetlegesen hűtővíz – gyors felhabosodást eredményez.

Egyes ajánlások szerint az egy órát megközelítő idő óta lángoló kőolajtartály tüzének oltását csak a szükséges előkészületet követően, biztonságos távolságból szabad megkezdni.

A lángtér alapterületének növekedésével párhuzamosan minden esetben megsokszorozódik a tűz hősugárzása is, ami meghatványozza a tűz környező tartályokra, berendezésekre, építményekre történő továbbterjedésének veszélyét.

1.4.5.2. A kiforrás-kivetődés jelenség

A kivetődés jelenségének jobb megismerése érdekében a LastFire projekt vonatkozó kutatásaihoz kapcsolódóan, vezetésemmel kísérlet sorozatot hajtottunk végre Százhalombattán 2005-2006-ban. A tesztek során 1,2 és 2,4 méter átmérőjű tartálymodelleket használtunk, tűzveszélyes folyadékként elsősorban kőolaj került alkalmazásra. A kísérletek dokumentációja (jegyzőkönyvek, filmfelvételek és fényképek) elérhető a LastFire csoportnál, illetőleg a FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft. százhalombattai székhelyén. A kutatási eredmények beépültek a LastFire csoport által lefolytatott vizsgálatok eredményét tartalmazó kutatási jelentésbe. [41]

A kiforrás-kivetődés jelenségének lefolyását és környezetre kifejtett hatását két kísérlettel szemléltetem, melyekre a Dunai Finomító területén 2005. májusában került sor.

A LastFire projekt keretében meghatározott körülmények mellett egy 1,2 m átmérőjű, 30 cm magas kerek tálcával modelleztük a tartályt. A tálca aljára 15 mm rétegvastagságban víz, majd erre 255 mm vastagságban – a 7. táblázat szerinti minőségű – orosz kőolaj²⁹ került.

	Mértékegység	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Minták db száma
Sűrűség 15°C-on	g/cm ³	0,8644	0,8667	0,8652	0,0007	9
Folyáspont	°C	-16,0000	-7,0000	-11,3333	3,0822	9
Kéntartalom	% (m/m)	1,1800	1,3000	1,2403	0,0518	9
Víztartalom	% (m/m)	0,0000	0,1000	0,0923	0,0277	13
Sótartalom	mg/dm ³	20,0000	41,4000	30,7367	8,5049	9

7. táblázat: A kísérlet során alkalmazott orosz kőolaj jellemzői [42]

A május 11-én végrehajtott kísérlet időbeni lefolyását a 2. mellékletben mutatom be. [42]

A legfontosabb megállapítások:

- A kísérletek során jól megfigyelhető és elkülöníthető volt a kiforrás és kivetődés jelensége.
- A kiforrást valószínűleg a tűzveszélyes folyadék tálcába töltése során a kőolajba oldódott víz, és a nyersolaj eredeti – minimális – víztartalmának felforrása együttesen okozta.
- A kiforrás során a tűz átlagosan 2,1 méter távolságra terjedt el minden irányban a tálca falától, mely távolság a tartálymodell átmérőjének 1,75-szorosa.
- A kiforrás során a legnagyobb sugárirányú terjedés 2,8 méter volt, azaz a tálca átmérőjének 2,33-szerese.

A május 17-én, a fenti körülményekkel megegyező feltételekkel hajtottam végre a tesztet, mely során hőszugárzásmérésre is sor került.

²⁹ REB – Russian Export Blend

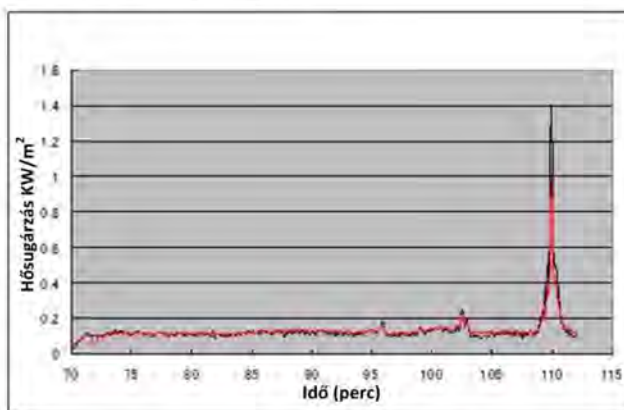
A tűz méretének növekedését az 5. ábra szemlélteti, a legfontosabb további megállapítások:

- A kivetődés során a legnagyobb távolság, ahova az égő anyag kilövellt a tálcából, meghaladta a 3 métert, ami az égetőedény átmérőjének 2,5-szerese.
- A végrehajtott kísérlet során két (20,1 és 24,4 m-re elhelyezett) érzékelővel hőszugárzást mértünk. A hőszugárzás értéke a kivetődés során, hozzávetőlegesen 13-15-szörösére emelkedett, a mért hőszugárzási adatokat a 6. ábra szemlélteti.



5. ábra: Boilover tűzterjedés 1,2 méter átmérőjű modellkísérlet során

[43]



6. ábra: Hőszugárzás alakulása a kivetődés során [44]

A kísérletek során megfigyelt folyamatokat és mért adatokat értékelve valós képet kaptam az atmoszférikus tároló tartályokban tárolt sötét termékek elhúzódó tüzesetei során bekövetkező kiforrás-kivetődés jelenségéről. A kivetődéskor tapasztalt hőszugárzás emelkedés és a tűz kiterjedésének növekedése alapján megállapítható, hogy e jelenség minden esetben a tűz, tartály környezetére történő tovább terjedésével jár. Közvetlenül veszélyezteti a beavatkozásban résztvevőket, ezért az ott tartózkodó erők kivonásáról a kiforrást vagy kivetődést megelőzően minden esetben intézkedni szükséges.

1.5. Következtetések

Az éghető folyadékot tároló tartályok és tüzeseteik – hiánypótló – értékelő elemzésével és rendszerezésével az alábbiakban rögzítésre kerülő megállapítások mellett, a tűzoltás taktika és műszaki-technikai eszközszer fejlesztésére irányuló további kutatásaimat is megalapoztam.

- Az éghető folyadékot tároló nagyméretű atmoszférikus tartályok esetében előforduló tűztípusok elemzésével bizonyítottam, hogy a tárolótartályok – különösen a tetőszerkezet – kialakításától függően különböző tűztípusok alakulnak ki. A tüzesetek gyakorisága és jellemzői a tartályok kialakítási jellemzőitől függően eltérőek.

- Az éghető folyadékot tároló nagyméretű atmoszférikus tartályok esetében előforduló tüztípusok elemzésével rendszereztem a pontszerű, lineáris és felületi tüztípusokat, meghatároztam az egyes alkategóriák legfontosabb égési és tűzoltási jellemzőit.
- Megállapítottam és példákkal bizonyítottam, hogy az éghető folyadékot tároló nagyméretű atmoszférikus tartályok tüzeseteinek térbeli kiterjedése, a lángolás térbeli alakja és elhelyezkedése határozza meg a tűzoltás lehetőségét és módozatát. Tudományos célkitűzésemmel összhangban, nemzetközi és hazai kutatási eredmények felhasználásával rendszerbe foglaltam a pontszerű, lineáris és felületi tüztípusokat, meghatároztam az egyes alkategóriák legfontosabb égési és tűzoltási jellemzőit.
- A különböző tartálytüztípusok előfordulási gyakoriságának vizsgálatával megállapítottam, hogy a nyitott úszótetős tartályok tömítőrés tüze a leggyakrabban előforduló tüzeset típus. Ezen megállapítás alapján a körgyűrűtűz oltás, mint beavatkozási részterület kutatása és fejlesztése kiemelt jelentőséggel bír.
- A különféle tüztípusok rendszerezése és elemzése alapján meghatároztam a beavatkozás összetettségére és tűzoltási teljesítmény igényére, valamint az előfordulási gyakoriság adataira figyelemmel a legnagyobb kihívást jelentő tartálytűz típust. Megállapításom szerint ez a nagyméretű, földfeletti tartályok teljes felületű tüze, így e kárelhárítás típus eljárásrendjének és eszközrendszerének fejlesztése elsőbbséget kell, hogy élvezzen.
- Megállapítottam, hogy sugárszerű tűz esetén a beavatkozás során egyaránt – tartósan – meg kell szüntetni az áramló folyadék lángolását és a felületi tüzet. Az áramló folyadék eloltására sor kerülhet a felületi habbaloltást megelőzően – például a felfogótér folyadékszintjének megemelésével – vagy egyidejűleg, kombinált tűzoltással. A kombinált tűzoltás feltétele az áramló folyadék – háromdimenziós – tüzeinek oltására bevetett porsugár felállítási helytől mért megfelelő hatásos sugártávolsága, amit a rendelkezésre álló porraloltó eszközök kialakítása és teljesítménye határoz meg.
- Kísérleti úton, mérésekkel alátámasztva bizonyítottam, hogy a kiforrás és kivetődés bekövetkeztével a tűz kiterjedése és a hőszugárzás olyan mértékben emelkedik, ami a lángoló tároló tartály környezetére, valamint a beavatkozókra közvetlen veszélyt jelent.
- A tűzoltást a kiforrás vagy kivetődés bekövetkeztét megelőzően kell végrehajtani. A tűzoltás eredménytelensége esetén ezen esetekben fel kell készülni a környezet nagyobb távolságból történő védelmére, valamint a beavatkozó erők gyors kivonására, amit a forrásszerű kísérő hangok jelentkezésekor haladéktalanul végre kell hajtani.

2. A TARTÁLYTŰZOLTÁS ERŐFORRÁS-RENDSZERÉNEK KUTATÁSA, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A MOBIL TARTÁLYTŰZOLTÁSRA

Választott kutatási területként a tartályok tűzinek mobil eszközrendszerek alkalmazásával történő felszámolásának fejlesztését határoztam meg, mely munka során – a káreset helyszínére szállítható erőforrások mellett – vizsgálni szükséges más rendszerelemeket is. A munkám során középpontba helyezett beavatkozási műveletek és műszaki eszközök mellett, elengedhetetlen az alkalmazásra kerülő teljes rendszer összefoglaló áttekintése is.

A dolgozatom második fejezetében a tartálytűzoltás mobil eszközökkel történő végrehajtásának rendszerét, feltételeit és fejlesztési lehetőségeit kutattam. Célkitűzésemmel összhangban e beavatkozási terület erőforrás rendszere állt figyelmem középpontjában, ennek érdekében áttekintettem a beépített és mobil tűzoltási rendszereket, valamint rendszereztem a helyszínre szállítható eszközökkel és anyagokkal történő kárelhárítás feltételeit. Ezen elemzésekre épített kutatásaim négy fejlesztési részterületre irányultak: a tűzoltó porok korszerű alkalmazásának fejlesztése; új tűzvédelmi anyagként kifejlesztett olaj- és víztaszító tulajdonságú, üreges gyöngyökből álló, úszóképes, tűzálló szárazhabbal kapcsolatos kutatások; a mobil tartálytűzoltás műszaki eszközeinek fejlesztése; a mobil eszközökkel történő tartálytűzoltás tervezési módszerének kutatása.

Nem célom sem a beépített rendszerek, sem az oltóanyagok fejlesztésének kutatása. E két részterületet kizárólag a kutatási célkitűzésemben megfogalmazott munkához szükséges mélységben vizsgálom, s azokat az ismereteket helyezem előtérbe, melyek a mobil tűzoltás taktikájának és műszaki-technikai eszközrendszerének fejlesztéséhez szükségesek.

2.1. A tartálytűzoltás oltóanyagaihoz kapcsolódó kutatások

A tartálytűzoltás alapvetően habbaloltás; a vonatkozó szabályozások, eljárások és a szakmai gyakorlat is elsődlegesen tűzoltóhab alkalmazására épül. A tartályok – 1. fejezetben bemutatott – különféle felületi, vagy vonalszerű lángolásai legtöbbször oltóhab bevetésével megszüntethetőek, azonban a „pontszerű” tüzek oltása gyakran kizárólag oltópor bevetésével számolható fel hatékonyan. E két oltóanyagcsoport megkerülhetetlenül hozzátartozik a tartályok tűzoltásához, így a technikai illetőleg taktikai fejlesztések kutatása során figyelembe kell vennünk legfontosabb jellemzőiket. Számos további oltóanyagtípus alkalmazására ímerünk példát (például oltógázok, tűzoltógőz, magasnyomású vízköd), azonban ezek rendszerint csak egy-egy részterület kihívásaira adnak választ.

Mindezek alapján, dolgozatomban – kutatási célkitűzéseimmel összhangban – a tűzoltóhabokra és oltóporokra fordítok kiemelt figyelmet. Nem célom e két oltóanyagcsoport részletes bemutatása, erre csupán az általam vizsgált fejlesztési lehetőségek értékeléséhez szükséges mértékben vállalkozom. Külön fejezetben, általánosságban foglalkozom az oltóvízellátás kérdésével is, ami a habképzés során legnagyobb mennyiségben alkalmazott alapanyagaként kiemelt fontosságú. A tartálytűzoltás végrehajtása során természetesen e felhasználáson túl is jelentős vízigény jelentkezik, elsősorban hűtési, illetve védelmi célra.

A tartálytűzoltás oltóanyagait illetően nem kell különbséget tennünk a tűzoltás módja szerint: a beépített és a mobil rendszerek azonos anyagokat alkalmaznak. Előfordul, hogy egyes műszaki megoldásokat valamely anyag, vagy anyagcsoport felhasználására optimalizálnak, illetőleg az adott egységhez alkalmazható oltóanyagok megválasztása során figyelemmel kell lenni a berendezés műszaki jellemzőire. Mindez egyaránt igaz a beépített és a mobil rendszerekre, így a következőkben az oltóanyagok legfontosabb jellemzőinek áttekintése során nem különböztetem meg e két területet.

A habbal- illetőleg porraloltás fejlesztése mellett bemutatom egy újszerű anyagcsoport kutatását is, mely a száraz oltóanyagok és a tűzoltóhabok között, azok határfelületén helyezkedik el. Az olaj- és víztaszító, úszóképes, tűzálló szárazhabok alkalmazása számos új lehetőséget nyithat meg a jövőben.

2.1.1. Tűzoltó habokkal kapcsolatos környezetvédelmi fejlesztések

A nagyméretű tárolótartályoknál alkalmazható taktika és műszaki-eszközrendszer vizsgálatához ismerni kell a tartálytűzoltás meghatározó oltóanyaga, a tűzoltó hab legfontosabb jellemzőit és a kapcsolatos folyamatokat. Az oltóhabok fejlesztésének és kutatásának egyik – a katasztrófavédelmen belül elsősorban a tűzvédelemhez köthető – célja a tűzoltás hatékonyságának és biztonságának javítása, mellyel párhuzamos, állandó elvárás az oltóanyaggal okozott környezetszennyezés mérséklése. Ennek megfelelően a tűzoltás során okozott környezetterhelés a felhasznált oltóanyag mennyiségének minimalizálásával és minőségi jellemzőinek javításával csökkenthető.

A tartálytüzek és kárelhárításuk környezeti hatásai között korábban kiemeltem az oltóanyag alkalmazása következtében létrejövő környezetszennyezést. A „hagyományos” habbaloltás során fellépő környezetterhelés csökkentésében – a tartálytűzoltás eredményességének és hatékonyságának javítása mellett – kiemelt szerepe van az alkalmazott habképző anyagok minőségi jellemzői javításának.

A tűzoltó habanyagokban jelen lévő vegyi anyagok miatt fellépő környezeti hatás csökkentése kiemelt feladat, amely különösen az oltóanyagok összetételének módosításával összefüggésben került előtérbe. A vonatkozó előírások folyamatos szigorítása, valamint a habképző anyagot gyártó vállalatok kutatási és fejlesztési tevékenysége párhuzamosan zajlik.

A habképző anyagokkal összefüggésben kihívást jelent a habbaloltás során képződött, vegyi anyagokkal szennyezett oltóvíz megfelelő kezelése. Az oltóvíz visszatartása, felügyelt, szabályozott és ellenőrzött elvezetése, valamint semlegesítése a legtöbb kárhelyszínen nem biztosított. A tartályok és különösen felfogótüreik, valamint a csapadékvíz elvezetésére kialakított csatornarendszerek nem minden esetben alkalmasak a talaj és a talajvíz szennyeződésének megakadályozására, de gyakran az általánosan alkalmazott biológiai szennyvíztisztító rendszerekben „működő” baktériumok is elpusztulnak a habanyagokkal történő találkozás következtében.

Nem képezi kutatásom részét a habképző anyagok bemutatása, azonban a legfontosabb fejlesztések (mobil) tartálytűzoltási vetületét röviden össze kívánom foglalni.

A szénhidrogén tüzek oltásában nagy a vizes filmképző típusú (AFFF³⁰) oltóhabok szerepe, melyekkel gyors és biztos tűzoltást érhetünk el, mivel fluortenzid tartalmuk révén vizes filmet képeznek az apoláris szénhidrogén folyadékok felszínén. [45] Az AFFF típusú habanyagok nagyon alacsony habkiadósággal is jól alkalmazhatóak. Példa erre a nagyfelületű mobil tartálytűzoltás (3. fejezet), amikor az oltóanyag nagyobb távolságra történő belövése szükséges, mivel a magas levegőtartalmú habok csak kisebb távolságra löhetőek.

A kitűnő víz- és olajtaszító (hidrofób/oleofób) tulajdonságú fluortenzidek a per-/poly-fluorozott (PFAS) [46] anyagok családjához tartoznak. A tűzoltó anyagként előnyös vegyi- és hőálló tulajdonságaik miatt nehezen bomlanak le a természetben, nagyon időtállóak, ezért nem ajánlatos a környezetbe juttatni. Általában ezen vegyületek, valamint ezek homológjai képezik az AFFF típusú habképzőanyagok alkotóelemeit. Ilyenek az úgynevezett PFOS³¹ és PFOA³² anyagok, melyek mindegyike a PBT³³ anyagok csoportjába tartozik. Bekerülhetnek az ivóvízbe és élelmiszerekbe is, ezért a PFOS alapú anyagok európai forgalmazása 2006 óta, míg felhasználása és keszenlétben tartása 2011 óta tilos³⁴. Az Európai Vegyianyag-ügynökség (ECHA³⁵) várhatóan a PFOA használatát is jogszabályban fogja korlátozni [47].

³⁰ AFFF: Aqueous Film Forming Foam

³¹ PFOS: Perfluoroktán-szulfonát (Perfluorooctanesulfonic acid)

³² PFOA: Perfluoroktánsav (Perfluorooctanoic acid)

³³ PBT: Perzisztens, Bioakkumuláló, Toxikus

³⁴ 2006/122/ECOF Európai direktíva

³⁵ ECHA: European Chemicals Agency

Napjainkban a habképzőanyagok fluor tartalmának csökkentésére irányuló törekvések határozzák meg az oltóanyagok minőségével összefüggő, környezettudatosságot erősítő erőfeszítéseket. Fluormentes habképzőanyaggal történő tűzoltás eredményessége érdekében – különös figyelemmel az apoláros szénhidrogének tűzoltására – az alábbi, legfontosabb jellemzőket kell figyelembe venni:

- Nem szükséges a fluortartalmú habképzőanyagok használata a szilárd anyagok tüzeinek („A” tűzosztály) vagy kisebb méretű szénhidrogén tüzek oltása során, valamint nedvesítőszerként történő alkalmazáskor. [48]
- Ezekben az új oltóanyagokban nagy mennyiségű fluormentes polimer alapú vegyület van, ami általában magas viszkozitás értéket okoz, ezért nagy viszkozitás esetén is alkalmazható habbekeverést kell alkalmazni.
- Az AFFF típusú habok esetén vizes film keletkezik így – például a kisebb habkiadásság miatt – vékony habtakaró is jól zár, és megfelelő oltóhatást biztosít. Fluormentes habok esetén csak vastag, összefüggő habtakaró képes biztosítani a tűzoltást.
- Az előző pontban leírtak okán, felszakadozó habréteg esetén a fluormentes habok használatakor jóval nagyobb a visszagyulladás kockázata, mint ahogy az AFFF anyagoknál tapasztalható.

A fluormentes habanyagok tartály tűzvédelemben történő alkalmazását megelőzően ajánlott a védett terület, az előforduló éghető folyadék típusok, a rendelkezésre álló tűzoltótechnika, és az alkalmazható beavatkozási taktika figyelembevételével elemzést és tesztek lefolytatni. Minden esetben javasolt kikérni a bevezetni tervezett habanyag gyártójának állásfoglalását is.

Valós képet a környezetvédelmi hatásokról csak teljes ökomérleg készítésével kaphatunk: a gyors tűzoltás csökkentheti az égéstermékek és a felhasznált oltóanyag által okozott levegő-, talaj- és vízszennyezést. A környezet védelmének érdekében lehetőség szerint csak akkor alkalmazzunk fluortartalmú habképzőanyagokat, ha az elfolyt oltóanyag felfogható, és a szakszerű tisztítás, semlegesítés biztosított. [49] A jövő kiemelt feladata olyan C-6 tartalmú vizes filmképző típusú habanyagok kifejlesztése, melyek a lehető legalacsonyabb szennyező komponens (PFOA és C-8) tartalom mellett biztosítják a maximális, elvárt tűzoltási teljesítményt. [50]

A habképzőanyagok fejlesztési folyamatai nem érintik közvetlenül kutatásaimat, azonban ezen oltóanyag csoport minőségében – és esetlegesen működési mechanizmusában – bekövetkező jövőbeli érdemi változás hatással lehet megállapításaimra.

2.1.2. A tűzoltó por alkalmazásának fejlesztése

A tartályokat, vagy a kapcsolódó technológiát érintő, kisebb kiterjedésű tüzek oltására korábban említést kapott a szilárd oltóanyag (tűzoltópor) alkalmazásának a lehetősége. A következőkben néhány, az oltópor „hagyományos” (önálló) bevetésén túlmutató – kutatási célkitűzéseimmel összhangban lévő – mobil alkalmazási lehetőséget és fejlesztési irányt tekintek át a teljesség igénye nélkül. Elsősorban a kutatásaim során látóterembe került, általam legfontosabbnak és legígéretesebbnek ítélt lehetőségeket emelem ki – kapcsolódva a korábbi fejezetekben leírtakhoz.

Az habokhoz hasonlóan, az oltópor minőségének – hatékonyságot növelő, környezetterhelést csökkentő – kutatása is lehetséges fejlesztési irány, azonban az oltóporok esetében több kedvezőtlen körülményre is figyelemmel kell lenni a munka során. A kutatási célterületemnek választott tartálytűzoltással összefüggésben napjainkban meghatározóak még a későbbiekben bemutatásra kerülő alkalmazási korlátok. Hangsúlyozni kell, hogy az oltóporok esetében még a haboknál is szorosabban kapcsolódik egymáshoz az oltóanyag, a technika és a tűzoltás taktika fejlesztése.

2.1.2.1. A „hagyományos” por-hab kombinált tűzoltás

Az ipari – különösen technológiai – tűzoltás területén leggyakrabban alkalmazott tűzoltási mód a kombinált oltás, hiszen a különböző oltóanyagok együttes, tervszerű bevetésével nagyobb hatékonysággal, gyorsabban érhető el a lángolás megszüntetése. Bizonyos esetekben a beavatkozás kizárólag az oltóanyagok oltási jellemzőinek megfelelő, együttes alkalmazásával lehet eredményes. Az oltóanyagok különböző kombinációját ismerjük: oltógáz, por, hab, illetve kötött vagy porlasztott vízsugár együttes használatára is sor kerülhet. Az oltóvizet az olaj- és vegyipar területén ritkábban használjuk tűzoltásra habképzőanyag bekeverése nélkül: leggyakrabban a felforrósodott berendezések hűtésére, a környezet védelmére vetjük be.

Ipari területen a leggyakrabban használt kombinált tűzoltás az oltópor és tűzoltó hab együttes alkalmazása. A hagyományos kombinált oltás során két különálló eszközből kilőve, de összehangoltan alkalmazzák a tűzoltó habot és az oltóport.

- A tűzoltóhab általában a kijutott égő anyag felszínét letakarva, felületi tűzoltást végez („kétdimenziós” tűzoltás).
- Az oltópor bevetésével térbeli (háromdimenziós) tüzek oltására nyílik lehetőség.

A térbeli lángoltási képesség mellett az oltóporok különleges jellemzője, hogy az oltóanyag sugárral közvetlenül nem támadható takart terekbe, készülékek és berendezések mögé is képes bejutni, és ott a lángolást megszüntetni.

Az oltópor alkalmazása során számos nehézséggel szembesülünk, melyek közül a legfontosabbak:

- A porraloltó eszközök bevetési ideje korlátozott, a porraloltás kizárólag a szállított oltópor terjedelméig alkalmazható. Gyors, helyszíni újratöltésre nincs lehetőség, így különösen fontos az oltópor tervszerű, megfelelően előkészített felhasználása.
- Az oltóport kijuttató eszköz teljesítménye (az időegység alatt kilőtt oltópor mennyiség) határozza meg a legnagyobb oltható tűz (lángtér) méretét.
- A kilőtt oltópor mennyiségi értéke csak néhány, előre beállított fokozatban állítható a ma használt porsugaraknál és ágyúknál, fokozatmentesen állítható eszközök nincsenek használatban. Így a ténylegesen bevetett teljesítmény csupán korlátozottan igazítható a szükséges teljesítményhez.
- A BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgató 109/2000. számú intézkedése értelmében a lángtér minden egyes négyzetméterére 0,6 kg oltópor kijuttatása szükséges másodpercenként. Belátható, hogy a gyakorlatban rendelkezésre álló porraloltó eszközök nagyobb tüzek eloltására – önállóan – nem alkalmasak, ami megerősíti a kombinált tűzoltás alkalmazásának jelentőségét.
- Az oltóporsugár hatásos lőtávolsága meg sem közelíti a habbal, vagy vízzel belöhető távolságokat, általában azok negyede és fele közötti értékre tehető. A kisebb lövőtávolság miatt a porraloltó eszközt a lángzónához közelebb kell elhelyezni. Nagy hőképződéssel járó tüzek esetén, vagy zsúfolt, beépített területen ez akár megoldhatatlan feladat is lehet, kizárva az oltópor bevetésének lehetőségét.

2.1.2.2. Közös-tengelyű por-hab kombinált oltósugár alkalmazása

A tűzoltópor és víz, vagy tűzoltó hab egy eszközből (ágyúból vagy sugárcsőből) történő kijuttatására irányuló műszaki fejlesztések már az elmúlt évszázad közepén elindultak. Eredményeként különféle úgynevezett „Twin agent” típusú és működési elvű eszköz jelent meg tűzoltóságok használatában. Ebben az esetben a közösített sugárcső-, vagy ágyútesten két különálló „sugárcső” kerül elhelyezésre, külön-külön működtető szerelvénnel. A különálló, jól elkülöníthető oltósugarak a tűzoltás során együtt mozognak, párhuzamosan haladva jut ki a két oltóanyag. A párhuzamos oltóanyag-sugarak középvonalának távolsága és elhelyezkedése eltérő lehet, de nem esik egybe.



7. ábra: „Twin agent” kézi sugárcső 1963-ban és napjaink eszközei [51] [52] [53]

A műszaki kialakítás elsősorban járműépítési előnyt jelent, hiszen egyetlen ágyú beépítésével bármelyik (víz, hab, vagy oltópor) oltóanyag típus kijuttatása biztosítható. Tartálytűz-események felszámolása során azonban e megoldás nem kínál különleges előnyöket, hiszen nem segíti a beavatkozókat nagyobb oltópor lövőtávolság eléréséhez.

E téren jelent előrelépést a por-hab kombinált oltósugár közös-tengelyű (közös sugárban történő) kijuttatására alkalmas sugárcsövek és ágyúfejek alkalmazása. E különleges műszaki megoldást alkalmazó eszközök vízzel-, habbal- és porraloltásra is alkalmasak. Egy eszközből lehető ki ezen oltóanyagok valamelyike, vagy szükség esetén a tűzoltópor az oltóhabbal (vagy a vízzel) együttesen. E megoldás alkalmazásának igazi előnye a megnövelt oltópor lövőtávolság, amit az eszköz különleges kialakítása eredményez: Az egyesített lövőke a habsugar középvonalaiba juttatja az oltóport, és egy „kombinált oltósugarat” lő ki.

Ezt a műszaki megoldást elsőként a habbal- és porraloltás amerikai szakértője, a Williams Fire&Hazard Control (WFHC) fejlesztette ki „*Hydro-Chem*” néven [54]. A vállalat szakemberei számos alkalommal hajtottak végre sikeres beavatkozást a világ különböző pontjain. A több tíz éves, első vonalban szerzett beavatkozási tapasztalatra építve dolgoznak a tűzoltás taktika és a felszerelés választék fejlesztésén, mely munka eredménye a Hydro-Chem eszközcsoport is. Napjainkban számos, más szaktárszerelést forgalmazó vállalat termékválasztékában megtalálhatóak ezt a technológiát alkalmazó eszközök, gyártónként más és más megnevezéssel.

A port körülölelő folyadéksugar magával ragadja a kilőtt oltóport, így a „porsugar” hatásos lőtávolsága megegyezik a szállítást végző habsugaréval, esetenként meg is haladja azt. Az így megnövelt lőtávolságú porágyúval már elérhető és eloltható az egyébként hagyományos porraloltás alkalmazásához túlságosan távoli, vagy magasban elhelyezkedő (térbeli) tűz is.

A „szállítást biztosító” hab a környezet hűtésében, a felületi oltást végző habtakaró kialakításában vesz részt. E rendszer alkalmazásával az oltóporral elérhető hatásos sugártávolság a hasonló teljesítményű, hagyományos porágyú szokásos lövőtávolságának akár három-négyszeresére növelhető.

Ezekhez a kombinált eszközökhöz szinte bármilyen habképzőanyag kitűnően alkalmazható, azonban az oltópor helyes megválasztására nagy figyelmet kell fordítani. Ezen eszközökben kizárólag az oltóhab víztartalmát magába nem szívó, hidrofób oltóporok használhatóak. Nem víztaszító oltóporok használata esetén a por átnedvesedik, így a tűzoltásban nem vesz részt, sőt a habot is roncsolja, károsítja.



10. fénykép: Háromdimenziós tűz oltása
Hydro-Chem sugarakkal; Forrás: FER
Tűzoltóság



11. fénykép: Oltókarra épített Hydro-Chem
ágyú; Forrás: FER Tűzoltóság

2.1.2.2.1. Közös-tengelyű kombinált ágyúk alkalmazása tűzoltógépjárműveken

A közös-tengelyű por-hab kombinált ágyúk korábban részletezett előnyei mellett meg lehet említeni a technológia alkalmazásával megnyíló tűzoltógépjármű építési lehetőségeket is.

- Ezen műszaki megoldás alkalmazásával az egy ágyúegységből bevethető oltóanyagok köre kiegészül az oltóporral. Erre korábban nem volt lehetőség, hiszen a már említett „twin agent” eszközök inkább két, összekapcsolt ágyúnak tekinthetők.
- Míg korábban egy emelőkosárra, vagy oltókarra épített (és magasba emelt) ágyú „csak” vízzel- vagy habbaloltásra adott lehetőséget, addig a Hydro-Chem alkalmazásával már oltópor is bevethető, vagy kombinált tűzoltásra is mód nyílik [56].

- A tűzoltó ágyúk hagyományos – a gépjármű tetejére, vagy homlokfalára történő – beépítése esetén korábban külön víz/hab- és porágyúkat kellett alkalmazni.

E korszerű kombinált eszköz alkalmazásával mindhárom oltóanyag bevetésének lehetősége egy ágyúval biztosítható a járművön, ami a költségcsökkentés mellett további járműépítési előnyöket is hozhat (például kevesebb megerősítés és egyszerűbb vezérlés szükséges, súlycsökkentésre nyílik lehetőség).

Természetesen e megoldás alkalmazása felesleges általános célú, univerzális gépjárművek esetében. Ipari tűzoltó gépjárművekbe is csak akkor indokolt e technológia beépítése, ha a védett terület szakmai elemzése feltárja a nagy távolságról végrehajtandó porraloltási képesség szükségességét.

2.1.2.2.2. Közös-tengelyű por-hab kombinált oltóeszközök

Napjainkra széles teljesítménytartományban állnak készenlétben közös-tengelyű kombinált oltóeszközök, de az alábbi teljesítmény-csoportokhoz nem köthetőek éles határok.

- Kézi sugárcsővek;
- Közepes teljesítményű ágyúk;
- Nagyteljesítményű ágyúk.

a) Hydro-Chem kézi sugárcső

Kézi Hydro-Chem sugárcsőként a Williams által gyártott eszköz terjedt el. A fokozatmentesen állítható sugárkép három lépcsőben változtatható víz/haboldat teljesítménnyel (225, 360, 475 liter/perc) társul, míg a másodpercenkénti porteljesítmény 2,25 és 4,5 kg között választható [57].



9. ábra: Hydro-Chem kézi sugárcső működése [57]

12. fénykép: Hydro-Chem sugárcső működés közben;

Forrás: FER Tűzoltóság



Az oltóanyag-ellátáshoz szükséges két tömlő, valamint a por- és habsugarak nagy összesített reakcióereje nehezíti a sugárcső használatát. A működés közben történő hely- vagy irányváltás több kezelő együttes, összehangolt munkáját teszi szükségessé.

b) Közepes teljesítményű ágyúk

Ezt a teljesítmény-kategóriát a Ranger ágyúfej-család Hydro-Chem változatai testesítik meg a Williams választékában. A különböző specifikációk 950 – 5700 liter/perc közötti, automatikusan változtatható víz/haboldat-teljesítményt, fokozatmentesen állítható sugárképet és 9 kg másodpercenkénti porteljesítményt kínálnak.



13. fénykép: Ranger Hydro-Chem ágyú gépjárműre építve [57]



14. fénykép: Vogt Hydro-Chem ágyú [58]

Más gyártók kínálatában ettől eltérő teljesítményű eszközök is megtalálhatóak, sőt a haboldat- és oltópor-teljesítmény arányának többszörös eltérése is előfordul. A svájci Vogt gyár kombinált rendszerű ágyúja 2400 liter percenkénti oldatteljesítményt 40 kg/másodperc oltópor teljesítménnyel társít [58].

Hasonló teljesítmény-tartományba sorolható a Rosenbauer termékválasztékában megtalálható ChemCore ágyúcsalád is, melynek legnagyobb teljesítmény-értékei:

- RM15: 1,900 l/min víz/hab; 1,5 kg/sec oltópor;
- RM35: 4,750 l/min víz/hab; 10 kg/sec oltópor;
- RM65: 6,000 l/min víz/hab; 15 kg/sec oltópor;
- RM80: 9,500 l/min víz/hab; 15 kg/sec oltópor;
- RM130: 15,000 l/min víz/hab; 15 kg/sec oltópor. [59] [60]



10. ábra: Rosenbauer RM80 ChemCore [61]

A közepes teljesítményű Hydro-Chem eszközöket rendszerint gépjárművekre, utánfutókra szerelten vagy kihajtható lábakra telepíthető változatban tartják készenlétben, de ismert rögzített, a védett terület közelébe fixen beépített megoldás is. A kézi működtetés mellett ezek az ágyúk elektromos és hidraulikus változatban, valamint a távvezérlés különböző megoldásaival felszerelten fordulnak elő.

c) Nagyteljesítményű ágyúk

A nagyteljesítményű ágyúk teljesítmény-kategóriája sem pontosan meghatározott, rendszerint 18-20.000 liter percenkénti oldatteljesítményű vagy még nagyobb eszközökről van szó. Ezen ágyúk sokban hasonlítanak közepes teljesítményű társaikhoz, de nagyobb méretekkal, lövőtávolsággal és oltási kapacitással. Jellemző az utánfutóra, gépjárműre, esetleg cserefelépítményre épített, „szállítható” megoldás, rendszerint változtatható haboldat- és oltópor-teljesítménnyel.

A Williams által gyártott Ambassador ágyú (21. fénykép) teljesítmény-tartománya 3.700-22.700 liter/perc 7 bar nyomásnál, amihez másodpercenként 11 kg, 22 kg, 33 kg vagy 45 kg oltópor adható [57].

A német Alco³⁶ APF 8-HR ágyúja akár 30.000 liter percenkénti víz/haboldat teljesítmény kilövésére is alkalmas, amihez a Hydro-Chem technológiát alkalmazva az MZVP12000 típusjelű ágyúfej társítható. Ebben az esetben a 6000 és 12000 l/perc között fokozatmentesen állítható oldatteljesítmény mellett a sugárkép a kötöttől a szórtig változtatható, míg a pormennyiség 20 vagy 30 kg/másodperc értékben határozható meg [62].

³⁶ Albach GmbH & Co. KG; Frankfurt



11. ábra: Alco APF 8-HR ágyú. Készítette: a szerző, 2013.

A Rosenbauer ágyúválasztékában a legnagyobb teljesítményű ChemCore kombinált ágyú az RM 130 ChemCore, mely 10 bárnál 15000 liter folyadékot képes percenként kilőni, amihez másodpercenként 15 kg oltópor adagolható. [63]. Az ágyú lövő távolsága vízzel 130 méter, míg habbal a 90 méter.

A nagyteljesítményű ágyúk – a közepes teljesítményűekhez hasonlóan – helyben irányítható, illetőleg távvezérelt változatban; kézi, elektromos és hidraulikus működtetéssel fordulnak elő.

2.1.2.2.3. Közös-tengelyű por-hab kombinált oltósugár alkalmazása tároló tartályok tüzeseteinek felszámolása során

A kombinált oltás szükségességére szemléletes példa az áramló folyadékok tüzeinek oltása, hiszen sugárszerű égés eredményes oltásához szinte elkerülhetetlen az oltópor és tűzoltóhab együttes, összehangolt bevetése. [29] Ebben az esetben két jól elhatárolható tűzoltási feladat azonosítható: a kifolyt éghető folyadék felületének oltására a habtakaró kialakítása az optimális, míg az áramló, lángoló folyadéksugár „térbeli” tüze többnyire csak oltópor bevetésével oltható el. Ez utóbbi korlátozó tényező komoly nehézséget okozhat, ha egy tűzveszélyes folyadékot tároló tartály palástsérülése miatt kiáramló anyag sugárszerű égése alakul ki.

A környezet felületi tüze még nagyobb alapterületű védőgödörrel körülvett tartályok esetén is eloltható habbal. Nem lehetséges azonban a „térbeli tűz” eloltása a porsugarak, porágyúk mérsékelt hatásos sugártávolsága okán – a felállítási helyekről nem érjük el porral a térbeli tűz helyszínét. Az éghető anyaggal töltött felfogóteret körülvevő gát és a tartály közötti távolság áthidalása akár 40-50 métert meghaladó lövőtávolságot, és erre alkalmas eszközt is szükségessé tehet.

Hasonlóan nehéz feladat a magasban elhelyezkedő (térbeli) tűz porral oltása, például magasabb tartályok felső palástszakaszának sérülése esetén. Ezek a lövőtávolságok gyakran nem teljesíthetők hagyományos kialakítású porágyúval. A közös-tengelyű kombinált oltásra alkalmas ágyú bevetésével a „porsugár” hatásos lövőtávolsága eléri a szállítást végző habsugárét, így nagyobb távolságból is végrehajtható a háromdimenziós tűz porraloltása. A kilőtt oltóhab részt vesz a környezet hűtésében és/vagy a felületi tűzoltásban.

2.1.3. Vízmentes tűzoltó hab alkalmazásának kutatása

Ha habbaloltásról esik szó, mindig a vizes tűzoltóhabok alkalmazására gondolunk, hiszen - néhány különleges „kísérleti” megoldástól eltekintve - többnyire a habképző-anyagból és vízből előállított oldat felhabosításával jön létre a tűzoltói használatra alkalmas oltóhab. A tűzoltóhab előállításához szükséges oltóvíz az éghető folyadékok tárolására szolgáló létesítményekben többnyire rendelkezésre áll, de ezen állapot elérése gyakran különleges kihívást jelent a létesítmények kialakítása és üzemeltetése során.

Elsősorban a megfelelő minőségű, mennyiségű és időben rendelkezésre álló oltóvíz hiánya esetén kínálnak kitűnő lehetőséget a környezettől – oltóvíz ellátástól – független kialakítású habbaloltó rendszerek, így különösen a méltán elismert hazai fejlesztésű instant habbal működő megoldások. Az IFEX Tűzvédelmi Kft. által kifejlesztett rendszer hagyományos, víz és habképzőanyag keverékéből előállított oltóhab alkalmazására épül, azonban ezen anyagokat más módszerrel, az adott körülmények között nagyobb hatékonysággal használja fel. [64] Az éghetőfolyadék tárolás területén több létesítményben – beépített rendszerként – alkalmazott instant hab mobil tűzoltó eszközökben is használható. [65]

Kutatási célkitűzésként fogalmaztam meg a tartály üzemeltetés és tartálytűzoltás környezetterhelésének csökkentését, környezetkímélő oltási elvek alapjainak megteremtését. Ennek érdekében az éghető folyadékok atmoszférikus tároló tartályain keletkezett tüzek kutatása mellett széleskörűen vizsgáltam a tűzoltás folyamatát és fejlesztési lehetőségeit. Az anyagi javak védelme, a környezeti károk megakadályozása – a tűz eloltása – során elengedhetetlen a további környezeti károk minimalizálása, így a megfelelő oltóanyag és oltási mód megválasztása is. Kutatásaim során – a témával foglalkozó legtöbb szakemberhez hasonlóan - elsődlegesen a tartálytűzoltás hagyományos oltóanyagainak optimalizált felhasználására törekedtem, mígnem látóterembe került egy újszerű fejlesztési irány: a szárazhab (DryFoam) tűzvédelmi anyag. Az elmúlt időszakban több témával foglalkozó szakemberrel nyílt lehetőségem konzultálni kutatásaikról és eredményeikről, valamint kísérletsorozat keretében vizsgáltam az új anyag jellemzőit.

2.1.3.1. A „szárazhab” jellemzői

A bostoni székhelyű Trelleborg Offshore Co. vállalat terméke a „szárazhab” (DryFoam), mely szakít a „vizes” habok hagyományával, alkalmazásához nincs szükség vízre. A DryFoam tulajdonképpen apró üreges, fehér, tűzálló gyöngyök halmaza, melynek legfontosabb – gyártó által közzétett - jellemzői [66]:

- 3-6 mm átmérőjű üreges, hőre habosodó gömbök (20. számú fénykép);
- Hő hatására a gyöngyök kezdeti térfogatuk 20-30-szorosára duzzadnak;
- Fajsúlya alacsony, mindössze 0.17 g/cm^3 ;
- Olaj és víztaszító tulajdonságú anyag;
- Ellenáll a legfontosabb tűzveszélyes folyadékoknak, például benzin, gázolaj, kerozin, heptán, etanol, kőolaj (12. ábra);
- Antisztatikus;
- Nem toxikus;
- Kitűnő hőtűrő képességgel rendelkezik.

A tűzbe kerülő, eredetileg fehér gyöngyök a hő hatására megsárgulnak, majd $300 \text{ }^\circ\text{C}$ -t meghaladó hőmérséklet esetén „aktiválódnak”. A térfogat növekedésével egyidejűleg beindul egy bomlási folyamat, az anyag színe barnára, majd feketére változik. A gyöngyök elveszítik víztartalmukat és összefüggő, elszenesedett (széntartalmú) réteg/kéreg alakul ki az égő folyadék felszínén. A kialakuló szilárd habréteg lezárja a felszínt és – a víztartalmú oltóhabokhoz hasonlóan – elválasztja a tűzveszélyes folyadékot a felette elhelyezkedő légtértől. A vízalapú tűzoltóhabokkal összevetve a szárazhab-gyöngyök két fontos jellemzőjét kell kiemelni:

- Az anyag nem érzékeny a nagyon alacsony hőmérsékletre sem, így fagyvédelemről nem kell gondoskodni.
- A DryFoam – szemben az éghető folyadékok tűzoltására általánosan alkalmazott habképző anyagokkal – nem tartalmaz fluor vegyületeket. [67]



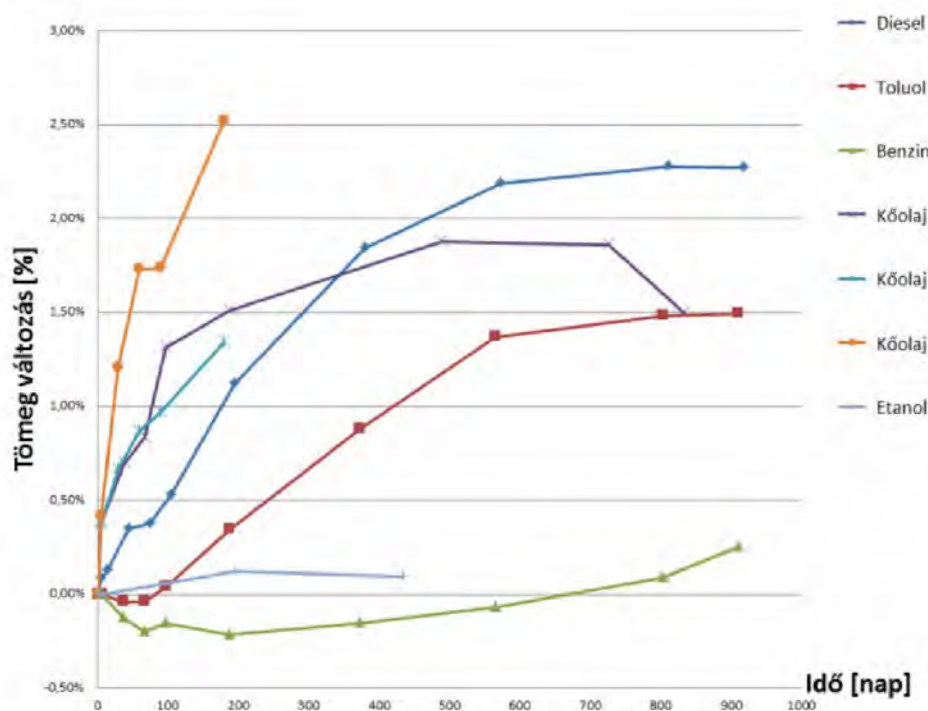
15. fénykép: DryFoam gyöngyök; készítette a szerző, 2016.



16. fénykép: A szárazhab-kéreg
[68]



17. fénykép: A DryFoam szárazhab
[66]



12. ábra: A kémiai ellenálló-képesség vizsgálat eredményei [66]

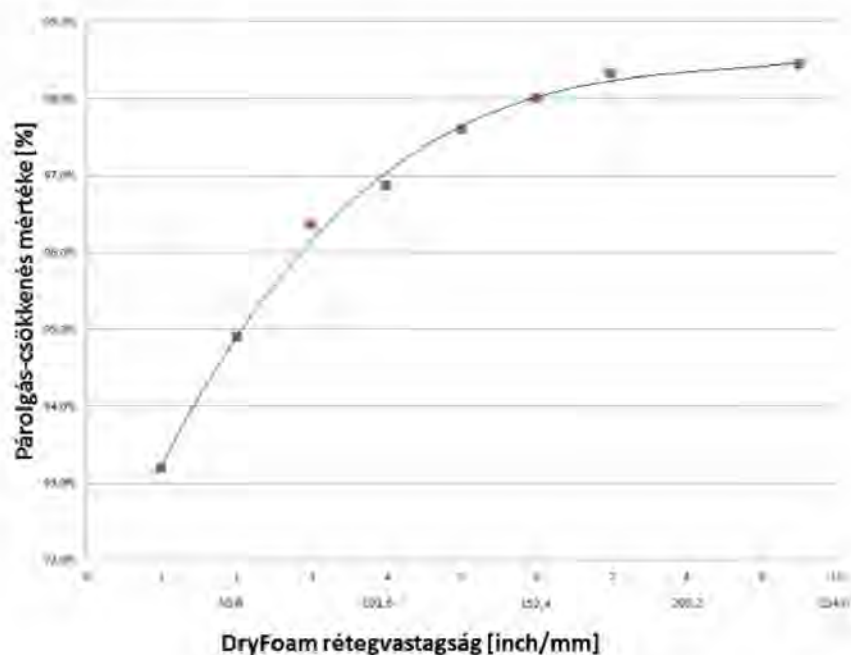
A DryFoam elsősorban az illékony, illetőleg tűzveszélyes folyadékok tárolás-biztonságának növelésében nyithat új távlatokat; az eddig lefolytatott kísérletek és tesztek elsődlegesen ezt a felhasználási területet kutatták. A továbbiakban ezen alkalmazási irányok fő területeit tekintem át: a folyadékfelületek kipárolgás csökkentése, valamint a DryFoam alkalmazása a tűzveszélyes folyadékok tűzvédelmében.

2.1.3.2. Kipárolgás csökkentés DryFoam alkalmazásával

Ebben az esetben a felületre juttatott DryFoam réteget nem éri hőhatás, így változatlan formában – átalakulás nélkül – biztosítja a felület zárását és ez által a kipárolgás csökkenését. Az apró gyöngyökből álló szárazhab-réteg jól illeszkedik a folyadékfelszín határoló, vagy megszakító szerkezetekhez, a különböző méretű szemcsék jó gőzzárást biztosítanak.

2.1.3.2.1. Folyadékok kipárolgásának csökkentése

A módszer hatékonyságát és a szükséges rétegvastagságot a gyártó Trelleborg Offshore a Southwest Research Institute (San Antonio, Texas) szakembereivel együttműködve végezte. A 11, 22 és 72 inch (27,94 cm; 55,88 cm és 182,88 cm) átmérőjű tesztartályokon végrehajtott mérések során acetont alkalmaztak, az ezen anyagot jellemző magas gőznyomás és intenzív párolgása okán. A felületet fedő „száraz-hab” réteg vastagságát 1 és 6 inch (25,4 – 152,4 mm) között változtatták, míg referenciaméréseket végeztek azonos átmérőjű, de hab-gyönggyel nem fedett, szabad aceton felületen is.



13. ábra: A DryFoam párolgás csökkentő hatása [66]

A mérések eredményét a 13. számú ábra szemlélteti. A kísérletek során megállapítást nyert, hogy a párolgás csökkentés eredményessége nagymértékben függ az alkalmazott „száraz-hab” rétegvastagságától. A mérési eredmények rámutatnak, hogy hozzávetőlegesen 15 cm vastag szárazhab-gyöngy réteg alkalmazásával a kipárolgás mértéke 98 %-al csökkenthető. A vizsgálatba bevont LastFire csoport gyújtási kísérletei (gázfáklya-teszt) igazolták, hogy ilyen mértékű kipárolgás csökkentés esetén a leggyakrabban tárolt anyagok gyakorlatilag nem gyújthatók meg.

Ugyanakkor a tesztek arra is rámutattak, hogy az anyag záróképesége nagymértékben függ a légtér stabilitásától; turbulens környezeti körülmények között a DryFoam kipárolgás csökkentő hatása érzékelhetően csökken. [69]

A fenti megállapításokra figyelemmel az anyag számos kedvező alkalmazási jellemzővel rendelkezik:

- Jelentős kipárolgás csökkentés érhető el az alkalmazásával;
- A párolgási veszteségek – ezzel együtt a környezetterhelés – csökkentése biztosítható ezzel az anyaggal;
- A DryFoam jól alkalmazható szabálytalan oldalfallal határolt folyadékfelszín „lezárására”;
- A „szárazhab” párolgás csökkentő képessége és hőállósága tűz megelőzési célú felhasználásra is alkalmassá teszi.

2.1.3.2.2. Szárazhab alkalmazása cseppfolyósított gázok esetén

Az éghető folyadékok gőzképződésének csökkentése terén elért eredmények birtokában a DryFoam gyártója cseppfolyósított gázok balesetei esetén történő alkalmazásra irányuló vizsgálat-sorozatba kezdett. A gyöngy-réteg alkalmazását LNG (Liquefied Natural Gas - cseppfolyósított földgáz) és LPG (Liquefied Petroleum Gas - cseppfolyósított szénhidrogén gáz) párolgásának csökkentésére tesztelték tűzzel, valamint tűz nélkül. [68] A 18. és 19. fényképek az LNG tűz intenzitásának csökkentését mutatják kipárolgás csökkentő anyag nélkül, valamint szárazhab réteggel.

Legfontosabb megállapítások:

- Csökkenti az anyag forrásának (kipárolgásának) intenzitását, ezáltal a gázfelhő kialakulásának veszélyét és a veszélyeztetett terület kiterjedését.
- Tűz esetén csökkenti a hőfejlődést, így a környező szerkezeteket érő hőterhelést is.
- Egyszerűen alkalmazható felfogóterekben.
- Hozzáidomul a különböző alakú szerkezetekhez.

Az elemzés során kétféle alkalmazási lehetőséget fogalmaztak meg: A DryFoam előzetes elhelyezése a LNG vagy LPG technológia felfogóterében, vagy a gyöngyök tárolása nagyméretű silókban, ahonnan vezetékeken át biztosítható az irányított kijuttatás.



18. és 19. fénykép: LNG tűz intenzitásának csökkentése DryFoam alkalmazásával [68]

2.1.3.3. A „szárazhab” tűzvédelmi alkalmazása éghető folyadékok esetén

A szárazhab – éghető folyadékok jelenlétében történő – tűzvédelmi célú alkalmazhatóságának vizsgálatára több fázisban és helyszínen került sor az elmúlt években, a kutatások fő irányai:

- Hogyan hat a szárazhab alkalmazása az éghető folyadék (kerozin) lobbanáspontjára és gyulladási hőmérsékletére,
- A szárazhab alkalmazásával a kivetődés és kiforrás (gázolaj) megakadályozása, késleltetése, valamint következményeinek csökkentése,
- Szárazhab alkalmazása tűzoltási célra.

A DryFoam folyadéktüzek esetén történő alkalmazásának vizsgálatát végző LastFire csoport kutatásai elsősorban három területre irányultak: a tűzoltási, illetőleg tűzoltást elősegítő lehetőségek vizsgálata mellett visszagyújtási próbákat hajtottak végre, valamint az éghető folyadékok kivetődés (boilover) megelőzésében történő lehetséges alkalmazást vizsgálták [70].

Jelenleg Japánban (Chiba Institute of Science) és Tajvanon (National Kaohsiung First University of Science and Technology) zajlanak kutatások a témában, melyek várhatóan 2016-ban folytatódnak. Vizsgálataik két területre fókuszálnak: lobbanáspont és gyulladási hőmérséklet változása szárazhab hatására, valamint a szárazhab alkalmazásának hatása a kivetődésre és a kiforrásra.

2.1.3.3.1. A lobbanáspont és a gyulladási hőmérséklet változása szárazhab hatására

A Tajvanon jelenleg zajló kutatások helyszíne a National Kaohsiung First University of Science and Technology, melynek tűzvédelmi laboratóriumában került sor kísérletekre. Az anyag vizsgálatát 2016-ban tovább folytatják az egyetem kutatói. [71]

A végrehajtott kísérletek során 0,1 és 0,3 m átmérőjű, kör alakú, 0,1 méter magas tesztálcákat használtak. A tesztedényeket egy nagyobb – 0,4 méter – átmérőjű edényben helyezték el, melyet alulról melegítettek.

A tálcák közti egyenletes hőátadás érdekében a tálcák közé növényi olajat injektáltak, mely elrendezéssel lehetőség nyílt az üzemanyag egyenletes melegítésére.

A tesztek során alkalmazott éghető folyadék jellemzői:

- Kerozin,
- 0,09 méter rétegvastagságban,
- Zárttéri lobbanáspontja 47°C,

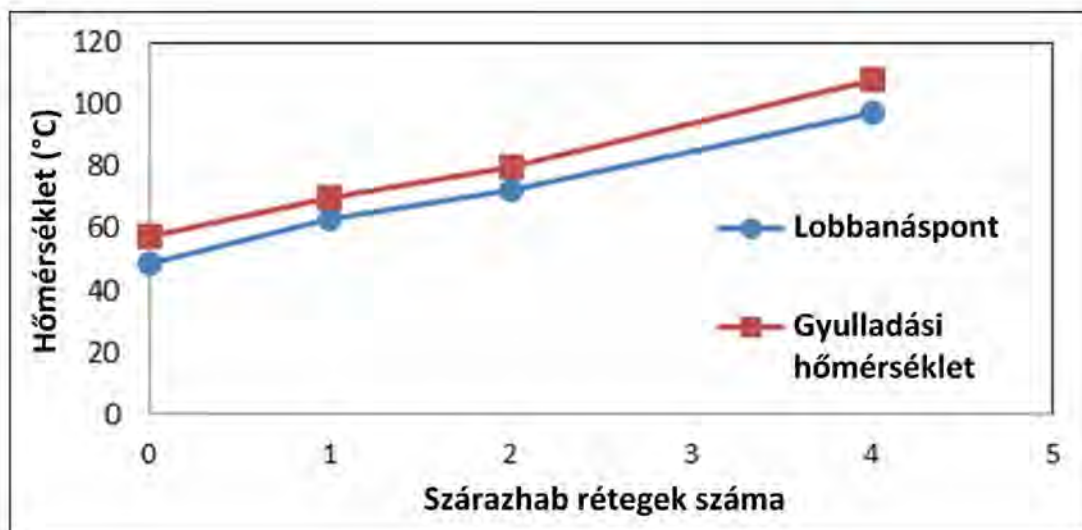
Az alábbi méréseket végezték:

- A berendezést 1 gramm pontosságú mérlegre helyezték, amivel a tömegvesztést ellenőrizték,
- A kerozin hőmérsékletét a tesztálca közepén „K típusú” (chromel – alumel) termoelemmel mérték,
- A tesztek során – nem szabványszerű (ISO 2592:2000), de hasonló mérési módszerrel – mérték a kerozin nyílttéri lobbanáspontját, mely értékek kiindulási adatai: 0,1 méter átmérőjű tálca esetén 48°C, a 0,3 méter átmérőjű tálca esetén 43°C.

A tesztek során négyféle szárazhab rétegvastagságot alkalmaztak:

- DryFoam nélkül;
- Szárazhab alkalmazása 1 rétegben;
- Szárazhab alkalmazása 2 rétegben;
- Szárazhab alkalmazása 4 rétegben.

A teszteknel felhasznált DryFoam mennyisége 3,58 és 32,1 gramm között volt.



14. ábra: A kerozin lobbanáspontjának és gyulladási hőmérsékletének változása [71]

A 14. ábra 0,1 méter átmérőjű tálcán mért adatokat szemlélteti.

Fontosabb megállapítások:

- A grafikonból kitűnik, hogy a szárazhab alkalmazása esetén magasabb lobbanáspont és a fennmaradó lángolást eredményező – gyulladási hőmérséklet értékeket mértek.
- Több szárazhab réteg alkalmazása esetén magasabb a lobbanáspont és a gyulladási hőmérséklet.
- A kutatók tájékoztatása szerint a szárazhab rétegek számának növekedésével a 0,1 méteres tálca esetén nagyobb mértékben emelkedtek a lobbanáspont és a gyulladási hőmérséklet értékek, mint a 0,3 méter átmérőjű tálca esetén.
- A 0,3 méteres tálca esetén az ellobbanások az edény peremének közelében voltak megfigyelhetőek.

A kutatók megállapítása szerint a fent utolsóként rögzített két megállapítás háttérében az áll, hogy nagyobb folyadékfelszín esetén a szárazhab réteg vastagsága nem egyenletes: a falhoz közeledve vékonyabb, míg a felszín közepén vastagabb DryFoam vastagság alakul ki.

Meglátásom szerint a két utolsó megfigyelés ismét a falhatás jelentőségét támasztja alá. A kerozint tartalmazó tálca felmelegített fala mentén intenzív gőzképződés és kipárolgás következett be. A lemezfelület mentén a szárazhab nem tudott megfelelő gőzzárást biztosítani, ami az edényfal melletti ellobbanásokhoz vezetett. Mindez a 30 cm átmérőjű edényben folytatott mérések során, a nagyobb tálcaméret miatt volt jobban megfigyelhető.

2.1.3.3.2. A szárazhab hatása a kivetődésre és a kiforrásra

A DryFoam kivetődés-kiforrás (boilover) megelőzésében történő lehetséges alkalmazását eddig a LastFire csoport szakemberei, valamint a Japánban és Tajvanon folyó kutatások során vizsgálták. [72] A LastFire szakemberei különböző szárazhab rétegvastagságokat alkalmaztak. A korábbi kutatások eredményeként ismert és jól reprodukálható kivetődési jellemzők miatt gázolaj-benzin elegyet használtak, míg a tesztedény aljára vízréteg került.

A DryFoam alkalmazása egyértelműen késleltette a kivetődést, míg hozzávetőlegesen 15 cm (6 inch), vagy azt meghaladó rétegvastagság esetén a kivetődés nem következett be.

A témához kapcsolódóan a tajvani tűzvédelmi laboratóriumban jelenleg is folynak kutatások.

Az eddig lefolytatott kísérleteiket és eredményeiket – a több mint egy évtizedes együttműködésünknek köszönhetően – személyes találkozás során és elektronikus kommunikációs csatornák alkalmazásával volt módomban megismerni.

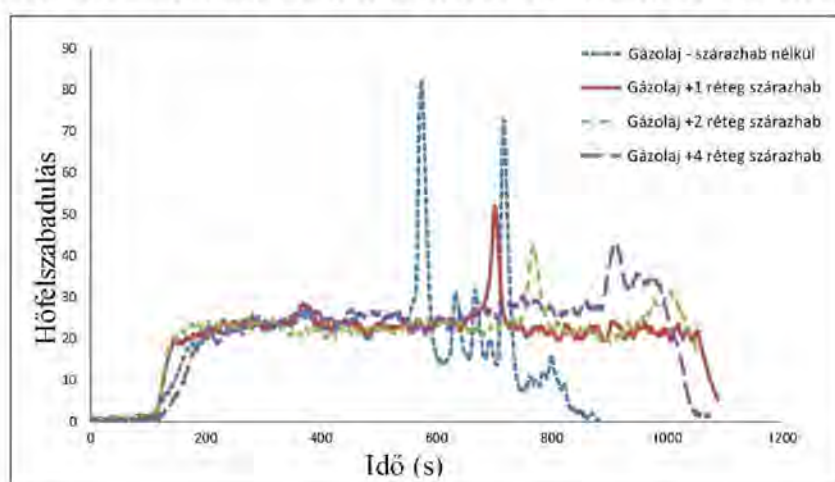
A kutatásaik legfontosabb jellemzői [71]:

- 0,1 és 0,3 méter átmérőjű, kör alakú, 0,1 méter magas tesztálcák alkalmazásával került sor a tesztekre.
- Négyféle szárazhab rétegvastagságot alkalmaztak – az előző fejezetben bemutatott kísérletekhez hasonlóan: DryFoam nélkül, valamint az anyagot 1,2 és 4 rétegben alkalmazva került sor vizsgálatra.
- Az alkalmazott éghető folyadék gázolaj volt, melynek zárttéri lobbanáspontja 70°C.
- Az üzemanyagot 5 cm vastag vízrétegre, 2 cm-es rétegvastagságban alkalmazták.
- Az üzemanyag begyűjtéséhez gyújtóbenzint alkalmaztak: a 0,1 méter átmérőjű tálca esetén 20 grammot, míg a 0,3 méter átmérőjű tálca esetén 60 grammot.
- Másodpercenként mérték a kiegészi sebességet, valamint a hőfelszabadulás mértékét – mint a tüzesetet és a szükséges beavatkozási képességet leíró az egyik legfontosabb tűzjellemzőt. [73]

A szárazhab gyöngyök hozzáadása nélkül lefolytatott kísérletek során a gázolaj esetében jellemző, az 1. fejezetben leírtak szerinti kivetődés jelenség volt megfigyelhető, mindkét méretben bekövetkezett a kivetődés:

- a 0,1 méter átmérőjű tálca esetén 21 perc 13 másodperc előégetést követően, míg
- a 0,3 méter átmérőjű edénynél 9 perc 35 másodperc után.

A szárazhab hozzáadásával lefolytatott kísérletek során nem került sor kivetődésre, de néhány égő szárazhab-gyöngy kilövellt az edényből. A kilépő DryFoam részecskék mennyisége a szárazhab rétegvastagságának növelésével csökkent. A 15. ábra 0,3 méteres tálca esetén a hőfelszabadulást szemlélteti különböző rétegvastagságok esetén. A gyöngyök alkalmazásának hatására csökkent a hőfelszabadulás mértéke és később következett be a kivetődés.



15. ábra: A hőfelszabadulás alakulása a kivetődés kísérletek során, különféle szárazhab rétegvastagságok esetén [71]

Mindkét kísérletsorozat igazolta a szárazhab-gyöngyök kedvező hatását és alkalmazásának lehetőségét a kivetődés megelőzésére, késleltetésére és hatásának csökkentésére.

A Tajvanon végrehajtott tesztek gázolajjal történtek, mely éghető folyadék kivetődése eltér a nehéz olajoknál ismert, nagyobb intenzitású és erőteljesebb hatású jelenségtől. Ennek is köszönhető, hogy a gyöngyréteg alkalmazásával elérhető hatások csak részben jelentek meg a mérési eredményekben: a lángolás intenzitásának közvetlenül érzékelhető csökkentése ellenére ez a hatás csak kisebb mértékben jelent meg a mért hőmennyiség értékekben.

2.1.3.3.3. Szárazhab alkalmazása tűzoltási célra

A DryFoam folyadéktüzek esetén történő alkalmazásának vizsgálatát végző LastFire csoport kutatásai kitértek a tűzoltási, illetőleg tűzoltást elősegítő lehetőségek vizsgálatára, valamint visszagyújtási próbákat hajtottak végre. [70] A kutatás során különböző - poláros és nem poláros - éghető folyadékok alkalmazásával 17 kísérletet hajtottak végre egy 10 m² felületű égetőtálcán.

A tesztek eredményeként megállapítást nyert, hogy a gyöngyök térfogat növekedése és aktiválódása következtében létrejött, szinte szilárd habkéreg számottevően csökkentette a lángoló felület nagyságát és a tűz intenzitását. A tűzoltást követően visszamaradt habréteg még 10 órával később is stabilnak bizonyult és megfelelő zárást biztosított, megakadályozva a felület visszagyújtását. Az ismertetett kutatások alapján határoztam meg a víz- és olajtaszító, tűzálló tulajdonságú, habszerű anyagok csoportjával kapcsolatos hipotézisemet, miszerint ezen anyagok tűzoltásra is alkalmasak. A tárgyban folytatott – a 4.2. fejezetben bemutatásra kerülő – empirikus kutatásimat az előzőekben áttekintett megállapításokra és eredményekre alapozva alakítottam ki.

2.2. Tartálytűzoltó rendszerek

A nagyméretű atmoszférikus tárolótartályok tűzoltására alkalmazott – műszaki – megoldások, rendszerek kialakításuk szerint az alábbi két csoportba sorolhatók:

- Beépített (egyszerűsített félstabil, félstabil és stabil), habbal oltó rendszerek, valamint
- Mobil tartálytűzoltó rendszerek.

A fenti alapvető, általános csoportosítás alapján – a később bemutatásra kerülő elvek mentén – minden alkalmazott megoldás rendszerezhető.

A kutatásom tárgyának választott mobil tartálytűzoltó rendszerek általában a beépített és szállítható elemek kombinációjaként jellemezhetők, míg a stabil tartálytűzoltó berendezések önállóan, szállítható vagy mozgatható egységekkel történő kiegészítés nélkül alkalmasak tartálytűz oltásra. A mobil tartálytűzoltás bevetésre kerülő konfigurációját mindig az adott terület kiépítettségére, az ott rendelkezésre álló beépített rendszerekre alapozva alakítjuk ki.

A beavatkozások során legtöbb esetben együtt és egyidejűleg alkalmazzuk a kiépített és mozgatható rendszerelemeket. Sok esetben a tartálytűz eloltására elsődlegesen tervezett stabil rendszer mellé mobil eszközökre alapozott tartalékot is készenlétben tartunk. Ugyanakkor a mobil tartálytűzoltó rendszer működése mellett is gyakran alkalmazzuk a rendelkezésre álló kiépített berendezéseket, például védelmi és hűtési feladatra (palást és vagy tetőhűtők, beépített hab-víz ágyúk), az előszerelés megkönnyítésére (szárazfelszálló vezetékek), vagy a habteljesítmény növelésére (beépített habfolyatók).

E szoros egymásra épülés, kapcsolódás és kölcsönhatás okán az elemző munka elengedhetetlen része a beépített rendszerek legfontosabb általános jellemzőinek áttekintése.

2.2.1. Beépített tartálytűzoltó berendezések és rendszerek

A tartálytűzoltás fejlesztésének megalapozásához elengedhetetlenül szükséges a jelenleg is alkalmazott rendszerek legfontosabb jellemzőinek megismerése. E fejezetben röviden, általánosságban mutatom be a nagyméretű, éghető folyadékok atmoszférikus tárolására szolgáló tartályok beépített tűzoltó rendszereinek kialakítását és legfontosabb jellemzőit.

Kutatásaim középpontjában a mobil tartálytűz oltási mód áll, ezért a beépített tartálytűz oltó rendszereket csak a további elemzéshez szükséges részletességgel, röviden tekintem át.

A hatályos szabályozás alapján³⁷ tűzoltó berendezést kell létesíteni a 100 °C-nál kisebb lobbanáspontú tűzveszélyes folyadékok tároló-, illetve technológiai tartályaira, ha azok tűzfelülete nagyobb, mint 100 m², vagy űrtartalmuk nagyobb, mint 1000 m³. Az Országos Tűzvédelmi Szabályzat 14. pontja megadja a beépített tűzoltó berendezések meghatározását: az építményben vagy szabadtéren elhelyezett, helyhez kötött, a tűz oltására, a beavatkozás könnyítésére, a tűz terjedésének megakadályozására, a tűzkár csökkentésére alkalmazott, tűzoltó vízforrásnak nem minősülő, önműködő vagy kézi indítású vagy mindkét módon indítható berendezés. A szabályozás egyértelművé teszi, hogy a tartályok védelmére kialakításra kerülő rendszerek beépített tűzoltó berendezésnek minősülnek.

Alapvetően két nagy csoportba sorolhatóak a tárolótartályok tűzoltására beépített berendezésként kialakított habbaloltó rendszerek:

- félstabil habbal oltó rendszerek;
- stabil habbal oltó berendezések.

³⁷ Országos Tűzvédelmi Szabályzat 154. § (1) a) alapján a 14. melléklet rendelkezése szerint

2.2.1.1. Félstabil habbal oltó rendszerek

A félstabil habbal oltó rendszer mobil habképzőanyag bekeverő berendezéssel működő, részben beépített berendezés, amelybe az oldatvezeték, a habfejlesztő készülék (habsugárcső) és ezek szerelvényei be vannak építve, továbbá az oldatvezeték csatlakozó csonkjai mellvédfalon vannak elhelyezve.

A habbekeverést, valamint a habképzőanyag tárolását és helyszínre jutását ebben az esetben mobil eszközök – általában tűzoltó gépjárművek - biztosítják.

A járműveket földfeletti tűzcsapokról táplálják meg, majd a bekeverést követően az oldat az erre a célra kialakított csővezetéseken jut el a habsugárcsőekbe. A kész nehézhab habfolyatón, vagy habedényen keresztül jut be a tartályba.

A habedény alkalmazásának célja, hogy a normál üzemmenet időszakában, a tartályban keletkező folyadékgőzök ne jussanak ki a szabadba. Ennek biztosítására a habvezetékét átszakadó fóliával, vagy üveglappal lezárják, mely az érkező hab nyomásától roncsolódik. A kialakítástól és a tűzivíz hálózat nyomásértékétől függően nyomásfokozó szerepet is kaphat a tűzoltógépjármű szivattyúja, azonban megfelelő teljesítményű nagynyomású oltóvízellátással rendelkező területeken a gépjármű belépő víznyomása elegendő a habbaloltó rendszer üzemserű működéséhez.

A félstabil habbaloltó rendszer alkalmazásának előnye, hogy a működéséhez szükséges legköltségesebb részegységek (habbekeverő egység, nyomásfokozó szivattyú), valamint a nagy mennyiségben készenlétben tartandó oltóanyag a mobil kialakítás következtében több tartálynál – akár a teljes létesítmény területén – alkalmazható. Így a berendezés fixen telepített elemei minden tartálynál kiépítésre kerülnek, de – egy vagy több – habközpont létesítése nem indokolt, feladatát a könnyen mobilizálható formában gépjárművek látják el.

Hátrányaként említhető, hogy a rendszerrel végrehajtandó tűzoltást megelőzően előszerelési feladatokat kell végrehajtani, a mobil részegységeket csatlakoztatni szükséges a berendezés beépített elemeihez. E késedelem, mely a „szerelési feladatok” végrehajtására rendelkezésre álló személyzet létszámától és felkészültségétől függ, a tűzoltást megelőző szabadégési idő megnövekedése mellett a tűzoltás időtartamában is emelkedést okozhat.

A beépített félstabil habbal oltó rendszerek egyszerűbb – és ez által kisebb költséggel létesíthető és készenlétben tartható – változata az egyszerűsített félstabil habbal oltó rendszer. Ebben az esetben a habbal oltó rendszer mobil habképzőanyag bekeverő berendezéssel működő, részben beépített berendezés, amelynek az oldatvezető csatlakozó csonkjai mellvédfal nélkül, a védőgödör sánc rézsúja vagy a védett tartály előtt helyezkednek el.

A rendszer működése, valamint felépítése egyébként megegyezik a teljes félstabil habbal oltó rendszereknel megismertekkel. A mellvédfal elhagyása általában nem okoz további késedelmet a tűzoltás végrehajtásában, bár bizonyos esetekben – például kedvezőtlen szélirány esetén – nehézséget okozhat: a védőfal elmaradásából adódóan intézkedni kell a csatlakozószerelvényeknél feladatot ellátók hő elleni védelmének növelésére. Erre sor kerülhet magasabb védőképességű hővédő ruházat alkalmazásával, vagy védősugarak, vízpajzsok működtetésével.

A félstabil és egyszerűsített félstabil habbal oltó berendezés általános kialakítása, részei:

- Oltóvízellátás:
 - oltóvíz nyerőhely (vezeték, tároló, tartály, medence, vízkivételi hely, stb.);
 - oltóvíz szivattyúmű szívó- és nyomóoldali része a hozzá tartozó hajtó-, kapcsoló- és szabályzó-berendezéssel, valamint ezek tartozékai;
 - vízcsőhálózat a hozzá tartozó föld feletti tűzcsapokkal;
 - oltóvíz nyomásfokozó berendezés.
- Habképzőanyag ellátás és habbekeverés:
 - habképző anyag készletli tároló és szállító egységei;
 - a habbekeverés berendezései habképzőanyag tároló/szállító képességgel, vagy anélkül.
- Habképzés részei és vezetékai:
 - haboldat táplálási pont a tűztávolság határán kívül, mellvédfallal vagy anélkül, szerelvényekkel;
 - oldatvezető csőrendszer;
 - léghabsugárcsövek;
 - habvezető és habfolyató csőrendszer; továbbá annak a tartályon és a védőgödörben elhelyezett szerelvényei (például habedény a zárómembránnal)
 - habcsúszda.

A felfogótereknél általánosan alkalmazott „habfolyatók” szintén félstabil kialakításúak, mellvédfal hiányában leginkább az egyszerűsített félstabil rendszerekhez hasonlítanak. Védőgyűrűs tartályok felfogóterének habfolyató kialakítása megegyezik az úszótetős tárolóknál alkalmazott rendszerekkel, ahol a bejutó oltóhab a palást belső felületére ütközik, azon folyik le az égő folyadék felszínére.

2.2.1.2. Stabil habbal oltó berendezések

Ebben az esetben a kiépítés során helyhez kötötten alakítják ki a teljes oltóberendezést (a víz, az oldat és a haboldali rész), amelynél az oltást egy vagy több oltóközpontból, központi vezérléssel végzik. Nem igényel külső eszköztámogatást vagy – a kezelőszemélyzeten túl – nagyobb beavatkozási létszámot a tűzoltás.

A stabil habbal oltó berendezéseknél a félstabil rendszerek esetében tűzoltó gépjárművekkel biztosított funkciókat (habbekeverés, habképzőanyag ellátás, esetleg nyomásfokozás) is a beépített rendszer részegységei látják el: habképzőanyag tartályt, bekeverő egységet és szabályozó berendezéseket, valamint – szükség esetén – nyomásfokozó szivattyút kell a telepített oltóközpontban létesíteni és üzemben tartani.

E megoldás legnagyobb előnye a beavatkozás gyorsaságában rejlik: a tűzoltás a rendszer „elindításával” megkezdhető, nincs szükség az erők, eszközök és oltóanyagok időigényes összevonására vagy szerelési feladatok végrehajtására. A tűzoltási reakcióidő tovább csökkenthető automatikus, tűzjellemzőket érzékelni képes jelzőrendszerrel vezérelt kialakítás esetén. A stabil habbal oltó berendezés rendszerint nagyobb beruházással létesíthető és legmagasabb ráfordítással üzemben tartható, mint más tartálytűzoltó rendszerek. A készenlétben tartás költségei között jelentős tételt tesznek ki a különböző (időszakos) felülvizsgálatok költségei.

A beépített tartálytűzoltó berendezések legfontosabb általános jellemzőinek összefoglalása mellett említést kell tenni azokról a megoldásokról is, melyek a hagyományos rendszerkialakítási korlátokból kilépve jelentek meg a világban. Hazánkban talán legismertebb ilyen rendszer az IFEX Tűzvédelmi Kft. által kifejlesztett, instant-hab alkalmazására és lineáris habbevezetésre épülő megoldás. [75] Szintén különleges megoldás a tartály úszótetőjére épített stabil tömítőrés-tűz oltó berendezés [76], vagy a kombinált (oltóporral és habbal történő) tartálytűzoltásra alkalmas – belső úszótető – tartály „habedény”. [77]

2.2.1.3. A tartályon elhelyezett hűtőberendezések

A beépített tűzvédelmi berendezések szerves részét képezi a hűtőrendszer is. A hűtőberendezés feladata, hogy megakadályozza a tartálytest túlzott felmelegedését, ezáltal az állékonyság csökkenését. Ezt úgy igyekszik elérni, hogy egyenletes vastagságú, egybefüggő vízfilm kialakításával a tartály külső felületén folyamatos hűtést biztosít. Hűtőberendezést 200 m³-es űrtartalom feletti tartályok esetében kell kiépíteni.

Hűtőberendezés vízellátását általában a terület tűzivíz hálózatáról biztosítják a rendszerhez tartozó csővezetékeken és szerelvényeken keresztül. A megfelelő vízfűggyőny kialakítását különböző típusú, általában a vízrendszerben előforduló szennyeződésekre rendkívül érzékeny szórófejek biztosítják.

Merevtetős tartályok esetén a tartály tetejét és palástját is hűteni kell, míg az úszótetős típusnál csak a palást hűtését kell biztosítani. Követelmény, hogy a berendezés megosztva is üzemeltethető legyen, biztosítva a szomszédos égő tartály irányába eső felületek hűtését a nem veszélyeztetett oldal rányitása nélkül. A hűtés ráindítása általában a mellvédfal mellett elhelyezett szerelvények, vagy ritkábban motoros tolózárak kinyitásával történik.

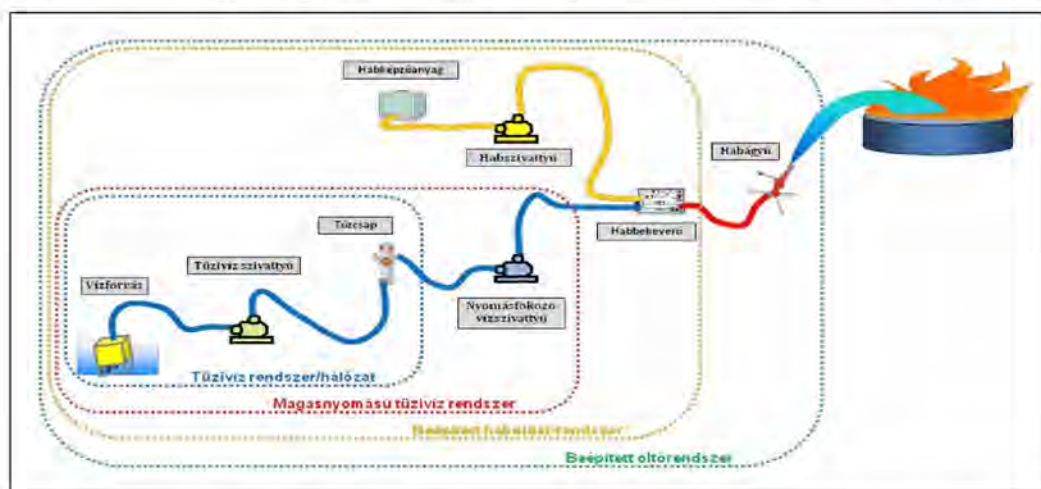
A technológiai okokból (például fűtött tartályok) szigetelt tartályok általában nem rendelkeznek palásthűtő rendszerrel.

2.2.2. A mobil tartálytűzoltás

A következőkben, kutatási céljaimmal összhangban, a nemzetközi és hazai kutatási eredmények felhasználásával elemzem a mobil tartálytűzoltás rendszerének legfontosabb elemeit. A mobil tartálytűzoltás szállítható eszközei szinte mindig kapcsolódnak beépített egységekhez, a rendszer csak ezen – stabil és mobil – elemek működtetését összehangolva képes ellátni rendeltetését.

A tartálytűzoltó megoldások különféle konfigurációi közül a mobil tartálytűzoltó rendszerekre jellemző legfontosabb tulajdonságok:

- A rendszer egy vagy több egységét mozgatható, vagy szállítható kivitelben juttatjuk a beavatkozás helyszínére,
- A mobil részegységek a káreset helyszínén rendelkezésre álló kiépített (stabil) rendszer elemekkel összekapcsolva válnak – tűzoltásra alkalmas – teljes rendszerre.
- Az oltóanyagot mobil (hordozható, szállítható, mozgatható) eszközzel/eszközökkel – rendszerint habsugárral, vagy habágyúval – juttatjuk a tűzoltás célterületére.



17. ábra: A tartálytűzoltó rendszerek felépítésének sematikus áttekintése [78]

A világban szinte megszámlálhatatlan, különféle kialakítású rendszer üzemel, melyek mindegyikének részletes bemutatása nem célom dolgozatomban, de a 17. ábra áttekinti a hagyományos felépítésű mobil rendszerek alapváltozatait.

A leginkább elterjedt megoldás, amikor a területen tűzivíz hálózat áll rendelkezésre, melyet a mobil egység vízzel történő ellátására alkalmazunk. Ebben az esetben a szükséges oltóvíz kivételével a tűzoltó rendszer minden elemét a tűz keletkezését követően kell a helyszínre szállítani, és a legkedvezőbb telepítési hely kiválasztása után üzembe helyezni.

Ha a vízrendszerből nagynyomású oltóvíz nyerhető ki – melynek nyomásértéke elegendő a további egységek működéséhez – nem szükséges nyomásfokozó vízszivattyút alkalmaznunk.

A beépített oltóanyag ellátás következő szintje a beépített haboldat rendszer, amikor a „tűzcsapokból” már előkevert haboldat nyerhető ki. A beavatkozók feladata ebben az esetben „csupán” a hablövellő eszközök (például ágyúk) telepítése és oldattal – megfelelő nyomással – történő ellátása, majd kezdődhet a tűzoltás.

Végezetül az ábrán zölddel jelöltem a kizárólag beépített elemeket tartalmazó stabil habbal oltó rendszert. A mobil tartálytűzoltó rendszer műszaki és taktikai jellemzőivel a következőkben foglalkozom részletesebben.

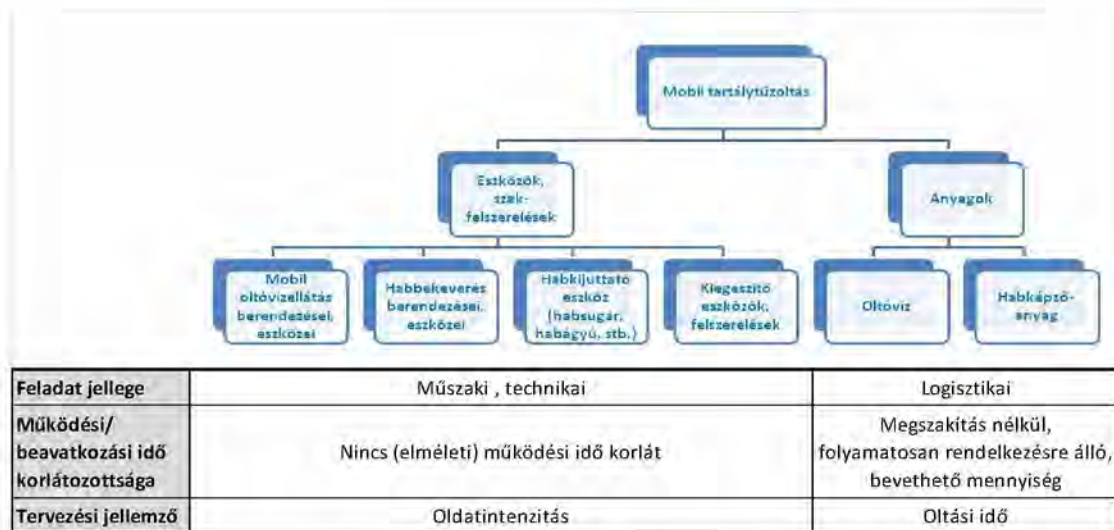
A nagyméretű, atmoszférikus éghető folyadék tároló tartályok mobil eszközökkel történő tűzoltásának eredményessége kizárólag bizonyos tárgyi és személyi feltételek rendelkezésre állása esetén biztosítható.

E megközelítésben

- megfelelő tárgyi feltételek (megfelelő eszközök, szakfelszerelések, oltóvíz, habképzőanyag, stb.), és
- felkészült – irányító, valamint végrehajtó – személyi állomány szükséges.

A sikeres beavatkozás elengedhetetlen feltétele a beavatkozásban résztvevők felkészítése, azonban a gyakorlott személyi állomány biztosítása kívül esik értekezésem témakörén, nem tárgya a további elemzésemnek. A tárgyi erőforrás csoportok az adott feladathoz illeszkedő mennyiségi, minőségi és megfelelő időben történő rendelkezésre állása szükséges feltétele az eredményes beavatkozásnak.

A következőkben általánosságban, technikai részletek nélkül rendszerezem e terület jellemzőit és a kapcsolódó kérdéseket. A 18. ábra mobil tartálytűzoltás rendszerének tárgyi elemeit foglalja össze.



18. ábra: A mobil tartálytűzoltás műszaki és logisztikai feltételrendszere;

készítette a szerző 2011.

A **műszaki rendszer** különböző részei biztosítják az oltóvízellátást, a habbekeverést, az oldat felhabosítását, valamint a hab tűzfelületre juttatását. Mindezt kiegészíti a különböző tartozékok egész sora, például tömlők, csatlakozóelemek, kulcsok.

A technikai eszközöknek – a tartálytűzoltás időszakára vetítve – nincs elméleti működési idő korlátja. Megfelelő állapotú, karbantartott és az igénybevételre felkészített eszközök esetén a folyamatos működést hosszabb ideig is fent tudjuk tartani, amennyiben szükséges. Az alkalmazott gépek, eszközök, műszaki berendezések tervezési üzemideje messze meghaladja az esetei tűzoltási igénybevételt, csupán a folyamatos működéshez kapcsolódó feladatokat (kezelői felügyelet, alkalmi ellenőrzések, szükség szerű utántöltések, stb.) kell biztosítani.

A mobil eszközök alkalmazásával történő tartálytűzoltás műszaki eszközrendszerével részletesen foglalkozom az értekezés 2.3.2 fejezetében.

A **tűzoltáshoz szükséges anyagok** csoportja elsősorban vízből és habképzőanyagból áll, a felhasználásra kerülő további anyagok, segédanyagok (például üzemanyagok, kenőanyagok) mennyisége elhanyagolható. Nagy mennyiségű oltóvizet igényel a habképzés, amihez habképzőanyagra is szükségünk van, hogy végre tudjuk hajtani a tűzoltást. Vízre van szükségünk a környezet védelmére, hiszen hűtenünk kell a szomszédos tartályokat, kapcsolódó berendezéseket és a környezetet, sőt az égő tartályt is. Az anyagellátás rendszerében időbeni korlátok azonosíthatóak. Az oltó- és hűtőanyag felhasználástól és az oltóvíz, valamint habképzőanyag elérhető mennyiségétől függően a beavatkozás időtartamát korlátozhatja ezen anyagok korlátozott rendelkezésre állása, a források esetleges kimerülése.

A mobil tartálytűzoltás erőforrás rendszerének e két alrendszeréhez egy-egy tartálytűzoltás tervezési számítási céladat kapcsolódik:

- A műszaki alrendszerrel szemben támasztott követelmény a tűzoltás haboldat intenzitás értéke, ami az adott tűzoltási feladat végrehajtásához szükséges összesített haboldat teljesítmény igényt jelenti.
- A tűzoltáshoz szükséges anyagok rendelkezésre állásához szorosan kapcsolódik a tűzoltás időtartama, ami a meghatározott oldatintenzitással történő habbaloltás teljes ideje.

E két alrendszer szoros kölcsönhatásban van, az eredményes beavatkozás érdekében teljesítendő követelmények meghatározásával részletesen foglalkozom az értekezésem 2.3.1. fejezetében.

2.3. A mobil tartálytűzoltás erőforrás-rendszerének kutatása

A mobil tartálytűzoltás erőforrásrendszerét az előző alfejezetben leírtak alapján kétféle megközelítésben vizsgálom: a mobil eszközök alkalmazásával történő tartálytűzoltás tervezési jellemzőire, illetőleg a műszaki eszközökre figyelemmel.

2.3.1. A mobil tartálytűzoltás tervezése, számítási eljárások és módszerek

A mobil tartálytűzoltásra való felkészülést alapvetően a tűzoltás tervezéséhez műszaki alapot biztosító számítási módszerekre kell alapozni. Különböző számítási módszerek ismertek, de az adott tűzoltási feladat és beavatkozási jellemzők alapján mindegyik az előző fejezetben bemutatott két jellemző – az oldatintenzitás és oltási idő – meghatározására irányul.

E két paraméter alapján meghatározható a tűzoltás teljes vízmennyiség és habképzőanyag szükséglete, amit meg kell növelni az egyéb célú vízigénnyel (például: az égő és környező tartályok hűtése, környezet és beavatkozók védelme), valamint habképzőanyag igénnyel (például: másodlagos tűzoltási feladatok), és a tartalékokkal. Az oltóanyagok megfelelő módon és ütemezésben történő biztosításának tervezése és szervezése a mobil tartálytűzoltás logisztikai területe. A következőkben példaként, a teljesség igénye nélkül négy számítási módszert elemzek.

MSZ EN 13565-2:2009

Az EN 13565-2:2009 számú szabályozás, mely hazánkban eredeti szövegezéssel MSZ EN 13565-2:2009 számon került kiadásra. Az alkalmazott tervezési paraméterek kísérleteken és tényleges tűzoltási adatokon alapulnak. A dokumentum előírásokat tartalmaz az éghető folyadék tároló tartályok és védőgödreinek mobil tűzoltása esetére is.

A szabályozás hazai - mobil tűzoltás esetén – történő alkalmazására vonatkozóan kiegészítő előírásokat tartalmaz a Tűzoltás-taktikai Szabályzat, melynek kiadásáról az 5/2014. (II.27.) BM OKF utasítás rendelkezik.

A Szabályzat X. fejezete tartalmazza az „Éghető folyadékot tároló tartályok és felfogó terek tüzeinek oltására” vonatkozó előírásokat.

E szabályozás megújítása kutatásom időszakában zajlott, mely munka során lehetőségem volt a tartálytűz oltásra vonatkozó fejezetek megalkotása során közreműködni. Kutatómunkám eredménye beépült a hatályos hazai eljárásrendbe.

NFPA 11

Az amerikai NFPA³⁸ által kialakított és rendszeresen felülvizsgált „ajánlás” nehéz-, közép- és könnyűhabokra, és azok alkalmazására vonatkozó szabályokat tartalmaz. A vonatkozó NFPA 11³⁹ jelölésű szabályozás a tartálytűzoltás tárgykörét az 5. fejezetében, az alacsony habkiadósságú habokra (nehézhabok) vonatkozó részben tárgyalja.

Williams Fire & Hazard Control ajánlása

A texasi székhelyű vállalat a világon egyik legnagyobb mobil tartálytűzoltási tapasztalattal rendelkező szervezet, mely a Tyco cégcsoporthoz tartozik. Tervezési módszerüket mérési eredmények és gyakorlati tapasztalatok alapján állították össze, eljárásrendjüket és eszköz választékukat folyamatosan fejlesztik. Mobil tartálytűzoltás tervezési módszerüket sok helyütt referenciának tekintik, így hasznos a Williams ajánlását is összevetni a nemzetközi szabályozókkal. [79]

BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgató 109/2000. számú intézkedése

A habbaloltás tervezését az MSZ EN 13565-2:2009 szabvány megjelenését megelőzően közel fél évszázadon át tartalmukban megegyező, de különböző formában kötelezővé tett előírások szabályozták. Legutolsóként a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgató „a beavatkozáshoz szükséges erő-eszköz és oltóanyag számítás módjáról” szóló 109/2000. számú, 2000. november 27.-én kiadott intézkedése rögzítette a „hagyományos”, a térség országaiban hasonló tartalommal alkalmazott számítási elvrendszert. A főigazgatói intézkedésben rögzítettek alkalmazására vonatkozó részletes szabályozás a – már hatályon kívül helyezett – 1/2003. (I. 9.) BM rendeletben, annak mellékleteként kiadott Tűzoltási és Műszaki mentési szabályzatban került közzétételre. Az éghető folyadékot tároló tartályok és felfogó terek tüzeinek oltására vonatkozó előírások helyébe időközben – az MSZ EN 13565-2:2009 kapcsán megemlítt – új szabályrendszer lépett, de más tűztípusokra továbbra is érvényben vannak a főigazgatói intézkedés előírásai. A hatályos előírások értelmezését elősegítendő, a számítási jellemzők vizsgálata során kitekintést teszek e korábbi szabályozás vonatkozásában is.

³⁸ National Fire Protection Association

³⁹ Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam

A következőkben e szabályozók haboldat intenzitás megállapítására és a tervezési tűzoltási időre vonatkozó módszereinek legfontosabb elemeit foglalom össze.

2.3.1.1. A szükséges oldatintenzitás meghatározása

A mobil tartálytűzoltás eredményessége érdekében alkalmazandó teljesítményt időegység alatt kijuttatott haboldat mennyiségben, azaz az oldatintenzitásban szokás megadni. Rendszerint az egy perc alatt kilőtt habképzőanyag és oltóvíz keverék literben kifejezett összesített mennyiségét használják. A tűzoltás tervezési módszerek különféle tartálytűz-jellemzők alapján a haboldat adagolási intenzitásának megállapítására irányulnak, ami az oldatintenzitás tűzfelület területegységére kifejezett értéke. Az adagolási intenzitás érték megállapítása során a figyelembe vett jellemzőket a 8. táblázatban hasonlítottam össze.

MSZ EN 13565-2:2009	NFPA 11	109/2000. főigazgatói intézkedés
Tartály - típusa (merev-, úszó-, vagy belső úszótetős) - átmérője Tűz - típusa (például felületi, tömitőrés, felfogótér) - felülete (felfogótértűz esetén) Oltóeszköz - fajtája (kézi sugár, ágyú, beépített rendszer) - habkiadósság (csak felfogótér kézi sugárral oltásánál) - ágyú kialakítása: légbeszívós, vagy légbeszívás nélküli (csak felfogótér) A habképző anyag EN 1568 szerinti tűzoltási osztálya Égő anyag - vízben oldódó/ vízben nem oldódó - éghető folyadékréteg vastagsága - szénhidrogén keverék alkohol vagy oxigenizált adalék tartalma (10 % felett) - alacsony forráspontú (40 °C alatt)	Tartály - típusa (merev-, úszó-, vagy belső úszótetős) - átmérője Tűz - típusa (például felületi, tömitőrés, felfogótér) Az égő anyag - forráspontja (határérték: 37,8°C, vagy különféle forráspontú összetevők) - vízben való oldhatósága – habtörő képessége - oxigénnel telített komponens-tartalom (határérték 10 tf %) A veszteséget okozó tényezők (például szél, csapadék) figyelembevétele – de nem számszerűsíti	Égő anyag típusa (általánosságban, ill. alkohol, oldószer, poláris oldószer) Gyártói adatközlés

8. táblázat: Az adagolási intenzitás értékének megállapítása; készítette a szerző 2015.

A táblázatból kitűnik, hogy a MSZ EN 13565-2:2009 szabvány adagolási intenzitás számítási módszere veszi figyelembe a mobil tartálytűzoltás szempontjából lényeges körülmények legszélesebb körét. (A Williams nem tett közzé egyértelmű tervezési jellemzőket.)

A 9. táblázat összefoglalja a különböző vizsgált tartálytűzoltás tervezési módszerekkel megállapított adagolási intenzitás értékeket. A táblázatban az adott tervezési módszerrel megállapítható legkedvezőbb és legkedvezőtlenebb – legalacsonyabb és legmagasabb – adagolási intenzitás értéket tüntettem fel.

Tartály/ feladat típus	Tűztípus	Mobil tűzoltás (kézi sugár, monitor)					
		MSZ EN 13565-2:2009 alapján *		NFPA 11 előírásai	Williams Fire & Hazard Control ajánlása	109/2000. főigazgatói intézkedés	
		Minimum	Maximum			Minimum	Maximum
Úszótetős tartály	Körgyűrű tűz	Csak beépített rendszerrel oltható, kiegészítő eszközként használhatóak habsugarak: 2 x 200 l/p teljesítménnyel		12,2 liter/perc/m ² **	45 m tartályátmérő alatt: 6.5 l/min*m ²	5 l/perc/m ²	10 l/perc/m ²
		10 l/min*m ²	33 l/min*m ²	Általánosan 6,5 liter/perc/m ²	46m és 60m tartályátmérő között 7.3 l/min*m ²		
Merevtetős tartály	Teljes felületű tűz	vízben nem oldódó éghető anyag tüze, a legjobb (EN 1568-3 szerint 1A minősítésű) tűzoltási osztályú habképzőanyag esetén	vízben oldódó éghető anyag tüze, a leggyengébb (EN 1568- 3 szerint 2C minősítésű) tűzoltási osztályú habképzőanyag esetén	Amennyiben az anyag forráspontja 37,8°C-nál alacsonyabb, vagy különféle forráspontú összetevőket tartalmaz, úgy 8,1 liter/perc/m ²	61m és 76m tartályátmérő között 8.2 l/min*m ²		
Belső úszótetős tartály		Körgyűrű tűz	Ilyen típusú védelem alkalmazása nem vehető figyelembe, kivéve ha független, igazolt tesztek igazolták annak megfelelőségét és hatékonyságát.		12,2 liter/perc/m ²		
Felfogótér		4 l/min*m ² vízben nem oldódó éghető anyag 400 m2- nél kisebb tüze, a legjobb (EN 1568-3 szerint 1A minősítésű) tűzoltási osztályú habképzőanyag esetén	17,5 l/min*m ² vízben nem oldódó égh. anyag 2000 m2- nél nagyobb tüze, a leggyengébb (EN 1568- 3 szerint 3C/3D minősítésű) tűzoltási osztályú habképzőanyag és nem légbeszívásos habágyú esetén	6,5 liter/perc/m ²	nincs adat		
Kiegészítő védelem		nincs adat		Kiegészítő habsugarak száma (legalább 189 liter/perc teljesítménnyel): 19,5 m tartályátmérőig: 1 db 19,5 és 36 m tartályátm. között: 2 db 36 m tartályátm. felett: 3 db	nincs adat	Általános környezetvédelmi célokra: 3000 liter/perc oltóvíz	

* Monitorok nem alkalmasak vízben oldódó éghető folyadékok esetén, hacsak független, igazolt tesztek nem igazolták annak megfelelőségét és hatékonyságát.

** Habágyúk nem alkalmazható tömítőrés tüzek oltására az úszótető megsüllyedésének veszélye miatt, valamint mivel az oltóanyag habágyúval történő megfelelő helvre juttatása nem biztosítható.

9. táblázat: A tervezési módszerek legalacsonyabb és legmagasabb adagolási intenzitás értékei;
készítette a szerző 2015.

A táblázat is szemlélteti, hogy a MSZ EN 13565-2:2009 szabvány rendkívül szofisztikált tervezési módszere eredményeként adódnak a legalacsonyabb és legmagasabb adagolási követelmények. A többi számítási mód átlagos adatot közöl, figyelmen kívül hagyja a szélsőségeket, így például a tűzoltás szempontjából legkedvezőbb, illetőleg legkedvezőtlenebb tartály, éghető anyag, habképző anyag jellemzőket.

Az EN szabványban rögzített módszer általánosságban (nem kizárólag az általam vizsgált mobil tartálytűzoltás esetén) a biztonság irányába ösztönzi a tartály létesítését, üzemeltetését, valamint a tűzoltó rendszer kialakítását.

Ez különösen a készenlétkben tartandó habképzőanyag megválasztása kapcsán szembeötlő: vízben nem oldódó éghető anyag kifolyás tüze esetén a legjobb tűzoltási jellemzőkkel bíró 1A minősítésű habképző anyaghoz képest 75 %-al magasabb adagolási intenzitást kell biztosítani a leggyengébb, 3C vagy 3D tűzoltási osztályú habanyag alkalmazásakor.

2.3.1.2. A tűzoltás tervezési időtartama

Tartály/ feladat típus	Tűztípus	Mobil tűzoltás (kézi sugár, monitor)							Williams Fire & Hazard Control ajánlása	109/2000. főigazgatói intézkedés		
		MSZ EN 13565-2:2009 alapján*				NFPA 11 előírásai						
		Oltó- eszköz	Hab- képzés	Minimum	Maximum							
Úszótétős tartály	Körgyűrű tűz		30 perc *		20 perc**			nincs adat	3×10 perc			
Merevtetős tartály	Teljes felületű tűz		60 perc	90 perc (45 méternél nagyobb átmérőjű tartályok esetén)	• Az anyag lobbanáspontja 37,8°C-nál alacsonyabb, vagy az anyag hőmérséklete a lobbanáspontjánál magasabb: 65 perc • 37,8°C és 60°C közé esik: 50 perc • Kőolaj: 65 perc • Habtörő anyag 25,4 milliméternél nagyobb rétegvastagságban			60 perc				
Belső úszótétős tartály	Körgyűrű tűz		Mobil védelem nem vehető figyelembe, kivéve ha független, igazolt tesztek igazolták annak megfelelőségét és hatékonyságát.		20 perc**							
Felfogótér	Vízben nem oldódó anyag	Kézi sugarak***	Nehéz hab vagy középhab	15 perc	30 perc	• A szénhidrogén típusától függően 20 vagy 30 perc; • Habtörő anyag: 30 perc				nincs adat		
		Habágyúk (nem légbeszívásos, vagy légbeszívásos)		30 perc	60 perc							
	Vízben oldódó anyag	Kézi sugarak***	Nehéz hab Középhab	30 perc 20 perc								
		Habágyúk (nem légbeszívásos, vagy légbeszívásos)		Habágyúk alkalmazása nem megfelelő, ha csak független, igazolt tesztek nem igazolták annak megfelelőségét és hatékonyságát.								
Kiegészítő védelem				nincs adat		A kiegészítő habsugarak működési ideje legalább • 10,5 m tartályátmérőig: 10 perc • 10,5 m és 28,5 m tartályátmérő között: 20 perc • 28,5 m tartályátm. felett: 30 perc			nincs adat	A teljes oldat-teljesítmény biztosítandó: 3-5 perc		
* Kézi sugár csak kiegészítő eszközként, 2 x 200 l/p teljesítménnyel! Habágyúk nem alkalmazható tömítőres tüzenek oltására az úszótető megsejtyedésének veszélye miatt, valamint mivel az oltóanyag habágyúval történő megfelelő helyre juttatása nem biztosítható. ** Az oltási idő nagyobb oldatintenzitási érték alkalmazása esetén arányosan csökkenthető, de legfeljebb az előírt időtartam 70 százalékáig. *** 400 m2-nél nagyobb felfogótér tűzfelület nem oltható kézi habsugarakkal, ha csak független, igazolt tesztek nem igazolták annak megfelelőségét és hatékonyságát.												

10. táblázat: A tűzoltás tervezési időtartamának legkisebb értékei a vizsgált tervezési módszerek alapján; készítette a szerző, 2015.

A tartálytűzoltás szempontjából a másik meghatározó tervezési jellemző a tűzoltás időtartama, mely alapján – a szükséges adagolási intenzitás alapján meghatározott oldatintenzitás ismeretében – számítható a tűzoltáshoz szükséges habképzőanyag mennyiség.

A 10. táblázat a korábban megismert tervezési módszerek szerinti legkisebb tűzoltási időket veti össze.

A táblázatban számos hasonlóság azonosítható a különböző tervezési módszerek minimális tűzoltási időre vonatkozó követelményeiben, az eltérések jóval kisebbek, mint az adagolási intenzitás vonatkozásában megfigyeltek. Sajnos a Williams Fire&Hazard Control esetében csak részadatokat tudtam felkutatni, így az összevetésben ismét csak a felületi tartálytűzoltás vonatkozásában vettem figyelembe az oltási idő ajánlásukat.

Megállapításaim:

- Körgyűrűtűz, valamint teljes felületű tartálytűz mobil oltása esetén a tűzoltási idő követelmény vonatkozásában rendelkezésre álló adatok közel esnek egymáshoz: Tömítőrés tűz esetén 20 és 30 perc, míg felületi tűz esetén 50 és 90 perc között értékek adódnak. Ez utóbbi tűztípus esetén a tűzoltás tervezési időtartamának maximuma csak egy esetben haladja meg a 65 percet: az EN szabvány szerint, 45 méternél nagyobb átmérőjű tartályok esetén legalább 90 perces tűzoltásra kell készülni.
- Körgyűrűtűz oltására vonatkozóan az NFPA 11 előírása – megállapításom szerint előremutató – „szabadságot” ad a tűzoltást tervezőknek és a beavatkozóknek: Az előírt adagolásnál - 12,2 liter/perc/m² – nagyobb intenzitás bevetése esetén az oltási idő alapértéke (20 perc) arányosan, legfeljebb az eredeti időtartam 70 %-ig csökkenthető.
- Ahogy ez már az adagolási intenzitás értékek összevetésénél is felszínre került: Nyitott úszótetős tartályok körgyűrű tüzének oltására elsődleges beavatkozásként nem vehetőek figyelembe kézi habsugarak, ezek csupán kiegészítő védelemként alkalmazhatóak. Hipotézisem szerint a tömítőrés tüzek hatékonyan és biztonságosan számolhatóak fel kézi habsugarak alkalmazásával, a beépített félstabil rendszereknél gyorsabban és kisebb habképzőanyag felhasználással hajtható végre a tűzoltás.
- A felfogótér mobil tűzoltására vonatkozóan jellemzően 20, illetőleg 30 perces tűzoltási időtartamot tartalmaznak a szabályozók, ettől eltérő értékek – ismét – csak az egyéb szabályozóknál részletesebben kidolgozott MSZ EN 13565-2:2009 szabvány alapján kerültek a táblázatba.

E szabályozás legfontosabb vonatkozó speciális rendelkezései:

- Vízben nem oldódó anyagok kifolyása esetén, amennyiben az éghető folyadék rétegvastagsága nem éri el a 25 millimétert, 15 perces oltási időt szükséges tervezni. Ha az égő anyag vastagsága eléri vagy meghaladja a 25 mm-es értéket, akkor 30 perces tűzoltást szükséges tervezni.
- Vízben nem oldódó égő anyagok - légbeszívásos, vagy légbeszívás nélküli – habágyúval történő felszámolása esetén 400 négyzetméter tűzfelület mérettől szükséges (30 percnél) hosszabb tűzoltásra készülni: 400 m²-nél nagyobb, de 2000 m²-nél kisebb tűzfelület esetén 45 perces, míg 2000 m² felett 60 perces tűzoltást kell tervezni.
- 400 négyzetméternél nagyobb tűzfelület kézi habsugarakkal történő oltására vonatkozóan – az adagolási intenzitáshoz hasonlóan – nem tartalmaz adatot a szabályozás. Kiegészítésként rögzíti, hogy ez a beavatkozási módozat csak akkor alkalmazható, ha független, igazolt tesztek igazolták annak megfelelőségét és hatékonyságát.

A tervezési módszereket összevetve megállapítható, hogy a közel fél évszázada szinte változatlan alapokkal rendelkező – tartálytűzoltás tervezés vonatkozásában – már hatályon kívül helyezett „hagyományos” tervezési eljárás számottevően rövidebb beavatkozási időket és szükséges tűzoltási teljesítményt határozott meg, mint a mai (korszerű) módszerek. Sajnos a Williams Fire „módszere” nem került részletesen közzétételre, csupán részinformációk ismerhetők meg az általuk alkalmazott eljárásról. Az NFPA 11 és a MSZ EN 13565-2:2009 szabvány előírásai általában hasonló, vagy egymáshoz nagyon közeli követelményeket támasztanak.

A szabályozások közül kiemelkedik a hazánkban is hatályos MSZ EN 13565-2:2009 szabvány: rendkívül széles körben veszi figyelembe a tűzoltás eredményességét és/vagy szükséges tervezési paramétereit meghatározó jellemzőket; emellett a biztonság fokozására inspirálja a beruházókat és tartály üzemeltetőket a – megalapozottan – alacsonyabb mennyiségi és teljesítmény követelmények előírásával.

Ugyanakkor, az eredményes hazai (és nemzetközi) alkalmazás érdekében, néhány területen szükséges az előírás továbbfejlesztése: a szabvány nem vesz figyelembe néhány, hazánkban közel fél évszázada általánosan alkalmazott elvet, így gyakran túlzó követelményeket támaszt.

Példaként:

- Figyelmen kívül hagyja, hogy a hazánkban üzemelő, korábbi előírások alapján létesített (nem szigetelt) tartályok nagy része palásthűtő berendezéssel rendelkezik, mely berendezés működtetésével – kutatásaim alapján – nagymértékben javítható a tűzoltás eredményessége.
- Nem fordít figyelmet a tűzoltás megkezdését megelőző „szabadégési” időszak hosszára, nem támaszt ez irányú követelményeket. Hazánkban korábban követelmény volt a tartálytűzoltás 2 órán belüli megkezdése, mely előírás teljesítése esetén kisebb oltási teljesítmény és/vagy rövidebb oltási idő is elégséges, mint az MSZ EN szabványban rögzített követelmények.
- Néhány – a szakmai gyakorlat szerint igazoltan eredményes – tűzoltási módszerre nem ad tervezési paramétereket, sőt „nem alkalmazhatónak” minősít. „Kiskaput” nyitva biztosít lehetőséget ezen módzatok alkalmazására, amennyiben független, igazolt tesztek igazolták annak megfelelőségét és hatékonyságát.

Megállapítható, hogy a fent jelzett túlzó követelménytámasztás indokolatlan gazdasági versenyhátrányt okozhat a hazánkban tartályokat létesítő, illetőleg üzemeltető gazdasági szereplők esetén. Míg a korábbi szabályozásban a tűzoltás megkezdésére vonatkozó időbeli határ (2 órán belül) zárt ki szakmailag megalapozott, a nemzetközi legjobb gyakorlatban alkalmazott megoldásokat, addig az MSZ EN 13565-2:2009 figyelmen kívül hagy számos általánosan jelenlévő kedvező körülményt, s ezzel indokolatlan költségnövekedést okoz.

Az EN szabvány kifinomult tervezési szempontrendszerében, és a – hazai körülmények között – túlzó követelmény támasztásában érzékelhető kettősség feloldására, a versenyhatékonyság és a biztonság optimális egyensúlyára figyelemmel kezdeményeztem a vonatkozó szabályozás megújítását. A 2.4. fejezetben összefoglalt konkrét szakmai javaslatom a 3. melléklet szerint épült be a hazai előírás-rendszerbe.

2.3.2. A mobil tartálytűzoltás műszaki eszközrendszere

A következőkben áttekintem a nagyméretű tartályok tűzoltását meghatározó legfontosabb rendszerelemeket, melyek különböző kialakítását a 17. ábra foglalja össze. Az ábrán a mobil tartálytűzoltó rendszerek általános felépítése látható, amely bemutatja az oltóanyagok útját. A tűzoltó rendszer mobil elemei kialakításukban mindig a védett terület sajátosságaihoz, az ott rendelkezésre álló beépített rendszerelemekhez igazodnak. A következőkben a szükséges technikai eszközöket és anyagokat, a legjellemzőbb megoldásokat csoportokba rendezve tekintem át.

2.3.2.1. Az oltóvíz biztosítása

Az oltóvízellátást általában – a legtöbb beépített habbal oltó berendezés vízellátásához hasonlóan – kiépített tűzivíz hálózat, a vízkivételi helyként működő tűzcsapokon át biztosítja. Lehetőség van az oltóvíz szivattyúmű szerepét is mobil eszközökkel biztosítani, azonban ennek gyakorlati jelentősége leginkább a kiépített oltóvízellátás tartalékjaként azonosítható. Felmerülhet továbbá a telepíthető vízellátó rendszerek alkalmazásának igénye, ha a vízhálózatból kinyerhető meghaladó vízigényt kell kielégíteni. Szélsőséges esetben – külső behatások (például földrengés, terrortámadás, a vízellátás egységeinek sérülése rendkívüli esemény következtében, energiaellátási zavar) következtében – bekövetkezhet a vízellátás kiesése, amely szükségessé teheti a mobil eszközök ez irányú alkalmazását. [31]

A tűzcsapokról nagy átmérőjű nyomótömlők beépítésével vezetjük a szükséges oltóvizet a mobil nyomásfokozó és habbekeverő egységekhez. Az alkalmazott nyomótömlő méretek a tömlőgyártási technológia és az alkalmazott anyagok fejlődésének köszönhetően átalakultak az elmúlt évtizedekben. A korábbi legfeljebb 75 milliméter átmérőjű tömlők helyett, már szinte minden jelentősebb tartálytűzoltó képességgel rendelkező egység nagyobb átmérőjű tömlőket használ.



19. ábra: Hazánkban alkalmazott nyomótömlő
átmérők

Készítette a szerző 2015.

Hazánkban a 110 és 150 mm-es tömlőméretek jellemzőek, de külföldön a 200, 250, 300 vagy akár még nagyobb átmérőkkel is találkozhatunk.

A tartálytűz oltáshoz szükséges nagymennyiségű oltóvizet általában kiépített tűzivíz rendszerek legfontosabb részei:

- Vízmű – vízkivételi, tisztító, nyomásfokozó és elosztó telep;
- Vezetékhálózat szerelvényekkel (például szakaszoló szerelvények);
- Vízkivételi szerelvények – tűzcsapok.

A rendszer kiegészülhet további egységekkel is, például tűzivíz tárolóval, tisztított szennyvíz visszaforgatóval, vagy nyomásfokozó szivattyúteleppel.

Az ipari tűzivíz ellátást biztosító vízművek általában nem csak a tűzoltási igényeket, de a technológiai szükségleteket is kielégítik. Az elvárt vízminőséget ülepítéssel és/vagy mechanikai szűréssel, a legkorszerűbb vízművek esetében teljesen automatizált szűrőrendszerekkel biztosítják, de tisztaságát tekintve elmarad az ivóvíz minőségtől. A szűrők alkalmazása nyomásvesztést okoz, amit a szivattyúk emelőmagasságának tervezésekor figyelembe kell venni. A tisztítási folyamat részét képező vegyszeres kezelés a biológiai elősködők ellen, az algásodás meggátlására irányul.

Mivel a vízszolgáltatást minden körülmények között (így áramkimaradás esetén is) biztosítani kell, többirányú energiaellátást, vagy különböző meghajtású szivattyú egységeket alkalmaznak.

Néhány lehetséges alternatíva a biztonság fokozására:

- Kétirányú elektromos betáplálással, vagy szükségáramforrással (diesel vagy gázmotoros generátor) rendelkező elektromos szivattyúk.
- „Sziget üzemmód” lehetőségének biztosítása közeli villamos áram termelő egységről (például a technológia áramellátását biztosító erőműről).
- Belső égésű erőforrással (általában diesel motor) hajtott szivattyúk alkalmazása.
- Elektromos és belső égésű erőforrás kombinált alkalmazása.

A biztonság fokozását szolgálja, hogy a működéshez elengedhetetlen egységeket megfelelő tartalékkal, megkettőzve, vagy meg többszörözve építik be.

Az oltóvizet a felhasználás helyére szállító vezetékhálózatok is gyakran több párhuzamos főnyomóvezetékkel épülnek meg. A körvezetékes, több irányú betáplálással rendelkező, szerelvényekkel szakaszolható elosztórendszerek a kedvezőbb áramlástechnikai jellemzők mellett a vízellátás biztonságát is fokozzák.

A vízkivétel lehetőségét nagyméretű tartályok közelében korszerű kialakítással biztosító tűzcsapok is eltérnek az általánosan, kommunális területeken alkalmazottaktól. A tartálytűzoltás nagy vízigénye okán a területen kiépített vízelvételi csomópontok összesített darabszáma rendszerint magas.

A csonkok sok helyütt nagyobb keresztmetszetűek. Hazánkban általában 110 milliméteres „Storz A” csatlakozószerelvényeket alkalmaznak, de gyakran fogalmazódik meg elvárásként a hagyományos tűzcsap kialakításra jellemző 75 milliméteres „Storz B” csatlakozók egyidejű kialakítása. A tűzcsapok általában nagyobb számú csatlakozócsonkkal rendelkeznek. Ismert típusok például: 2A+1B; 2A+4B; 4+1 A tűzcsapok (A=110 mm; B=75 mm).

A tartálytelepeken általában kétféle nyomásértékű tűzvíz hálózattal találkozhatunk: Alacsony nyomású tűzvíz rendszer, mely általában 3-4 báros kivehető víznyomással biztosítja az oltóvizet. Ebben az esetben mobil nyomásfokozó szivattyú beépítése szükséges a tűzoltás érdekében a tűzcsapokról lecsatlakoztatott tömlővezetékbe. E célra általában a tűzoltó gépjárművek és cserefelépítmények kerülnek bevetésre, melyek a habbekeverést, a habanyag szállítását is biztosítják egyidejűleg.

Erre a célra alkalmazhatóak különféle méretű, önálló vízszivattyúk is, melyek mérete a kézben szállíthatótól a konténer méretűig terjedhet, azonban általában a tűzoltó járművek nyújtotta komplex feladatellátást biztosító megoldások előnyt élveznek. Nagynyomású tűzvíz rendszerben a kivehető víz nyomása legalább 10-12 bár, így az oltóvízből nyomásfokozás nélkül, csupán habképző-anyag bekeveréssel állítható elő az oltóeszközökkel felhasználható haboldat.

Nagynyomású (a szakzsargonban „magasnyomásúnak” nevezett) tűzvíz ellátás esetén a vízellátó rendszer korábban áttekintett alapelemei általában kiegészülnek közbenső („puffer”) oltóvíztartályokkal, nyomásfokozó szivattyúkkal, valamint szabályozó szerelvényekkel. Ezen egységek még nagyobb létesítmények esetében is a felhasználási hely közelében, annak területén kerülnek elhelyezésre, így a nagynyomású szivattyúk vízellátását biztosító oltóvíztartályok – megfelelő kialakítás – esetén másodlagos vízforrásként is szolgálhatnak a vízhálózat egyéb egységeinek üzemképtelensége esetére.

A nagynyomású szivattyúk általában a vízműhöz hasonló üzembiztonsági kérdéseket vetnek fel, melyek megoldása is hasonló. Különleges megoldásként, a beépített nyomásfokozó szivattyúk tartalékaként alkalmazhatóak a tűzoltó gépjárművekre, pótkocsikra, cserefelépítményekre épített diesel szivattyúk is, melyek ebben az esetben a beépített rendszer egyik részelemének tartalékaként épülnek be a vízhálózatba. Ennek során a nyomásfokozó rendszer puffer víztartályáról – a korábban említett módon – táplált szivattyú a megfelelően kiépített kollektoron át táplálja meg a tűzvíz rendszert, átvéve a beépített szivattyú szerepét.

A vízellátás biztonsága növelhető, amennyiben nagyobb létesítményekben a terület különböző részeinek ellátására kiépített, több nagynyomású tűzvíz központ esetén a részhálózatok összekapcsolásának a lehetősége biztosított.

További, nyomás nélküli oltóvízforrásként – elsősorban másodlagos oltóvízforrásként – szolgálhatnak a védett területen, vagy annak közelében elhelyezkedő nyílt vízfelszínek, élővizek. Esetenként előfordul, hogy az ipari terület oltóvízzel gyengén ellátott területein, legfeljebb néhány száz köbméter készletezésére alkalmas tűzivíz tárolókat építenek ki. E lehetőségek alkalmazása is előnyös lehet, azonban tartálytűz oltásához általában e medencék vízkapacitása nem elégséges, s gyakran üzembiztonságuk is megkérdőjelezhető.

A tűzoltó gépjárművek szivattyúi általában alkalmasak élővízből, oltóvíztárolókból történő víztovábbításra, azonban a nagy térfogatú nagyobb szivattyú teljesítményeket, több jármű párhuzamos üzemét igényli.

Egyéb megoldási lehetőség például a tűzoltóhajó, mint szivattyúegység alkalmazása, azonban ilyen lehetőséggel kevés tartálytelep rendelkezik (például: Budapest, Rotterdam [80] [81]). További nehézséget jelent az oltóvíz szállítása, ami tartálytűzoltási feladat esetén kizárólag kiépített, provizórikus vezetéseken, tömlőkön át történhet.

Ma már több helyütt alkalmaznak tömlőfektető és visszaszedő járműveket, cserefelépítményeket. Ezek az egységek a működési terület adottságaihoz illeszkedő átmérőjű, hosszúságú és darabszámú tömlővezeték kiépítését teszik lehetővé a vízforrásra telepített szivattyúegység és a felhasználási hely között.

A szükséges vízmennyiség mindenkor biztosítása érdekében komplett nagyteljesítményű mobil tűzivíz ellátó rendszerek is készenlétbe állíthatóak. Európában holland Hytrans Fire System (HFS) által gyártott rendszerek ismertek, melyek a legkorszerűbb megoldásokat alkalmazzák.

A rendszer három elemből áll, melyek külön-külön is a vízellátás biztonságát növelik, de együttes készenlétbe helyezésük nagy biztonságú oltóvízellátást garantál.



20. ábra: HFS nagyteljesítményű mobil tűzi-víz ellátó rendszer

Készítette a szerző 2009.

A részegységek konténeres kivitelben, általában a tűzoltóság cserefelépítmény szállítóival juttathatóak az igénybevétel helyszínére.

A rendszer elemei:

Feladószivattyú egység: A nagyteljesítményű szivattyúegység kiegészítő berendezése, amely megteremti a tűzivíz kivétel lehetőségét természetes vízforrásokból. (Például folyó, tó, szennyvíztisztító medencék). A rendszer legkisebb költséggel beszerezhető eleme, mely az egyébként csak ráfolyásos táplálással üzemelő szivattyúegység alkalmazását – szívóvezeték nélkül – teszi lehetővé. Általában úszó-, vagy búvárszivattyúkat alkalmaznak, de ezt a feladatot a korábban említett módon, vízszivattyúval is rendelkező hajó is elláthatja.

A nagy szállítási mennyiség miatt nagy kihívást jelent a feladószivattyúk energiaellátása. Legegyszerűbb megoldásnak a nagyteljesítményű szivattyúegységgel egy konténerben, annak diesel motorjáról meghajtva üzemelő, hidraulikarendszerrel üzemeltetett úszó szivattyúk alkalmazását tartom. A hamburgi tűzoltóság nagy teljesítményű és méretű elektromos búvárszivattyúkat alkalmaz, melyek áramellátását külön egységben szállított – és egyéb feladatokra is jól alkalmazható - áramfejlesztők biztosítják.

Nagyteljesítményű szivattyúegység: Cserefelépítménybe épített meghajtó diesel motorból, nagyteljesítményű vízszivattyúból és a szükséges vezérlő, valamint csatlakozó berendezésekből álló egység. Működése külső erőforrást, kapcsolatot nem igényel.

A korábban jelzett módon a területen rendelkezésre álló közbenső tűzivíz tartályokról is képes biztosítani a vízellátást. Alaphelyzetben valamely csatlakozási helynél telepítve, a rendszerbe becsatlakoztatva tartható készenlétben, de bármikor áthelyezhető másik bevetési pontra.

A szivattyúegység teljesítményeként a rendszer normál működése esetén üzemelő, elektromos nagynyomású szivattyúkával megegyező értéket célszerű meghatározni.

Nagyobb ipari területen, egy darab diesel meghajtású egység beszerzésével több nyomásfokozó szivattyúház bármelyikénél alkalmazható tartalék áll rendelkezésre.

Tömlőfektető cserefelépítmény: A leírt különböző alternatívák valamelyikével, túlnyomással biztosított vízkészlet közepes és nagyobb távolságra történő eljuttatását, esetlegesen használhatatlanná vált vezetékszakaszok gyors átkötésének a lehetőségét teremti meg. A gyorsan üzembe helyezhető, nagy vízmennyiség szállítására alkalmas tömlőrendszer a működő tűzivíz rendszerre csatlakoztatva megteremti a további „távolsági” vízszállítás lehetőségét. Erre a hálózat egyes szakaszainak használhatatlanságát okozó esemény bekövetkeztekor, vagy oltóvízzel ellátatlan területek nagy vízmennyiséget igénylő tűzoltási feladatai során lehet szükséges.

Elérhető különféle tömlőméretekkel (150 mm – 400 mm) és hosszal, az egy egységben elhelyezhető mennyiséget a konténer befoglaló mérete korlátozza. Több egység együttesen is alkalmazható. Minden cserefelépítményt felszerelnek tömlővisszaszedő egységgel, melynek hidraulikus meghajtását külön belsőégésű motorral hajtott szivattyú, vagy a szállítójármű horgos emelőszerkezetének hidraulika rendszere közvetlenül biztosítja.

A nagyteljesítményű mobil tűzivíz ellátó rendszer nyomásfokozó, valamint tömlőfektető elemének – a telepített vízellátó hálózat biztonságának növelésében betöltött – szerepét szemlélteti a FER Tűzoltóság százhalombattai egysége által készenlétben tartott két tűzoltó cserefelépítmény. [82]

2.3.2.2. Habképzőanyag ellátás

A sikeres tűzoltás következő fontos előfeltétele a szükséges habképzőanyag folyamatos biztosítása a teljes tűzoltási idő alatt; a mobil egység beépített tartályából, vagy másik járműről. Néhány évvel ezelőtt a készenlétben tartott habképző anyagok nagy része 5-6%-os habbekeverés mellett teljesítette az előírt oltási paramétereket. Az oltóanyag szállításához nagyszámú, nagy tartállyal ellátott habbaloló gépjárművet kellett készenlétbe tartani, így a beépített rendszerek mellett szólt a habanyag helyben történő – a szállítást szükségtelenné tevő – tárolásának a lehetősége.

Az új és korszerű, 1 %-os bekeverési arányban alkalmazható oltóanyagok megjelenésével a tárolt habképzőanyag mennyisége és a habtartályok térfogata – akár hatodára – csökkenthető. Ezen új habanyagok beszerzési ára magasabb a korábban alkalmazottakénál, mégis – még a szállítási és tárolási költségek csökkenését figyelmen kívül hagyva is – vásárlás esetén az egységnyi oldatra vetített költség kevesebb.

A habképző anyagok piacán egyaránt megtalálhatóak a speciálisan egy feladatcsoportra kifejlesztett (például szénhidrogén tüzek oltására alkalmas; könnyűhabként alkalmazható, stb.), valamint általánosan alkalmazható többcélú anyagok. Hazánkban elsősorban a többcélú habok nyertek teret, hiszen nincs mód a különféle eseményekhez más és más járművel a helyszínre vonulni, ezzel biztosítva a speciális habképzőanyag helyszínre juttatását. Ugyanazt a habanyagot igénylő tűzveszélyes anyagok esetén is jelentkezhetnek más alkalmazási módot igénylő, a habokat más típusú feladat elé állító helyzetek. (például térfogati oltás, habtörő anyagok tüzei).

A habképzőanyag ellátás biztosítása a habbekeverő egységek folyamatos működéséhez mobil tartálytűzoltás esetén sokféle módon történhet.

A tűzoltó gépjárművek és cserefelépítmények különféle módokon vehetnek részt ebben a logisztikai feladatban, melyek közül néhány jellemző példa:

- Az eszköz a tartályában szállított habképző anyaggal, elsősorban a jármű (cserefelépítmény) saját bekeverő rendszerével felhasználva;
- A járműből, vagy cserefelépítményből habképzőanyag szivattyúval, vagy gravitációs úton a habanyag továbbításával, átadásával.
- Habtartály gyorstöltő rendszer alkalmazásával, amikor az egység kiürült tartályát a tároló helyen feltöltik, majd a jármű ezt követően ismét részt vesz a beavatkozás habellátásában.

Az oltóanyag helyszínre juttatására gyakran tartanak készenlétben habanyaggal feltöltött pótkocsikat, félpótkocsikat, melyeket tűzoltó gépjárművel, vagy megállapodás alapján valamely szállítóvállalat járművével vontatnak a helyszínre. Ezek az egységek általában nem rendelkeznek saját bekeverő egységgel.

Cserefelépítményekkel, pótkocsival biztosított habszállítás különleges, de rendkívül egyszerű esete, amikor a szállítóeszközön - általában 1-2 m³ tárolókapacitású – a gyári IBC (Intermediate Bulk Container) csomagolásban helyezik el a habképző anyagot. E rendkívül alacsony bekerülési és üzemeltetési költségű megoldás előnye, hogy az oltóanyag minősége nem romlik, mivel a gyári csomagolás csak közvetlenül a felhasználást megelőzően kerül megbontásra.

A kiskonténeres habképzőanyag csomagolásban történő készletezés nagyon népszerű napjainkban, a legtöbb létesítményben folyamatosan biztosított az IBC konténerek kijuttatásához szükséges munkagép és kezelőszemélyzet. Ezen habellátási módozat a tárolóhely és a beavatkozási helyszín közötti nagyobb távolság esetén okozhat nehézséget: a habellátás folyamatossága csak a habbekeverési helyszínen előre felhalmozott konténerekből biztosítható.

Kizárólag hasonló előkészítést követően alkalmas tartálytűz oltásra a hordós és kannás kiszerelésben történő habanyag készenlétben tartás is. A kisebb darabonkénti tömeg miatt ezek az egységek könnyebben mozgathatóak, azonban a nagyteljesítményű habbaloltás tetemes habképzőanyag igényét nem képesek kielégíteni. Tartálytűzoltási feladat esetén csak nehézkesen alkalmazhatóak, ezért ezt a megoldást kerülni kell.

Habképzőanyag ellátó vezetékhalózattal kiépítésével közvetlenül a beavatkozás helyszínére, a vízellátást biztosító tűzcsap csoportok közelébe juttatják el a koncentrátumot. Ebben az esetben a víz és habkoncentrátum csatlakozókra kapcsolt mobil bekeverő eszközök (gépjárművek, cserefelépítmények, utánfutók, stb.) a rendszer első mobil elemei. A habképzőanyaggal érintkező vezetékhalózattal jelentkező korróziós problémák, a pangó koncentrátum nagy mennyisége és minőségromlása miatt nagy költséggel létesíthető és üzemeltethető megoldás.

A habképzőanyag ellátás – és egyben a habbekeverés biztosításának különleges esete a védett területen haboldat hálózat kiépítése. E rendszer külön jelöléssel ellátott tűzcsapjaiból kész haboldat kivételére van lehetőség. Ebben az esetben a tűzivíz szivattyúházban központi habbekeverő egység is helyet kap, mely folyamatos oltóanyag ellátása központi habanyag tartályról, vagy esetleg összekapcsolt IBC konténerekről történik. E megoldást jóval gyakrabban alkalmazzák, mint habképzőanyag ellátó vezetékhálózatot. Sok esetben a létesítmény területének egy részére, vagy bizonyos beavatkozás típusokra kialakított stabil habbaloltó rendszer oldatellátó vezetékére épített „haboldat-csatlakozók” biztosítanak mobil habbaloltásra lehetőséget.

2.3.2.3. A habbekeverés

A habképzőanyag oltóvízbe történő szabályozott bekeverésére rendkívül sokféle műszaki megoldást fejlesztettek ki az elmúlt évtizedekben. Értekezésemnek nem tárgya a különböző habképző műszaki megoldások vizsgálata, így nem vállalkozom ezek összevetésére. Ebben a fejezetben az oldatképzés mobil tartálytűzoltás rendszerben történő biztosításának legfontosabb lehetőségeit tekintem át.

Az alkalmazott legjellemzőbb megoldások:

- Tűzoltó gépjárművek habbekeverő rendszereinek az alkalmazása,
- Cserefelépítmények habbekeverő rendszereinek az alkalmazása,
- Utánfutóra épített habbekeverő rendszerek,
- Tömlővezetékbe építhető habbekeverők,
- Habágyúk – esetleg habsugárcsövek – habbekeverői,
- „Tartályos” habágyúk habbekeverői.

A tűzoltó gépjárművek és cserefelépítmények habbekeverő rendszerei általában külső erőforrással meghajtott bekeverési megoldásokat alkalmaznak, de előfordul a beérkező víz áramlási energiájának felhasználásával bekeverni képes megoldás is. Különleges, általában speciális habbaloltó járműveken alkalmazott megoldás, hogy a jármű habrendszerében átmenő bekeverő vezetékeket, valamint a vízszivattyút megkerülő by-pass vezetékeket alakítanak. E megoldással a nagynyomású tűzivíz rendszerből érkező oltóvízbe – nyomásfokozás nélkül – keverik bele a habképzőanyagot. Olyan járművek is üzemelnek hazánkban, melyek ebben az üzemmódban a vízszivattyú teljesítményük többszörösét tudják haboldatként előállítani. E bekeverési megoldások általában egyaránt alkalmasak az eszköz beépített habtartályából, valamint egyéb külső forrásból történő oldatképzésre.

Utánfutóra építve általában külső erőforrás nélküli bekeverési megoldásokat alkalmaznak, melyek a beérkező víz áramlási energiájának felhasználása miatt számottevő nyomáscsökkenést okoznak.



20. fénykép: Utánfutóra épített FireDos 10000-09S1-02 habbekeverő rendszer

Forrás: FER Tűzoltóság 2012.

A megfelelő kialakítású habágyúk és habsugárcsövek az ágyúfej kialakításából adódóan - a Venturi hatást kihasználva - habbeszívásra és bekeverésre is alkalmasak. Tartálytűz oltásnál e megoldás nagy teljesítményű, habágyú méretű változata hasznosítható.

A habképzőanyag bekeverésére is alkalmas hab- vízágyú különleges kialakítású változata a „Tartályos” habágyú. E megoldás esetén a habfelszívásra is alkalmas monitor egy 1-1,4 m³ habképzőanyag tárolására és szállítására is alkalmas utánfutón kapott helyet. A bekeverő részegység nem csak az egység saját tartályából, de külső habforrásból is képes az adalékanyag bekeverésére.

2.3.2.4. Habsugárcsövek, habágyúk

A képzett haboldatot a mobil oltásnál különféle teljesítményű kézi léghab-sugárcsövekkel vagy habágyúkkal juttatják az oltandó felületre. Kézi eszközök csak kisebb tartályok és tűzfelületek esetén jönnek szóba, és a kisebb lövőtávolság a beavatkozókat nagyobb veszélynek teszi ki.

Nagyteljesítményű habágyúk bevetésével a biztonságot adó lövőtávolság a többszörösére emelkedett. A legnagyobb teljesítményű ágyúknak a 100-130 méteres lövőtávolság mellett, a tartályok nagyobb palást magassága sem jelent akadályt. Nagy távolságban is hatásos sugárképpel működő eszközök esetén a kezelőszemélyzet és az oltóegység veszélyeztetése nélkül biztosítható a nagyfelületű tartálytűzek oltása is.

Az oltójárművekre rögzített, vagy az egyszerűen telepíthető habágyúk mellett utánfutóra szerelt nagyteljesítményű eszközökkel is találkozhatunk. Az oltójárművekre rögzített, illetve a szabadon telepíthető – nyomótömlőkön keresztül haboldattal ellátott – korszerű monitorok teljesítménye napjainkra elérte az 5-6000 liter percenkénti oldatmennyiséget, míg utánfutóra vagy speciális járműre szerelt változataik 20-30.000, vagy akár 40-60.000 liter percenkénti teljesítményre is képesek.

Telepítési, megközelítési korlátok (például beépített terület) esetén a telepíthető vagy utánfutóra szerelt habágyúk könnyen a legkedvezőbb bevetési pontra helyezhetők, míg járművek vagy cserefelépítmények esetén kialakított megközelítési terület szükséges.

A tartálytűz oltására nagyon ritkán alkalmaznak a védett terület közelébe beépített ágyúkat. Ezek a – technológiai tűzoltásra gyakran használt - stabil rendszerként kialakított eszközök inkább a környező területek védelmében kaphatnak szerepet tartálytűzoltás során.

A szállító jármű-egységhez rögzített ágyúkat gyakran ellátják (vezetékes, vagy rádióhullámokkal működő) távvezérlő egységgel, de másodlagos lehetőségként a közvetlen kezelés lehetősége ezekben az esetekben is biztosított. A távirányított ágyút rendszerint elektromos, vagy hidraulikus működtetéssel mozgatják, de van példa pneumatikus és vízmotoros megoldásra is.

A tartálytűz oltásra alkalmazható hablövellő eszközöket vizsgálva általában kis habkiadósságú⁴⁰ oltóhab képzésére alkalmas eszközöket találunk. A nehézhabot⁴¹ képző sugárcsövek a habosítás módját tekintve kétféle kialakításúak lehetnek:

- légbeszívással működő, vagy
- nem légbeszívó nehézhab-sugárcsövek, ágyúk.

Közepes habkiadósság bevetésére a tartálytűzoltás során általában kézi habsugárcső méretben kerül sor, de használatban van középhab⁴² képzésére alkalmas ágyú is. Néhány létesítményben hidraulikus gémen elhelyezett gigászi méretű középhab-sugárcső készenlétben tartásával készülnek a tartálytűzoltásra.

Míg korábban az utánfutóra vagy járműre szerelt, esetleg telepíthető kialakítású legfeljebb 2.400 – 3.500 liter percenkénti teljesítményű hab- vízágyúk voltak az általánosak, addig napjainkra más konstrukciók és nagyobb teljesítmények is mindennapossá váltak.

⁴⁰ Habkiadósság: A felhabosított (felhasználásra kész) tűzoltó hab és a haboldat (víz és habképzőanyag keveréke) térfogatának hányadosa, dimenzió nélküli szám.

⁴¹ Nehézhab: Az oltóhab habkiadóssága legfeljebb 20.

⁴² Középhab: Az oltóhab habkiadóssága nagyobb 20-nál, de nem haladja meg a 200-at.

A szállítható habágyúk tipikus percenkénti teljesítménye napjainkban:

- Kézzel mozgatható, telepíthető kivitel: 5-6 ezer liter percenkénti teljesítményig;
- Gépjárművön, cserefelépítményen: 2400-tól 20-30 ezer liter percenkénti teljesítményig;
- Utánfutóra szerelten: 5-6 ezertől 40-50 ezer liter percenkénti teljesítményig.



21. fénykép:

Ambassador ágyú

Forrás: FER Tűzoltóság

A korszerű habágyúk haboldat és – közös tengelyű por-hab ágyúk esetén – oltópor teljesítménye rendszerint változtatható: a működési teljesítményt kialakítástól függően a kezelő választja meg (többnyire előre meghatározott fokozatokban), vagy automatikus teljesítmény szabályozással a lövőke biztosítja az optimális sugárképet és lövőtávolságot. Legtöbb esetben az ágyú szórásképe is változtatható (fokozatokban, vagy fokozatmentesen), de a habsugárcsővel rendelkező, légbeszívásos változatoknál nincs mód a sugárkép módosítására.

Egyes habágyú egységek a működési teljesítményhez, a kezelő által megválasztható térfogatszázalékban habképzőanyag bekeverését is biztosítják: a habbekeverő ágyúfejtől, a habágyúhoz szállított és kalibrált „mellékárami” bekeverőig terjedő széles műszaki választék igazi értéke, hogy külső erőforrás és berendezés nélkül (szabályozottan) adagolják a vízáramba a habanyagot.

Különleges habsugárcsövek és habágyúk:

- Kombinált kézi habsugárcső: A német AWG forgalmazta elsőként az S4M4 típusjelű légbeszívással működő habsugárcsövet, melyet később további hasonló termékek is követtek. A kialakítás különlegessége, hogy egy eszközbe integrálták a középhab és nehézhab sugárcsövet, mely funkciók között egy karral lehet átváltani. A tartálytűzoltás területén különösen az eszköz nagyobb teljesítményű (400 liter/perc) változata alkalmazható jól habsugárral történő oltásakor, például úszótetős tartályok tömítőrés tüze esetén (3.2 fejezet).

- Hab- vízágyú a magasbólmentő eszköz kosarában: a napjainkra már általánosan alkalmazott mentőkosaras gépezetes tolólétrák és emelőkosaras gépjárművek kosarában egyre gyakrabban kap helyet hab- vízágyú. A monitor beépített felszálló rendszerét a talajszinten kell haboldattal ellátni. Kedvező telepítési hely esetén – különösen kisebb méretű tartályok, vagy védőgyűrűs felfogótér esetén – kitűnően alkalmazható tartálytűzoltási feladatokra.
- Hab- vízágyú hidraulikus oltókaron: a magasbólmentő eszköz kosarában elhelyezett hab- vízágyúval szemben, itt kizárólag az oltóeszköz kerül a magasba, az irányítást – távvezérlővel – biztosító kezelő a járműnél, vagy annak környezetében talajszinten marad. A kezelő látóterét ebben az esetben gyakran korlátozzák épületek, technológiai berendezések és a magasságkülönbség. Ezt a nehézséget hatékonyan képes csökkenteni a gép végén, az ágyú mellett elhelyezett optikai vagy infravörös kamera által közvetített kép.
- Pásztázó hab- vízágyúk: a monitor egy helyszínen beállítható tartományban, folyamatos pásztázó mozgással üzemel, ezzel az adott tartományban hűtési vagy tűzoltási feladatot láthat el. A mozgatót rendszerint az ágyún átáramló folyadék energiáját felhasználva – vízmotorokkal – biztosítják, de járműszerkezetre építve előfordulnak elektromos és külön hidraulika rendszerrel mozgatott változatok is.
- Moduláris „ágyúcsaládok”: Közepes teljesítménytartományba tartozó (5-6 ezer liter/perc legnagyobb teljesítmény) hab- vízágyúk gyakran moduláris felépítésű termékcsaládként széles alkalmazási választékot kínálnak. Az alapmodult képező ágyútesthez többféle telepítő-aljzatot (például: hordozható talp kihajtható lábakkal; stabil beépítő karima) és különféle „lövőkéket” (például: légbeszívás nélküli, habsugárcsővel szerelt, vagy deflektoros; habbekeverésre alkalmas; változtatható sugárképű; pásztázó automatikával szerelt; por-hab kombinált oltásra alkalmas) kínálnak.

2.3.2.5. Nagyteljesítményű mobil tartálytűzoltó központok

Tárolótartály tüze esetén a „hagyományos” eszközrendszer óriási feladatot hárított a logisztikára a nagy mennyiségű habképzőanyag, tömlők, szivattyúk, bekeverő eszközök, habágyúk stb. helyszínre szállításával. A teljes ellátórendszer helyszínre juttatása és kiépítése esetleg órákig is eltarthatott, mielőtt habot juttattunk volna a tűzre.

A nehézkes, gazdaságtalan, sokszor eredménytelen régi tartálytűzoltási módszer szükségszerűvé tette új beavatkozási taktika, és az azt kiszolgáló műszaki fejlesztés új irányának és koncepciójának kidolgozását is.

A korábbi fejezetekben áttekintettem a nagyteljesítményű habbaloltó eszközrendszer különböző elemeit, melyek számtalan eltérő műszaki kialakításban állnak készenlétben a világban. Az elmúlt évtizedekben új fejlesztési irányként jelentek meg a nagyobb tartálytűzoltó egységeknél a nagyteljesítményű mobil tartálytűzoltó központok. Ezek az eszközök a helyszínen több hagyományos eszközt kiváltva huzamosabb ideig biztosítani képesek a legfontosabb funkciókat, hiszen a tartálytűz oltáshoz szükséges több, vagy akár – oltóvízforrás kivételével – minden feltételt szállítható formában tartalmaznak.

A 11. táblázatban néhány, kutatásaim során megismert oltóközpont legfontosabb jellemzőit foglaltam össze.

Gyártó/típus		Kidde Italia/ Silvani MP20000	Kidde Italia/Silvani MP18000		Zikun	Fischcon	Desautel	Fischcon
Készenléti hely	ország	Magyarország	Magyarország	Szlovákia	Németország	Finnország	Németország	Hollandia
	település	Százhalombatta	Tiszaújváros	Pozsony	Ludwigshafen	Porvo	Ludwigshafen	Rotterdam
	vállalat	FER Tűzoltóság	FER Tűzoltóság	Slovnaft	BASF	NesteOil	BASF	Gezamenlijke Brandweer
	egységek száma (db)	2	1	2	1	1	1	2
Kialakítás		cseré- felépítmény (görgős)	cseréfelépítmény (görgős)		cseré- felépítmény	daruzható konténer	gépjármű (MB Actros 8x4)	cseré- felépítmény (görgős)
Víz- szivattyú	teljesítmény (liter/perc)	20 000	6 000		-	20 000	20 000	40 000
	felszívásos üzem mód	-	+		-	+	+	-
Hab-vízgyű	típus	Silvani Lion 200- TCO	LEO 150-TCO, TFT Typhoon		Williams Ambassador	Skun FJM 200 EL / SLN	Alco	Alco
	teljesítmény (liter/perc)	20 000	18 000		22 500	20 000*	23 000	37 500
	távírányítás	vezetékes	rádiós		vezetékes	vezetékes		
Habképzőanyag tartály		5 000	5 500		-	-	10 300	-
Habszivattyú teljesítmény (liter/perc)		600	600		0	n.a.	2 × 1 200	
Habbekeverés (%)		1,3	1-3		3,6	0-6	0-6	13,6
Tömítő, szakfelszerelés		+	-		+	-	+	-
Telepíthető habágyú (db)		2	-		-	-	2	-
Egyéb					tömítőfektető és visszaszedő	hajóval szállítható		

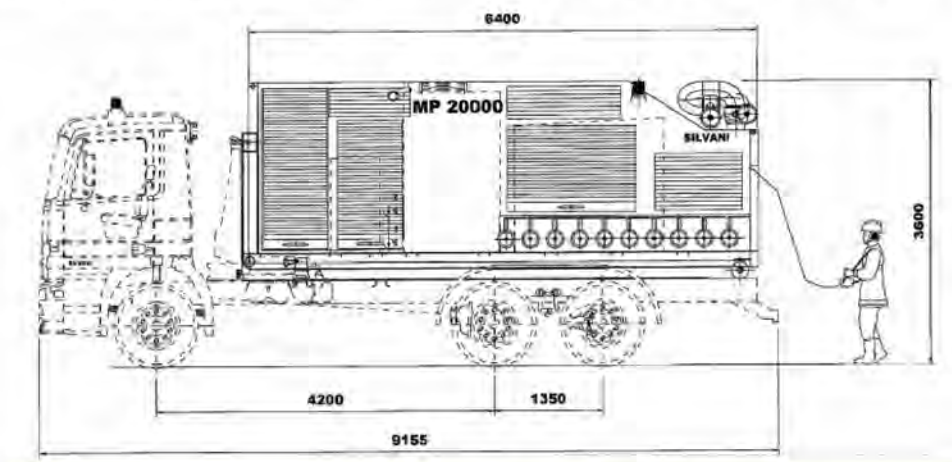
* habbekeverés esetén a teljesítmény 5000 liter/percben korlátozva

11. táblázat: Mobil tartálytűzoltó központok;
Készítette a szerző 2016. [83] [84] [85] [86] [87] [88]

Hazánkban két változatát is készenlétben tartja az általam irányított FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft.. A nagyobb teljesítményű egység (MP20000) az oltóvíz kivételével minden feltételét biztosítja egy eredményes tartálytűz oltásnak, beleértve a tűzcsapokról érkező oltóvíz nyomásfokozását is. E jellemzője korlátozott a kisebb teljesítményű cserefelépítménynek (MP18000): Az automata habágyú legnagyobb teljesítménye (18.000 liter/perc) csak üzeminyomással belépő oltóvíz esetén érhető el, mivel a cserefelépítménybe épített vízszivattyú teljesítménye „csupán” 6.000 liter/perc. Az önálló, külső támogatás nélküli működési idő természetesen mindkét megoldásnál korlátozott, hiszen a habképzőanyag tartály befogadó képessége (5.000, illetve 5.500 liter) működési limitet jelent, így igazán elnyúló beavatkozás esetén habanyag utánpótlást kell biztosítani.

A 11. táblázatban szereplő megoldások – s így a hazánkban készenlétben álló egységek – „gyengeségeként” azonosítható a habkijuttatást biztosító ágyú telepítésének korlátozottsága. A nagyteljesítményű és – ezáltal – nagy lövőtávolságú habágyúk mobil oltóközpontra történő rögzítésével kizárólag járművel megközelíthető pontokról biztosítható a hablövellés, ami kedvezőtlen szélirány esetén nehézséget okozhat. Emellett a telepítési helyszíneként megfelelő területre összpontosul a teljes működés, ami akár a környező területeken a – tűzoltás előkészítésében és folyamatosságának fenntartásában meghatározó – járműmozgásokat, logisztikai műveleteket tehet lehetetlenné.

Megoldásként az oltóközponttól elkülönítetten (is) telepíthető, például utánfutóra épített nagyteljesítményű habágyúk opcionális alkalmazhatósága kínálkozik, ahogy ez – részlegesen – megvalósult a tiszaujvárosi létesítményi tűzoltóságnál: az MP18000 oltóközpont mellett utánfutóra épített Alco APF 8-HR ágyú (11. ábra) is készenlétben áll. A pozsonyi finomítóban kettő MP18000 egységet egy Williams Ambassador típusú ágyú (21. fénykép) egészít ki.



21. ábra: Mobil oltóközpont (Silvani MP20000) [83]

A nagyobb teljesítményű (MP20000) tartálytűzoltó cserefelépítmény – 1%-ban alkalmazható habképző anyaggal – külső támogatás nélkül 50 percen keresztül képes folyamatosan biztosítani egy 20.000 köbméter tárolókapacitású tartály teljes felületű tartálytűzének oltásához szükséges tűzoltási teljesítményt! 40.000 köbméteres tartály tüze esetén 35 percig tudja a szükséges habmennyiséget a tűzre juttatni.



22. fénykép: Silvani MP18000 Mobil oltóközpont

Forrás: FER Tűzoltóság [89]



23. fénykép: Silvani MP 20000 mobil oltóközpont tűzoltás közben

Forrás: FER Tűzoltóság

A százhalombattai főfoglalkozású létesítményi tűzoltóságnál készenlétben tartott kettő MP 20000 típusjelölésű mobil oltóközpont további különleges alkalmazási lehetősége a Dunai Finomítóban cserefelépítményekkel kialakított oltóvízszivattyú tartalékképzésben történő használat. A víztároló tartályoknál kiépített telepítési pontokon a nyomásfokozó dízel szivattyút tartalmazó tűzoltó cserefelépítményként az oltóközpont vízszivattyúja is beépíthető a vízellátó rendszerbe. Így ezek a mobil tartálytűzoltó egységek, külső energiaellátástól független, beépíthető nyomásfokozó tűzivíz szivattyúként járulnak hozzá a létesítmény tűzbiztonságához. [82]

Vizsgálatom eredményeként megállapítható, hogy a nagyteljesítményű mobil oltóközpontok készenlétben tartása és alkalmazása – különösen az elmúlt évek tűzoltó technikai, taktikai és oltóanyag fejlesztéseivel együttesen – nagymértékben javítja a tartályok és felfogóterek tűzoltásának hatékonyságát. Az így rendelkezésre álló eszközök és az alkalmazásukra felkészült szakemberek eredményes bevetéséhez elengedhetetlen a potenciális bevetési helyszíneken szükséges feltételrendszer megfelelőségének biztosítása, ami kizárólag tudatos felkészítéssel, valamint rendszeres működési próbákkal és gyakorlatokkal garantálható.

Különösen nagy figyelmet kell fordítani a mobil egység és a helyben biztosítandó technikák és készletek kompatibilitására, a helyi erővel történő összehangolt együttműködés lehetőségének kialakítására.

A mobil oltóközpontok továbbfejlesztését illetően meghatározónak ítélem a mobil tartálytűzoltás szerepének tisztázását. A jelenleg készenlétben álló rendszerek elsődlegesen helyi védelemre, s az így adottnak tekinthető feladatra és feltételrendszer mentén kerültek kialakításra, ami erősen korlátozza a más létesítmények területén, eltérő feltételek között történő bevetés lehetőségét. Különösen igaz ez a helyi vízforrásokhoz történő illeszthetőségre, a szükséges teljesítmény jellemzők biztosítására (víz és habrendszer teljesítmény, habágyú kapacitás), a telepítési és működési körülményekre.

Véleményem szerint a jövő oltóközpontjait a mobil tartálytűzoltás kérdésének rendszerszerű újragondolásához igazítva szükséges megalkotni: a nagyméretű tárolótartályokat üzemeltető létesítmények helyi védelemi képességre építve emelni lehet a mobil tartálytűzoltásra alkalmas hazai készenléti rendszer színvonalát, ami néhány kapcsolódó, nagy teljesítmény igényű beavatkozási feladat ellátásában is előrelépést hozhat. Magyarország területi és közlekedési sajátosságai lehetőséget biztosítanak arra, hogy a „tartálytűzoltó központoknál” rendelkezésre álló műszaki erőforrások – akár speciális oltóanyag, és gyakorlott tartálytűzoltási szakértő biztosításával is – hatékonyan egészítsék ki az ország katasztrófavédelmi rendszerének képességeit.

2.4. Következtetések

- A habbaloltás környezetvédelmi hatásairól csak teljes ökomérleg készítésével kaphatunk valós képet, hiszen a gyors tűzoltás – még kedvezőtlenebb környezeti hatású oltóanyag alkalmazása esetén is – csökkentheti az égéstermékek és a felhasznált oltóanyag által okozott teljes környezetterhelést, levegő-, talaj- és vízszennyezést.
- A fluormentes habanyagok tartály tűzvédelemben történő alkalmazását megelőzően ajánlott a védett terület, az előforduló éghető folyadék típusok, a rendelkezésre álló tűzoltótechnika, és az alkalmazható beavatkozási taktika figyelembevételével elemzést és tesztek lefolytatni, a bevezetni tervezett habanyag gyártójának állásfoglalását kikérni.
- Nagyméretű, éghető folyadékot tároló, védőgödörrel kialakított tartályok palástsérülése miatt kiáramló anyag sugárszerű, „térbeli” égésének tűzoltására vonatkozóan bizonyítottam a közös-tengelyű por-hab kombinált oltósugár képzésére alkalmas eszközök szükségességét.

- Igazoltam, hogy a tárolótartályok palástsérülése miatt kiáramló anyag sugárszerű, „térbeli” égése tűzoltásának hatékonysága és eredményessége javítható a közös-tengelyű por-hab kombinált oltósugár képzésére alkalmas eszközök bevetésével.
- A közös-tengelyű por-hab kombinált oltósugárral működő eszközök megjelenése új távlatokat nyithat a kombinált tűzoltási módszerekben:
 - Az egy ágyúegységből bevethető oltóanyagok köre kiegészül az oltóporral, a közös-tengelyű por-hab kombinált oltósugárral történő működésre kialakított eszköz alkalmazásával már oltópor is bevethető, vagy kombinált tűzoltásra is mód nyílik, ami a költségcsökkentés mellett további járműépítési előnyöket is hozhat (például kevesebb megerősítés és egyszerűbb vezérlés szükséges, súlycsökkentésre nyílik lehetőség).
 - A közös-tengelyű por-hab kombinált oltósugár alkalmazásának további gyakorlati vizsgálatán túl kutatni, fejleszteni javaslom a porraloltásra vonatkozó közelítő számítás módszerét, amely jelenleg nem veszi figyelembe a különböző oltópor-típusok eltérő lángoltási képességét. A porraloltás tervezés területén is szükségesnek látszik egy hasonló fejlesztés végrehajtása, különösen annak tükrében, hogy egyes – készenlében tartott – oltóporok között többszörös oltóhatásbeli különbség is tapasztalható [90].
 - A téma kutatása és gyakorlati tűzoltási kísérletek során bizonyítottam a közös-tengelyű por-hab kombinált oltósugár alkalmazásának lehetőségét és szükségszerűségét az atmoszférikus éghető folyadék tároló tartályok tüzeseteinek felszámolása során, elsősorban az áramló, lángoló folyadéksugár „térbeli” tüzeinek oltása érdekében.
- A még kutatási fázisban lévő olaj- és víztaszító tulajdonságú, üreges gyöngyökből álló, úszóképes tűzálló szárazhab a jövőben bővítheti a tűzveszélyes folyadékok kezelésének technológia-biztonsági, tűz megelőzési és beavatkozási eszköztárát. Az eddig elvégzett kísérletek eredményei bizakodásra adnak okot, azonban az anyag gyakorlati alkalmazása érdekében számos további kérdésre kell a fejlesztőknek és a velük együttműködő tűzvédelmi szakembereknek választ adniuk.
- Azonosítottam, hogy a tűzveszélyes folyadéktüzek – elsősorban atmoszférikus tárolótartályok tűzoltása – esetén történő alkalmazhatóság igazolása további kutatásokat igényel. Erre vonatkozó kutatásaimat a 4. fejezetben mutatom be.

- A mobil tartálytűzoltás tervezési eljárások értékelő elemzése alapján megállapítottam, hogy
 - a kezdeményezésemre már időközben hazánkban is hatályos – MSZ EN 13565-2:2009 szabvány szakmai megalapozottságával és tervezési eljárásával kiemelkedik az egyéb előírások sorából. E szabvány előírásainak továbbfejlesztése és/vagy kiegészítése szükséges néhány részterületen: az oldatintenzitás és oltási idő követelmények megállapításánál figyelembe kell venni a „szabadégési idő” hosszát, valamint a tűzoltás eredményességét fokozó rendszereket (például hatékonyan működő palásthűtés).
- A nagyfelületű tűzoltás, ezen belül a tartálytűzoltás vízellátásának biztonsága hatékonyan javítható mobil vízellátó rendszer készenlétben tartásával. A korszerű, cserefelépítményekkel gyorsan mobilizálható, a helyi adottságokhoz igazított kialakítású rendszerek nagy oltóvíz térfogatáram szállítására biztosítanak lehetőséget.
- A mobil tartálytűzoltás tervezésére irányuló számítási módszerek értékelő elemzése és a taktikai eljárásrend fejlesztésére végrehajtott valós méretű természetes tűzoltási kísérletek (3. és 4. fejezet), empirikus megfigyelések és mérések alapján konkrét szakmai javaslatot tettem
 - a haboldat intenzitás és a tervezési tűzoltási idő meghatározására vonatkozó szabályok megállapítására;
 - a tartálytűzoltási műveletek tervezésére és végrehajtására vonatkozó eljárásrend módosítására és kiegészítésére.

A szabályozás megújítása kutatásom időszakában zajlott, mely munka során lehetőségem volt a tartálytűzoltásra vonatkozó fejezetek megalkotása során közreműködni, így kutatómunkám eredménye beépült a hatályos hazai eljárásrendbe.

Az általam kidolgozott szabályozás került kiadásra a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgató – időközben már hatályon kívül helyezett – 81/2011. számú, 2011. október 11-én kiadott intézkedésének, éghető folyadékot tároló tartályok és felfogó tereik tüzeinek oltásáról rendelkező X. fejezeteként.

A kutatásaim alapján, általam megalkotott szabályozás jelenleg is hatályos, a Tűzoltás-taktikai Szabályzat részét képezi⁴³.

⁴³ 5/2014. (II.27.) BM OKF utasítás mellékletének X. fejezete: Éghető folyadékot tároló tartályok és felfogó tereik tüzeinek oltása

A tervezési módszer legfontosabb, általam kezdeményezett módosításai:

- A tűz oltásához szükséges erő, eszköz és oltóanyag mennyiségét a vonatkozó szabvány (MSZ EN 13565-2:2009 szabvány) előírásai alapján kell tervezni.
- Kidolgoztam a „tűzoltás tárgyára vonatkozó korrekciós tényező” (fo) (MSZ EN 13565-2:2009 szabvány 5. fejezet 3. számú és 5. számú táblázat) és a tűzoltás tervezési időtartama (MSZ EN 13565-2:2009 szabvány 5. fejezet 3. számú és 5. számú táblázat) csökkentésének módszerét, amennyiben a „szabadégési időszak 2, illetőleg 4 óránál rövidebb.
- Szabályozásra kerültek a mobil tartálytűzoltó egységek eszközeinek és/vagy oltóanyagainak alkalmazási feltételei.

A szabályozásba beépült kutatási eredményeimet a 3. mellékletben mutatom be részletesen.

- Nagyfelületű tartálytűzek esetén előnyben kell részesíteni a nagyteljesítményű, nagy távolságban is hatásos sugárképpel működő habágyúkat, melyek alkalmazásával javítható a beavatkozásban résztvevők biztonsága. A hab- vízágyú alkalmazhatósága fokozható a telepíthetőségi korlátok csökkentésével, a hatásos működés teljesítmény tartományának szélesítésével, valamint az oldatteljesítmény szabályozott megválasztásának fejlesztésével.
- A nagyteljesítményű mobil tartálytűzoltó központok beavatkozási képessége tovább javítható az oltóközponttól elkülönítetten (is) telepíthető, nagyteljesítményű habágyú alkalmazhatóságának biztosításával.
- A nagyméretű tárolótartályokat üzemeltető létesítmények helyi védelemi képességére építve fejleszthető a mobil tartálytűzoltásra alkalmas hazai készenléti rendszer. A létesítményekben rendelkezésre álló erőforrások hatékonyan egészíthetik ki az ország katasztrófavédelmi rendszerének képességeit.

3. A MOBIL TARTÁLYTŰZOLTÁS TAKTIKÁJÁNAK KUTATÁSA, NATURÁLIS TARTÁLYTŰZOLTÁSI KÍSÉRLETEK

Az elmúlt évtizedekben a habbaloltás és a tartálytűzoltás területén forradalmi változások zajlottak le, és ez a folyamat napjainkban is töretlenül zajlik. Új típusú habképzőanyagok, oltási technikák és taktikai elképzelések jelentek meg. Kutatásaim eddig bemutatott szakaszában azonosítottam, hogy e rendszerelemek fejlesztésére, vizsgálatára és minősítésére szinte kizárólagosan kisméretű modellkísérletek útján került sor. Az alkalmazott modellek méretei többnyire nagyságrendekkel térnek el a valós feladatoktól, így nem zárhatóak ki a megtevésztő és félrevezető kísérleti eredmények.

Kutatásaim során célul tűztem ki a különböző – szabványos, vagy tapasztalati alapú – modellvizsgálatok méretét nagyságrendekkel meghaladó, naturális tűzoltási kísérleteken alapuló vizsgálatok végrehajtását. Az elmúlt több mint egy évtizedes időszakban a FER Tűzoltóság számos kísérletet hajtott végre irányításommal, melyek nagy része a nagyfelületű habbaloltás, valamint a tartálytűzoltás kutatására irányult. A kísérletsorozat keretében a korszerű mobil habbaloltási rendszerek különféle elemeit vizsgáltam, céloom a valós körülményeket a lehető leginkább megközelítő habbaloltási és tartálytűzoltási kísérleteken alapuló vizsgálat lefolytatása volt.

A kísérletsorozat folyamán nagy figyelmet fordítottam a pontos és reprodukálható vizsgálati módszerekre, a kísérleteket részletesen dokumentáltam, mely anyagok a FER Tűzoltóság százhalombattai központjában érhetőek el. A tanulmányozott tűztípusokat és a kísérletek lefolytatásának feltételeit célirányosan valósítottam meg, többnyire naturális kísérletként, de általam ellenőrzött feltételek között.

Dolgozatom harmadik és negyedik fejezetében az empirikus megfigyelésen és kísérleteken alapuló kutatásaimat és eredményeimet mutatom be. A 3. fejezetben két – általam lefolytatott – naturális tűzoltási kísérlet-sorozatot ismertetek, melyek az alkalmazott tűzoltás taktika, és az azt kiszolgáló műszaki eszközrendszer fejlesztésére irányultak.

3.1. Teljes felületű tartálytűz oltási kísérletek

A valós méretű tartálytűzoltási tesztek egy 20 ezer köbméter tárolókapacitású tartályon, annak teljes felületű tüzével hajtottuk végre, két alkalommal.

A tűzoltási tesztek több hónapos előkészítés előzte meg, mely során

- A kísérletek végrehajtását – az egyes részfeladatot irányító munkatársaim bevonásával
- részletesen megterveztem.

- A biztonságos és eredményes végrehajtás érdekében előzetes méréseket és próbákat hajtottunk végre. Különböző modellkísérletek során tűzoltási próbákra került sor (25-1.200 négyzetméter felületen), melyeket különböző méretű tálcákat, földhányából kialakított égetőmedencét, valamint egy 50 m³-es tartályt alkalmazva hajtottunk végre.
- A tűzoltások során alkalmazott minden részegységet külön-külön működési próba keretében üzemeltettünk.
- Rendszeresen egyeztettünk a feladatellátáshoz kapcsolódó egyéb, egyes résztevékenységet biztosító – külső és belső – szervezetekkel (tartályüzemeltetés, éghetőanyag ellátás, mérés-adatrögzítés, filmfelvételek készítése, szennyvízkezelés, gyűjtés, stb.)

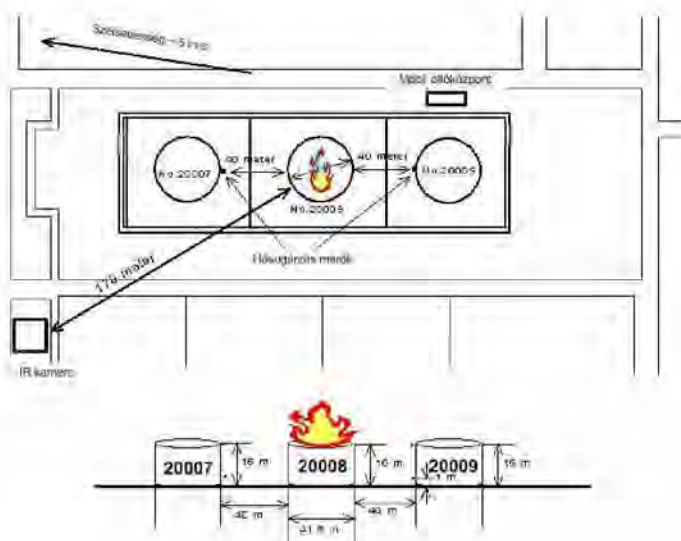
A MOL Nyrt. Dunai Finomítójában 2005. április 26-án és május 19-én végrehajtott tűzoltási kísérletek során igyekeztünk mérésekkel feltérképezni a teljes felületű tartálytűz esetén kialakuló körülményeket.

3.1.1. A helyszín, körülmények

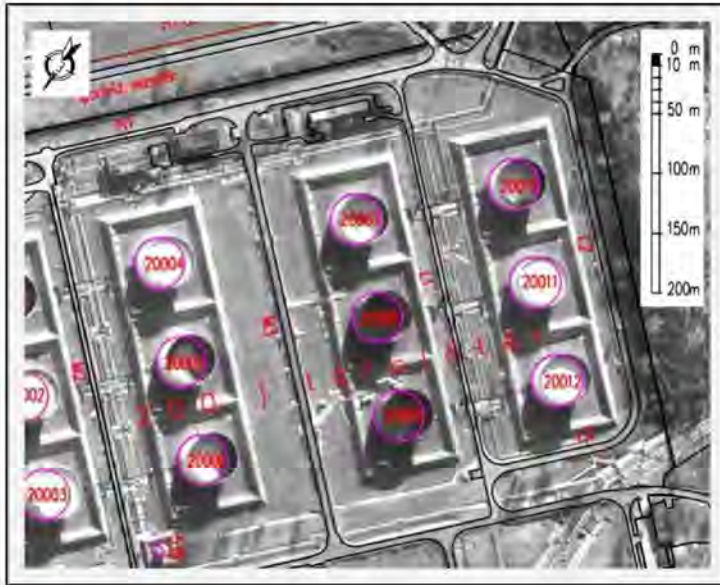
A következőkben a teljes felületű tartálytűzoltás kutatásához kapcsolódó, valós méretű kísérletek végrehajtásához rendelkezésre bocsátott helyszínt, valamint a tűzoltási tesztek időpontjában jellemző további körülményeket ismertetem.

3.1.1.1. A kísérlet helyszíne, a tartály jellemzői

Százhalombattán, a Dunai Finomító 200-as jelű tartályparkjának 20.008 jelű tartálya biztosított helyszínt a tűzoltási tesztekhez, melynek elhelyezkedését a 22. és 23. ábrák mutatják be.



22. ábra: A tűzoltási kísérletek helyszíne
Forrás: FER tűzoltóság



23. ábra: A tűzoltási kísérletek helyszíne

Forrás: FER tűzoltóság

A tartály főbb jellemzői:

- Névleges tartálytérfogat: 20.000 m³
- Átmérő: 41,5 méter
- Felszín (tűzfelület): 1.352 m²
- Magasság: 16 méter

A revizióra leürített úszótetős tartály tetejét előzetesen eltávolították, majd 15 méteres szintmagasságig ipari vízzel töltötték fel.

A tartály 4.715 m² – tartály nélkül mért – alapterületű földsáncsal határolt felfogótérben helyezkedik el. A kísérleteket követő felújítási munkálatok érdekében a sáncot az M3 út irányába egy helyen átvágták, és ideiglenesen behajtást biztosítottak a védőgödörbe.

Ez nagyban megkönnyítette a kísérlet előkészítését, de ezt az átjárót a tűzoltási próbák során csupán a tartalék vízellátást biztosító nyomótömlők átvezetésére használtuk.

A tartály beépített alacsonynyomású palásthűtővel rendelkezik, mely működtetése a kísérlet során nem volt indokolt. A tárolóedény a körgyűrűtűz oltására 4 db 500 liter percenkénti oldatteljesítményű félstabil habfolyatóval rendelkezik. A habfolyatókat tartalékként vettük számításba, biztosításként felkészültünk a késedelem nélküli üzembehelyezésükre, azonban bevetésre nem kerültek.

Az egy sorban elhelyezkedő három, azonos méretű tartályból álló tartálycsoportot a létesítmény N, L1, N1 és M3 jelű üzemi útjai határolják. Tűzoltói beavatkozásra a tartálysor tengelyével párhuzamosan húzódó utak biztosítanak lehetőséget:

- a tartályoktól 37 méterre, délnyugati húzódó L1 jelölésű, valamint
- az 57 méter távolságra elhelyezkedő M3 jelű üzemi utak.

A felfogóteret körbezáró, földből kialakított gát és a határoló utak közötti füves terület hozzávetőlegesen 2 méterrel alacsonyabban helyezkedik el az üzemi utak burkolatánál. Az L1 út melletti, 15 méter szélességű füves sáv járművel nem járható, míg az M3 úttal párhuzamos, 30 méter széles füves terület két burkolatlan lehajtón át közelíthető meg. Járművek és cserefelépítmények telepítésére az L1 és M3 utak teljes hosszában, valamint az M3 úttal párhuzamos füves területen van lehetőség. Hordozható (telepíthető) oltóeszközök, elsősorban habágyúk elhelyezésére a tartály környezetében szabadon van lehetőség, de legelőnyösebbnek a földszánc – kiépített feljárókon megközelíthető – felső felülete adódik.

A kísérletek idején a szomszédos – 40 méteres távolságban elhelyezkedő – 20.007-es és 20.009-es számú tartályok üzemeltek, kőolajjal közel teljesen feltöltött állapotban voltak. A szomszédos tartályok manipulációját a kísérletek időszakára felfüggesztették, töltésre, vagy ürítésre nem került sor.

3.1.1.2. Az időjárási körülmények

A tűzoltások során nehézséget jelentett a viszonylagosan erős, kedvezőtlen irányú szél:

- 2005. április 26-án 3-4 m/s szélsébséget mértünk, esetenként 8-10 m/s szellőkésekkel, észak-nyugati irányból;
- 2005. május 19-én 5 m/s értéket mértünk, amit esetenként 10-12 m/s értéket meghaladó szellőkések kísérték, a szélirány észak, észak-nyugati volt.

A levegő hőmérséklete a kísérlet kezdetekor április 26-án 12,7-14,4 °C, míg május 19-én 17,8-19,2°C volt. A második kísérlet végrehajtásakor enyhén eső szemerklélt. A kísérleti tartály elhelyezkedése miatt a szélirány mindkét alkalommal a lehető legkedvezőtlenebb volt, amit tovább nehezített a viszonylagosan nagy szélerősség és a szellőkések.

3.1.1.3. A felhasznált éghető folyadék

Az alábbiak szerinti mennyiségű és minőségű üzemanyagot használtam fel a kísérletek során.

3.1.1.3.1. Kiegészi sebesség

A kísérlet tervezése során a szükséges éghetőanyag mennyiségét a szakirodalomban megtalálható kiegészi sebesség adatok alapján határoztam meg.

A kalkulációt több körülmény is nehezítette:

- A teljes folyadékfelület begyulladásának – nem tervezhető – elhúzódása időtartama,
- A habbevezetés hatása,
- Az alkalmazásra kerülő 2000 liter “gyújtóbenzin” hatása,
- Az iparivíz felületen szétterülő gázolaj eltérő rétegvastagsága.

A szükséges éghető anyag mennyiség tervezésénél a 11. táblázat szerinti három szakaszra bontottam tűzoltási kísérlet végrehajtását.

		Leírás	Tervezési időtartam [perc]	Tervezett kiégés* [%]	Számított éghetőanyag felhasználás [liter]
1.	Begyűjtás	A tűzgyűjtástól a teljes folyadékfelületre történő kiterjedésig	2	50	4 732
2.	Előégetés	A teljes tűzfelület kialakulását követő szabadégés tűzoltás megkezdéséig	1	100	4 732
3.	Tűzoltás	Tűzoltás megkezdésétől a teljes felszín eloltásáig	2	50	4 732

Összesen: 14 196

* 100% a teljes tűzfelület égése

11. táblázat: A szükséges éghetőanyag-mennyiség; készítette a szerző 2015.

A tervezés során a lángolás egyenletes szétterjedését, valamint a tűzoltás során az eloltott felszín egyenletes növekedését feltételeztem; mindkét esetben 2 perces időtartammal, a teljes felszín eléréséig 3,5 mm/perc átlagos kiégési sebességgel számoltam [91]. Nem vettem figyelembe a begyűjtást könnyítő benzin mennyiséget, melynek kiégési sebessége meghaladja a felhasznált gázolajét, 5 mm/perc értékre tehető [92].

A tervezést nehezítő körülmények miatt, valamint az éghetőanyag kiégésének elkerülése érdekében, a számított mennyiség megközelítőleg háromszorosát, 42.000 liter gázolajat használtunk fel kísérletenként. A tervezési kiégési sebesség esetén a teljes felületre kiterjedt tűz percenként 4.732 liter gázolajat emészt fel, azaz 8 perc 52,5 másodperc alatt ég ki.

A kísérletet követően visszamaradt szennyezett éghető folyadékot mindkét alkalommal leföldröztük a tartályban tárolt folyadék felszínéről, majd a létesítmény szlop rendszerébe szállítottuk, ahol kezelésre és feldolgozásra került.

3.1.1.3.2. Az alkalmazott éghető folyadék minőségi és mennyiségi jellemzői

A tartály mindkét kísérletnél 15 méteres szintmagasságig vízzel volt feltöltve, melynek felszínére szivattyúztuk az éghető folyadékot.

A kísérletek mindegyikénél gázolaj volt az éghető folyadék, melyet 31,0 milliméter átlagos rétegvastagságban alkalmaztunk. Az alkalmanként felhasznált 42.000 liter gázolaj a gépjárművek hajtóanyagaként alkalmazott dízel hajtóanyagnál kissé nehezebb, finomítói félkész termék volt, a 13. táblázat szerinti jellemzőkkel.

Sűrűség	807.3 kg/m ³
Cetánszám	60.4
Zárttéri lobbanáspont	70.0°C
Kezdő forráspont	172.2°C
Végső forráspont	294.7°C

12. táblázat: A felhasznált éghető anyag
minőségi jellemzőik
Készítette a szerző 2015.

A felszín gyors begyűjtéséhez további 2.000-2.000 liter gyújtóbenzint használtunk fel, amivel az éghető folyadék teljes felületre számított átlagos rétegvastagsága 32,5 millimétert tett ki. Az elektromos gyűjtáshoz pirotechnikai égőket helyeztünk a tartálypalást tetejére, melyek négy pontban szórták a szikrát az üzemanyag felületére.

A nagyfelületű előzetes kísérletek során azzal a különös nehézséggel szembesültünk, hogy még a rendkívül enyhe légmozgás is képes a vízfelszínre juttatott éghető folyadék réteget a felszínen elfűjni. Ennek következtében a felszínen a szél irányába eső részeken nagyon vékony üzemanyag réteg alakul ki, míg a szemben lévő oldalon felhalmozódik az éghető anyag. Ez a jelenség szélsőséges esetben a teljes felületű tartálytűz kialakulását is megnehezíthette volna, illetőleg esetlegesen a felszín egyes részein a gázolaj gyér kiégése miatt a lángolás megszűnését okozhatta volna.

Megoldásként a felhasznált üzemanyag mennyiség (rétegvastagság) növelése, valamint a légmozgás által okozott felszíni áramlások fékezése merült fel. Gazdasági és környezetvédelmi szempontok alapján a második megoldást alkalmaztuk, és a folyadékfelszínt olajálló fólia szalagokkal több kisebb „rekeszre” osztottuk fel. A fólia gátak néhány centiméterre benyúltak a folyadékfelszínbe, így megakadályozták az éghető folyadék mozgását a felszínen. Az így kialakított szeletek mindegyikébe külön-külön az adott felszínnel arányos mennyiségű gázolajat töltöttük. A felszínt felosztó fóliafal csak a gyújtást megelőző időszakban osztotta fel a felszínt, a tűz hatására azonnal megsemmisült és nem módosította sem a tűzjelenséget, sem a tűzoltást.

3.1.1.3.3. Az előégetés

A teljes felület begyulladását követően további 1 perc előégetési idő után adtam utasítást a tűzoltás megkezdésére. A lángolás teljes felületre történő szétterjedése, valamint a habbaloltás tényleges megkezdésének késedelme okán

- az első tűzoltás során (2005. április 26-án) 3 perc 42 másodperc, míg
- a második esetben (2005. május 19-én) pedig 2 perc 30 másodperc szabadégési idő után kezdődött meg a tűzoltás.

3.1.2. A műszaki körülmények, feltételek

A következőkben csoportosítva mutatom be a kísérletek végrehajtása érdekében kialakított feltételeket és alkalmazott műszaki eszközöket.

3.1.2.1. Az alkalmazott habképzőanyag

A kísérleteket megelőzően a FER Tűzoltóságnál készenlétben tartott habképzőanyagok – a hazai általános állapotnak megfelelően – 3 %-os és 5-6 %-os habbekeverés mellett teljesítették az előírt oltási paramétereket. Az oltóanyag szállításához nagy számban, jelentős habképzőanyag tartállyal rendelkező járműveket kellett készenlétben tartani. Az új és korszerű – 1 %-os bekeverési arányban alkalmazható – oltóanyagok megjelenésével a habtartályok és a tárolt habképzőanyag mennyiség az ötödére, hatodára csökkenthető, azonos tűzoltási teljesítmény mellett.

Az 1 %-os bekeveréssel alkalmazható habképzőanyag készenlétben tartásának bevezetését a FER Tűzoltóságnál összehasonlító tesztek előzték meg. Az 1 %-os bekeverési arány mellett alkalmazható vízfilmképző szintetikus oltóanyagok próbája alapján a hasonló adalékok közül a STHAMEX-AFFF 1% került kiválasztásra, így a valós méretű tartálytűzoltási kísérleteken is ezt az anyagot használtuk.

Ez az oltóanyag vízfilmképző habanyag, nehéz-, és középhabként egyaránt használható. Nehézhabként a nagy habsűrűségének köszönhetően nagy lövőtávolság jellemzi. A STHAMEX-AFFF 1% nagyon jól habosítható, ezért kitűnően felhasználható középhab előállítására is. A habanyag oldat hamar kilép a habból, ezáltal elősegíti a vízfilm képződést, és megnöveli a hab folyóképességét, ennek következtében lerövidül az oltási idő. A vízfilm ott is olt, ahol a tűzfelületet a hab csak részlegesen fedi, illetve megakadályozza a visszagyulladás ott, ahol a habtakaró felszakad. A hab olajtaszító, azaz nem telítődik az anyaggal. Az alkalmazott STHAMEX-AFFF 1% habképzőanyag főbb műszaki adatai: [93]

- Ajánlott keverési arány: 1,0 %;
- Habkiadósság (MSZ EN 1568 szerint):
 - nehézhab < 15-szörös;
 - középhab < 150-szeres.
- Sűrűség: $1,07 \pm 0,02$ kg/l
- Fagyállóság: -20 °C-ig
- pH-érték: 6,5 – 8,5
- Fiziológiailag semleges, biológiailag könnyen bomlik.

A kísérletek során alkalmazott habképzőanyagot a tűzoltást végző Mobil Oltóközpont habképzőanyag tartályából, a cserefelépítmény bekeverő rendszere adagolta az oltóvízhez. A tartalék oltóeszközként biztosítási feladatot ellátó habbaloltó gépjárművek és cserefelépítmények beépített habképzőanyag tartállyal, az ebben készenlétnél tartott habanyaggal és habbekeverési teljesítménnyel álltak készenlétnél. Ezen egységek bevetésére nem került sor a kísérletek során.

A szomszédos 20.007 és 20.009 jelű tárolótartályok – égő tartály irányába eső – félkörgyűrűjét a tűzoltási kísérletek megkezdését megelőzően középhabbal letakartuk. A habbekeveréshez ezen eszközöknél vízsugárszivattyúval, kannákból adagoltuk a habképzőanyagot, melynek típusa Light Water volt.

3.1.2.2. Oltóvízellátás

A kísérletek lefolytatásához szükséges oltóvizet elsődlegesen a helyszínen kiépített tűzivíz rendszerből nyertük, ugyanakkor másodlagos vízforrásként figyelembe vettük a kísérleti tartályban tárolt több mint 20.000 m³ ipari vizet is.

3.1.2.2.1. Oltóvíz a létesítmény tűzi-víz rendszeréből

A helyszíneként szolgáló 200. számú tartálypark területén a kísérlet időpontjában alacsonynyomású tűzivíz rendszer üzemelt, 3-4 báros kivehető víznyomással. A vízhálózat ellátását a finomító ipari vízműve a Dunamenti Erőmű melegvíz csatornájából történő vízkiemeléssel biztosította, a vízforrás kimeríthetetlennek minősíthető.

A vízműtől induló, 3 db főnyomó vezeték szállítja a vizet a létesítmény teljes területét behálózó, talajszint alatti kialakítású elosztó rendszerbe. A vízellátó rendszer feladata kettős: ellátja a finomító technológiai rendszereit a működéshez szükséges ipari vízzel, valamint biztosítja a területen a szükséges oltóvíz folyamatos, megfelelő minőségi és mennyiségi rendelkezésre állását.

Az alacsony rendelkezésre álló víznyomás miatt minden tűzoltásra védelem és tartalékként tervezett eszköz esetében – mobil – nyomásfokozó szivattyú beépítése vált szükségessé. E célra a tűzoltó gépjárművek és cserefelépítmények beépített vízszivattyúi kerültek bevetésre, melyek a habbekeverést, a habanyag szállítását is biztosították egyidejűleg. A helyszínt határoló – N, M3, N1 és L1 utak mentén húzódó körvezeték DN 400 méretű, PN 10 nyomásértékű.

A hálózat vízellátását biztosító három főnyomó vezetékéből kettő a kísérletek helyszínének közelében csatlakozik a vízrendszerhez:

- A III-as főnyomó az N1 úti vezetékbe az L1 út magasságában, DN 600 PN 10 mérettel, míg
- A II-es főnyomó DN 700 PN 10 mérettel az L úton (N út irányából) csatlakozik be.

A gyakorlatok során az M3 és az L1 utak mentén húzódó vezetékekre épített, kétféle kialakítású tűzcsapokból nyertünk oltóvizet:

- „Hagyományos” kialakítású, 2 db 75 mm-es „B” kapocspárral szerelt földfeletti tűzcsapok, valamint
- „4+1A” tűzcsapok, melyekből egyidejűleg legfeljebb 4 db 110 mm méretű „A” nyomótömlővel nyerhető ki az oltóvíz.

Az M3 úti alacsonynyomású oltóvízvezetékre csatlakoznak a blokkban elhelyezkedő három tartály palástűtői is.

A nyomásfokozásra használt gépjárművek és cserefelépítmények „A” méretű táplálócsonkokkal rendelkeznek, ezért általánosságban 110 mm-es gumírozott nyomótömlőkkel biztosítottuk a vízellátásukat. A kizárólag „B” méretű csatlakozókkal rendelkező tűzcsapokból kivett oltóvizet rövid (3-5 méter hosszúságú) 75 mm-es tömlőket alkalmazva, A-BBB kialakítású gyűjtők közbeiktatásával vezettük a tápláló („A” méretű) nyomótömlőkbe.

A kísérleteket megelőzően a vízrendszer ellenőrzése céljából több alkalommal szerveztem vízelvételi próbát, melyek keretében a területen mértékadónak tekinthető oltóvíz-teljesítményt vettük ki a hálózathoz. E nagy vízmennyiség felhasználása során azt tapasztaltuk, hogy a létrejött áramlási viszonyok következtében létrejött a nagy térfogatáram feloldotta és kimosta a vezetékrendszerbe – évek, esetleg évtizedek alatt – lerakódott szennyeződések. Az első próbák során tízperceig sárral, és különféle szilárd darabokkal (pl. kavics, rozsdá, kagyló) szennyezett oltóvíz érkezett a tűzcsapokból. Ebben az időszakban a víz – szennyezettsége okán – nem volt habképzésre felhasználható, az eszközökbe vezetett folyadék által szállított szilárd szennyeződések több alkalommal okoztak műszaki meghibásodást (pl. mechanikai sérülés a nyomásfokozó vízszivattyúknál, az ágyúfej eltömítése). Mindez annak ellenére következett be, hogy az egyes tűzcsapok felülvizsgálatára, mosatására és vízhozam mérésére – a vonatkozó előírások szerint – rendszeresen sor került.

Megállapításom szerint a vízforrások ellenőrzése során, a tűzcsapok egyesével történő öblítése kizárólag a kisebb keresztmetszetű vezetékben biztosítja a rendszer megfelelő tisztítását. A valós körülményekhez hasonlóan végrehajtott vízelvételi próbák a nagyobb átmérőjű szakaszok lerakódásait is feloldották, ezzel átmenetileg habképzésre alkalmatlan állagú folyadékot juttatva a tűzcsapokba. Ezt támasztja alá az a megfigyelés is, miszerint a tűz nélkül végrehajtott vízkivételi tesztek során később egyre tisztább, majd folyamatosan megfelelő minőségű víz érkezett a rendszerből.

3.1.2.2.2. Tartalék oltóvízellátás

Az irányításommal végzett kísérletek során a bevetésre kerülő minden rendszerelemhez tartalékot biztosítottunk. Az egyébként nagy üzembiztonsággal működő kiépített vízhálózat esetleges nagymértékű teljesítmény csökkenése a kísérlet megghiúsulását okozhatta volna. A gyújtást követő időszak vízellátási zavara lehetetlenné tette volna a lángolás megszüntetését, ezért másodlagos vízforrás biztosítása is szükségessé vált.

Erre a célra tűzoltás helyszínén, magában a kísérleti tartályban, a lángoló üzemanyag réteg alatt több mint 20.000 m³ ipari víz állt rendelkezésre. A tartály feltöltését megelőzően a tartály 800 mm átmérőjű, talajszinten elhelyezkedő búvónyílásának záró fedele helyett vízelvételre alkalmas zárószerelvényt szereltünk fel. A felhelyezett zárólemezt előzetesen 6 db 100 mm átmérőjű elzárószerelvénnel felszerelt vezetékcsonkkal láttuk el, melyek szabad végére 110 mm-es „A” jelű Storz nyomócsonk-kapcsot szereltünk. A csonkoktól „A” nyomótömlőkön oltóvizet vezettettem az M3 jelű üzemi úton tartalékként készenlétben álló gépjárművekhez. Az előzetes működési részpróbák igazolták, hogy a tartályban tárolt ipari víz közel 1,5 bár hidrosztatikai nyomása elégséges: megfelelő vízellátást biztosít az úton készenlétben álló – alaphelyzetben vízzel tűzcsapról táplált – járművek nyomásfokozó szivattyúinak.

A tűzoltási kísérletek során a kiépített vízhálózat megfelelően működött, így ezen másodlagos tűzivízforrás alkalmazása nem vált szükségessé.

3.1.2.3. Az alkalmazott technikai eszközök

A kísérletek során alkalmazott Silvani MP 20000 mobil oltóközpont (21. ábra és 23. fénykép) legfontosabb jellemzőit a 2.3.2.5 fejezetben ismertetem. Az egység – megfelelő oltóvízellátás esetén – külső műszaki vagy logisztikai támogatás nélkül alkalmas a nagyteljesítményű tűzoltásra. 1 százalékban alkalmazható habképzőanyag használata esetén 50 percen keresztül képes folyamatosan biztosítani egy 20.000 köbméter tárolókapacitású tárolótartály teljes felületű tartálytűzének oltásához szükséges tűzoltási teljesítményt.

A Százhalombattai Finomítóban kettő ilyen oltóegység áll készenlétben. A kísérletek során csak az egyik mobil oltóközpont került bevetésre, mindkét alkalommal az L1 jelű útról, míg a másik egység tartalékként került megtelepítésre.

3.1.3. A végrehajtás biztonsága – biztosítási feladatok

A kísérletekre egy különleges helyszínen, hazánk legnagyobb olajipari létesítményének üzemelő egységében került sor, így különösen nagy hangsúlyt kapott a végrehajtás biztonsága. A tűzoltási tesztek megtervezése és előkészítése során igyekeztünk minden váratlan körülményre felkészülni.

3.1.3.1. A kísérletek biztosítása

A tűzoltási részfeladatra kijelölt egység (OK-1 mobil oltóközpont) meghibásodására, vagy bevetésének esetleges eredménytelenségére felkészülve 32.000 liter/perc oldatteljesítményt állítottunk tartalékba.

A tűzoltásra tervezett oltási intenzitást háromszorosan, illetőleg másfélszeresen meghaladó beavatkozási képességet biztosító eszközöket előszerelt állapotban, az azonnali bevethetőséget biztosítva az alábbiak szerint helyeztük el:

- A 2. számú – OK-1-el szinte teljesen megegyező kialakítású - mobil oltóközpontot (OK-2) azonnal bevethető állapotban, tartalékba helyeztük. (Április 26-án az L1 úton, míg május 19-én a M3 út melletti füves területen.)
- A 2-2 közepes teljesítményű habágyút telepítettünk - a szélirányra is figyelemmel - FER Tűzoltóság Hab-1 és Hab-2 gépjárműveiről haboldattal ellátva az alábbiak szerint:
 - 2 db Akron Apollo típusú (Hab-1) és 1 db TFT Crossfire (Hab-2) típusú habágyú a 20.008-as tartály felfogóterének földsánc-koronáján (20.007. számú tartály, valamint M3 és L1 utak felőli oldalon),
 - 1 db TFT Crossfire típusú habágyú (Hab-2) a 20.007. számú tartály körjárdáján.

Ezen eszközök feladatát képezte továbbá a kísérleti területen, illetőleg annak környezetében keletkező esetleges „másodlagos” tüzek oltása.

A tartály 4 db félstabil habfolyatóját az alacsony – körgyűrű tűzre méretezett – teljesítmény-értékek miatt nem helyeztük üzembe, de felkészültünk esetleges működtetésükre. Az esetleges oltóvíz ellátási zavar lehetőségét is számításba véve előkészítettük az oltáshoz megfelelő vízmennyiség helyszíni, tartályról történő folyamatos biztosítását. (Részletesen a 3.1.2.2.2. fejezetben ismertettem.)

3.1.3.2. A környező terület és készülékek védelme

A szomszédos tartályok a kísérletek időpontjában kőolajjal feltöltött állapotban voltak, ezért az alábbi intézkedésekre adtam utasítást:

- 1-1 db 400 liter percenkénti teljesítményű habsugarat tartottunk készenlétben a 20.007 és 20.009 számú tartályok körjárdáján. A víznyomást a FER Roham-1 és FER Roham-2 gépjárművek biztosították, míg a habbekeverésre hordóból, vízsugárszivattyúval került sor.
- A szomszédos tartályok körgyűrűjének 20.008-as tartályhoz közelebb eső szeletét a kísérlet megkezdését megelőzően középhabbal letakartuk.
- A 20.007 és 20.009 számú tartályok tömítőségének – habtakarással „megerősített” – zárását előzetesen és folyamatosan ellenőriztük gázkoncentráció méréssel.
- A két szomszédos tartály tűz irányába eső palásthűtőit beindítottuk.
- A 20.008 számú tartály palástjának záporoztatóját nem nyitottuk ki. A lángoló folyadékszint alatti palástfelületet – belülről – hűti a tartályban lévő anyag (jelen esetben ipari víz), így külső hűtés nem volt indokolt a palástlemez hőmérséklet emelkedésének megelőzésére.
- A helyszínen alkalmazott tűzoltó eszközök és személyi állomány hősugárzás elleni különleges védelme – a FER Tűzoltóságnál korábban végrehajtott nagyfelületű tűzoltási próbák tapasztalatai alapján – nem volt indokolt.

3.1.3.3. Váratlan helyzetek kezelése - felkészülés a kísérlet megszakítására

A kísérlet teljes időtartama alatt biztosítottuk a tűzoltási próba haladéktalan megszakításának lehetőségét, visszafordíthatatlan folyamatot a tűzgyújtásig nem indítottunk el. A második tűzoltási gyakorlatot megelőzően a nagy szélsébség és kedvezőtlen szélirány okán felmerült a kísérlet megszakításának lehetősége. A körülményeket kihasználva a végrehajtás biztonságát fokoztuk azáltal, hogy az elsődleges tűzoltási tartalékot jelentő OK-2 oltóközpont pozícióját módosítottuk. A szélirányba áthelyezett cserefelépítmény szükségszerű működtetése esetén a szél erejét kihasználva nagyobb hatékonysággal kerülhetett volna sor egy esetleges beavatkozásra ezzel az eszközzel. A kísérlet csupán rövid ideig, a tűzgyújtás és tűzoltás közötti néhány percben nem volt megszakítható.

A kísérletet mindkét alkalommal rendkívüli szakmai érdeklődés övezte, nagy számban érkeztek hazai és nemzetközi szakemberek a helyszínre. A látogatók részére tartózkodási területet jelöltünk ki, folyamatos felügyelet és támogatást biztosítottunk a csoport tagjai számára.

3.1.3.4. A folyamatos létesítményi tűzoltósági készenlét fenntartása

A kísérlet előkészítő munkálatai, végrehajtása, valamint a záró, befejező feladatok során folyamatosan fenntartottuk a főfoglalkozású létesítményi tűzoltóság működési területére előírt készenlétet.

- A FER Tűzoltóság berendelt személyi állományával, ezen belül szerkezelői és tűzoltásvezetői jogosultsággal rendelkező létszámmal, folyamatosan biztosítottuk a vonulás lehetőségét a helyszínt környező utakról az egység tartalék és a kísérlet során nem használt szerállományával.
- A kísérletek időszakában a helyszínen tartózkodtak az érdi hivatásos tűzoltóság erői, melyek a szakmai tapasztalatszerzés mellett a létesítmény tűzoltói készenlétét is erősítették.
- A kísérletben résztvevő gépjármű állomány elhelyezésével biztosítottuk a készenléti járművek – minimális idővesztéssel – vonultatható állapotát. A kísérlet esetleges megszakítását követően, a csatlakoztatott tömlővezetékek eltávolítása után a járművek vonulása biztosított volt a telepített cserefelépítmények és mobil hab- vízágyúk kivételével.
- Törekedtünk a létesítményi tűzoltóság tartalék szakfelszereléseink alkalmazására (például tűzoltó nyomótömlők), készenléti gépjárművekről csak indokolt esetben távolítottunk el málházott felszereléseket (például telepíthető ágyúk).

3.1.4. A tűzoltási kísérletek végrehajtása

Az előzőekben áttekintett legfontosabb biztonsági intézkedések mellett részletes, a tűzoltási művelet végrehajtására irányuló aprólékos tervezőmunka előzte meg a kísérleteket. A következőkben ezen előkészítés legfontosabb eredményeit mutatom be.

3.1.4.1. Alkalmazott tűzoltás taktika: Nagyteljesítményű mobil tartálytűz-oltási taktika

A hagyományos mobil tartálytűzoltási taktika eszközszerét tekintve nagyszámú, de kis teljesítményű – jellemzően a percenkénti 1.600 – 2.400 liter teljesítményű – oltóeszköz egyidejű bevetésére épült. Ezekkel az eszközökkel a tűzfelületet körülvéve és megközelítve kezdődhetett meg a tűzoltás. A szükséges eszköz és habképzőanyag mennyiséget a habroham megkezdését megelőzően össze kellett vonni, majd a vízellátás 75 mm-es tömlőkkel történő előszerelése után kezdődhetett meg a tűzoltás. A cél a teljes felületen egyszerre történő habtakarás volt.

A sok kisebb habsugár a lángtérben nagy felületen érintkezett a tűzzel, és így megégve nagymértékben csökkent az oltásban ténylegesen résztvevő hab aránya. Ennek kisebb tűzoltási hatékonyság, hosszabb oltási idő és nagyobb oltóanyag felhasználás lett a következménye.

Az alkalmazott kisteljesítményű habágyúk alacsonyabb hatásos (oltó) sugártávolsága miatt a lángoló tartályt jobban meg kellett közelíteni. A beavatkozók biztonsága érdekében védő-hűtő vízsugarak és hővédő ruházat alkalmazása elengedhetetlen volt, ami nagyobb személyi állomány igénybevételét és összevonását tette szükségessé.

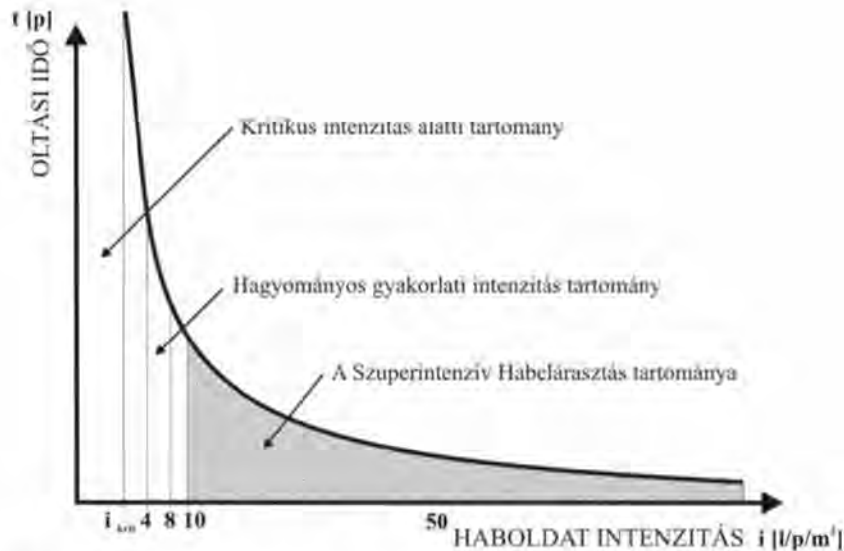
A kisebb szállítási egységekben – gyakran kannákban, de többnyire 200 literes hordókban készenlétben tartott – anyaggal csak nagyobb létszámmal és időszakos megszakításokkal volt biztosítható a folyamatos habképzőanyag ellátás.

Az irányításommal végrehajtott kísérletek során alkalmazott korszerű mobil tartálytűzoltási taktika kevesebb (egy vagy esetlegesen kettő), de lényegesen nagyobb teljesítményű habágyú bevetését irányozza elő. Célja a tűzfelület középső részén lábnyomszerű habbejuttatási felület és habtakaró kialakítása. A kisebb felületrészre juttatott nagyobb oldatintenzitás (habmennyiség) az adott területen magas habalkalmazási intenzitást biztosít. A felületre juttatott fajlagos habmennyiség növelésével a habbaloltás hatékonysága növekszik, a tűzoltási idő csökken, így ebben az esetben a középső tűzfelületen a gyorsan megszűnik a lángolás, majd erről az eloltott területről terjedhet tovább a habtakaró.

A 24. ábrán megjelölt kritikus oltási intenzitásnál kisebb teljesítménnyel a hab nem képes végrehajtani az oltást. Ezen értéket alig meghaladó teljesítmény esetén az oltási idő rendkívül hosszúra nyúlhat. A túl nagy oldatintenzitás már a felhasznált teljesítményhez képest aránytalanul kis mértékben csökkenti az oltási időt. Tehát a több habképzőanyagot és a nagyobb oltási teljesítményt cél és eredmény nélkül vetjük be.

A kritikus, valamint a gazdaságosan alkalmazható legnagyobb oldatintenzitási érték egyaránt függ az égő anyag jellemzőitől, az ábrán látható értékek csupán iránymutatóak. Célszerűbb tehát egy területre nagyobb mennyiséget irányítani, majd onnan kiindulva tovább folytatni az oltást.

Miközben az oltóanyag a forró lángzónán át tart az oltandó felszínre, hatalmas habmennyiség semmisül meg. Nagyteljesítményű habsugár alkalmazásával a lánggal érintkező felület kisebb, mint ugyanakkora összteljesítményű, de több apróbb kötegű habsugár esetén. Több ágyúsugár egyidejű bevetése esetén – szintén a veszteségek csökkentése érdekében – a hab együttes útját és azonos felületre irányuló lövellését kell biztosítani.

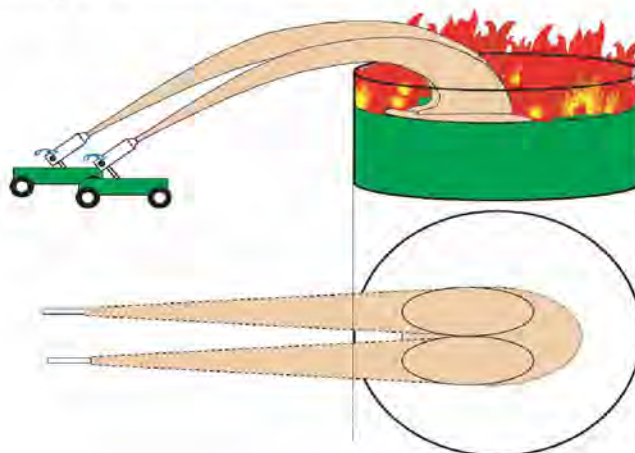


24. ábra: Az adagolási intenzitás és az oltási idő összefüggése [94]

E jelentős veszteség mellett további tényezők is csökkentik az oltásban valóban résztvevő oltóhab arányát. A szükséges oldatintenzitás biztosítása érdekében az oltáshoz telepített eszközökből időegység alatt kilőtt mennyiséget magasabb értékben kell meghatároznunk.

A legáltalánosabban elfogadott ajánlás szerint a megkívánt oltási teljesítmény 1,6 szerezését szükséges a habágyúból kilőni, kompenzálva ez által a hab megégésének, megfűrdésének, iránytévesztésének és az egyéb veszteségeknek a hatását.

A kísérletek során mindkét alkalommal egy habágyút vetettünk be, de két különböző teljesítményértékkel hajtottuk végre a tartály 1.352 m²-es tűzfelületének oltását: 2005. április 26-án 10.000 liter/perc oldatteljesítménnyel, míg 2005. május 19-én 20.000 liter/perc oldatteljesítmény alkalmaztunk.



25. ábra: Az oltóhab bejuttatása, „hídállás” kialakítása a felszínen [95]

A korszerű mobil tartálytűzoltási taktikára jellemző módon a tartályfelület közepére, központosítva lőttük az oltóanyagot. A felület eloltásához „híd főállásként” kialakított habfolt területe nehezen meghatározható, ahogy a habsugár veszteségeit is csak becsülni lehet. A tűzoltás és az előzetes vízpróba során készített felvételek alapján – becslésem szerint – legfeljebb a teljes tűzfelület 15 százalékán terült szét oltóhab. A felvételek alapján tűzónak tűnik a kilőtt/hasznosult oldatmennyiség arányára korábban jelzett 1,6-os arányszám, de más adat hiányában ezt az értéket veszem figyelembe.

Ezen adatok alapján az első kísérlet esetén:

- A teljes tűzfelületre számított adagolási intenzitás értéke a veszteségek elhanyagolásával (kilőtt oldatmennyiség alapján):

$$\frac{10\,000 \text{ liter/perc}}{1352 \text{ m}^2} = 7,40 \text{ liter/m}^2 \text{ percnként}$$

- A teljes tűzfelületen „hasznosuló” habadagolási intenzitás értéke, ha a figyelembe vesszük a szakmai ajánlásokban megfogalmazott, a veszteségek miatti 60%-os többletteljesítmény szükségletet:

$$\frac{7,40 \text{ liter/m}^2 \times \text{perc}}{1,6} = 4,62 \text{ liter/m}^2 \times \text{perc} \text{ (átlagos érték)}$$

- A „híd főállás” habfelszín adagolási intenzitása (amennyiben az oltóhab a felület 15 %-án érkezik meg a folyadékfelszínre):

$$\frac{4,62 \text{ liter/m}^2 \times \text{perc}}{0,15} = 30,82 \text{ liter/m}^2 \times \text{perc}$$

azaz, a tűzoltásban 30,82 liter/m² percnkénti „szuperintenzív” oldatintenzitás értékkel vett részt a hab a „lábnyom” felületén.

A második tűzoltás során kétszeres haboldat teljesítményt alkalmaztunk, így ebben az esetben 60 liter/m² percnkénti adagolási intenzitású „hablábnyom” kialakításával kezdtük meg a tűzoltást. Ezeket az adatokat értékelve megállapítható, hogy a tűzoltás során jelentkező valós oldatintenzitások az előírt érték többszörösére adódnak, igazi „szuperintenzív” habbaloltást eredményezve.

A BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgató „a beavatkozáshoz szükséges erőeszköz és oltóanyag számítás módjáról” szóló – a kísérlet időpontjában hatályos - 109/2000 számú, 2000. november 27-én kiadott intézkedése a tűzveszélyes folyadéktároló tartályok tüzeinek oltásához szükséges habképzőanyag mennyiség megállapításához 5 liter/m² percnkénti adagolási intenzitást írt elő.

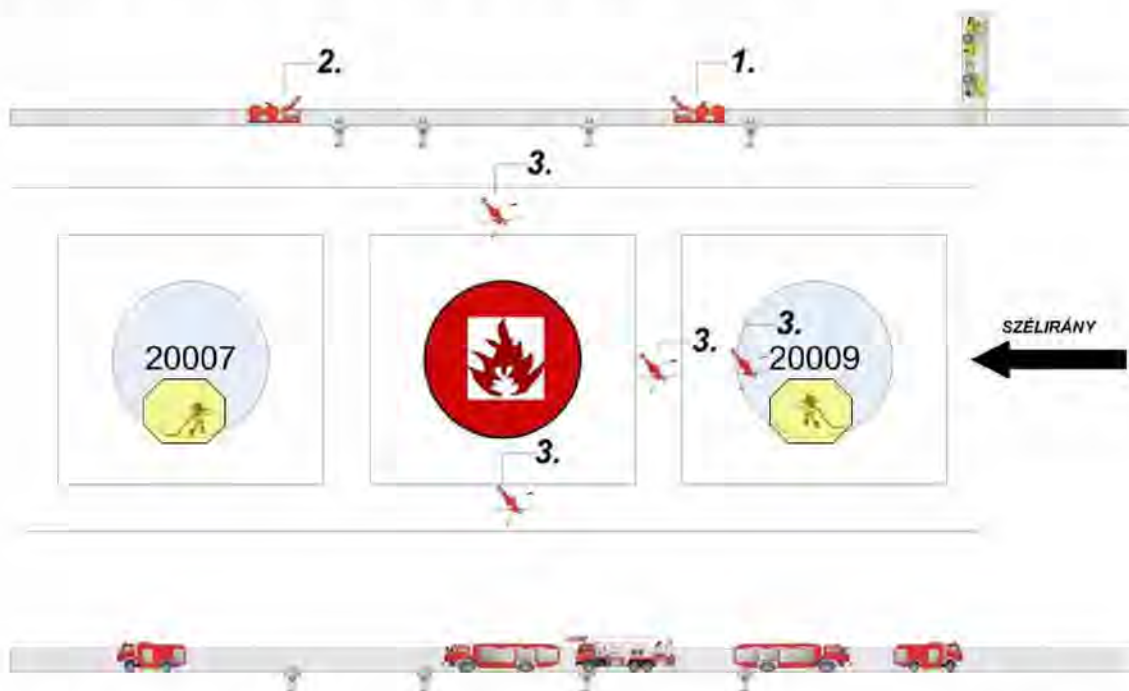
Ezen érték alkalmazásával kell megállapítani a habrohamhoz szükséges oldatintenzitást, az intézkedés a veszteségek ellensúlyozására nem ír elő külön teljesítmény többletet.

Ebben a megközelítésben mindkét kísérlet során az intézkedésben foglaltakat meghaladó adagolási intenzitást alkalmaztunk:

- 2005. április 26-án 7,40 liter/m²×perc, míg
- 2005. május 19-én 14,80 liter/m²×perc átlagos adagolási intenzitást biztosítottunk.

3.1.4.2. A felállítási helyek

A kísérleteknél alkalmazott eszközök felállítási helyeit a 26. ábra szemlélteti. A két teszt között eltérés a tartalékként figyelembe vett 2. számú mobil oltóközpont felállítási helyében figyelhető meg. Az OK-2 eszköz készenléti helyét a kedvezőtlenebb meteorológiai körülmények miatt módosítottam; a kismértékben eltérő szélirány, valamint nagyobb szélereőség miatt az április 26-i felállítási helyről nem volt garantálható a habágyú hatásos bevetése.



26. ábra: Az eszközök felállítási helyei 2005. április 26-án; készítette a szerző 2005.

Optimális – a szél erejével is támogatott – felállítási irányként az M3 üzemi út oldalán, a felfogótér északi sarka volt meghatározható. A burkolt útfelületről történő működés esetén az ágyú tartálypalásttól mért távolsága meghaladta a 65 métert, ezért a 20.008-as tartály védőgödör földszánca és az M3 út közötti füves terület északi végére történő telepítésre adtam utasítást.

E pozícióból a tartálytól mért távolság 43-44 méterre csökkent, ami a „támogató” széliránynak köszönhetően nagyon kedvezőnek bizonyult a beüzemelés során.

Bizonytalanságot okozott a kísérletet megelőző csapadékos időszak miatt a sáros, felázott területen a cserefelépítmény szállító gépjármű közlekedése. E körülmény azonban az egység telepítése során nem okozott lényeges nehézséget, bár a felépítmény kísérletet követő elszállításához csak több órás összehangolt munkával sikerült felemelni az oltókonténert.

3.1.4.3. A kísérletek irányítása

A gyakorlat irányítására a vonatkozó szabályozók, nemzetközi tapasztalatok és iránymutatásokra építve – az előzetes működési kísérletek alapján – az alábbiakat határoztam meg:

- Irányítási pontként az M3 útra, a kísérleti területtől észak-északkeleti irányba elhelyezkedő magassbólmentő gépjármű kosarát jelöltem ki.
- A tűzoltást végző eszköz mozgását két helyszínről irányítottuk: az irányítási pontból, valamint talajszintről, az ágyútól oldalirányban, néhány tízméternyi távolságból oldalról.
- A kísérlet végrehajtásában résztvevő erőket az alábbi feladatmegosztás szerinti szakaszokba szerveztem:
 - a tűzoltást végző OK-1 mobil oltóközpont,
 - a tartalék mobil oltóközpont (OK-2),
 - FER Tűzoltóság emelőkosaras gépjármű (irányítási pont),
 - FER Hab-1 gépjárműről oltóanyaggal ellátott 2 db Akron Apollo típusú habágyú,
 - FER Hab-2 gépjárműről oltóanyaggal ellátott 2 db TFT Crossfire típusú habágyú,
 - 20.007 számú tartály körjárádján 1 db 400 liter percenkénti teljesítményű habsugár és 1 db TFT Crossfire típusú habágyú,
 - 20.009 számú tartály körjárádján 1 db 400 liter percenkénti teljesítményű habsugár,
 - tűzgyújtást biztosító szakasz,
 - filmfelvétel, fénykép,
 - mérés, adatrögzítés,
 - létesítményi tűzoltósági készenlét,
 - külső vendégek irányítása.

Szakaszonként és kapcsolódó feladatokként egy-egy „szakaszirányító” jelöltem ki a FER Tűzoltóság vezetői állományából, az egyes részfeladatokat irányítókkal közvetlenül tartottam a kapcsolatot.

A habbaloltás megkezdésekor a tervezett területre irányuló habsugárhoz szükséges ágyú pozíció pontos beállítását leginkább oldalirányból és felülről, együttesen lehetett irányítani.

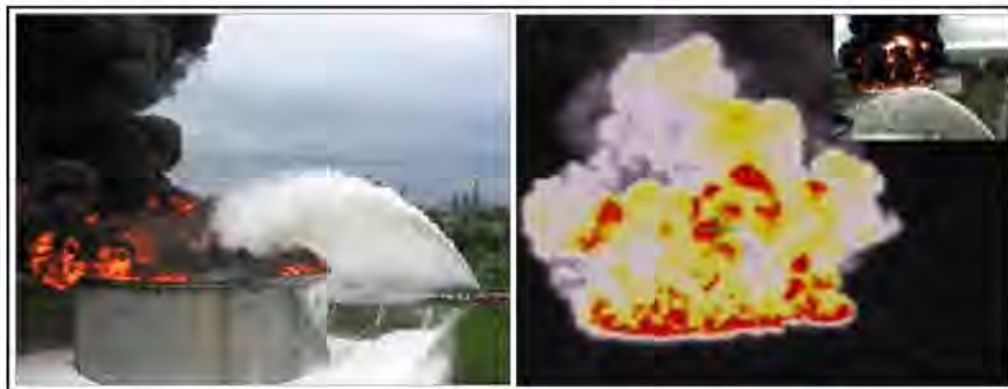
A megfelelő lövmagasság oldalról, talajszintről, míg a célterület pontos elhelyezkedése a magasból, az emelőkosaras gépjármű kosarából volt biztosítható.

Gyakorlatvezetőként folyamatos duplex rendszerű kapcsolatban álltam a tűzoltási feladatot végrehajtó szakasz irányítójával, valamint a mobil oltóközpont kezelését végző főfoglalkozású létesítményi tűzoltóval. A középső terület oltását követően szintén a lángoló felszínnél magasabban, a kosárban elhelyezkedő tűzoltásvezető irányításával nyílt lehetőség az oltáshoz szükséges megfelelő mozgásokra.

3.1.4.4. A tűzoltás végrehajtása

Az első kísérletre 2005. április 26-án 11 óra 10 perckor, míg a második tűzoltásra 2005. május 19-én 14 óra 40 perckor került sor. A tűzoltási tesztek előkészítését az előzőekben leírtak szerint hajtottuk végre. A tűzoltást menetét az eddigiekben áttekintett alapelvek és körülmények alapján terveztem meg.

A mobil oltóközpontra épített nagyteljesítményű habágyút szélirányból igyekeztem bevetni, azonban a légmozgás iránya mindkét oltásnál kedvezőtlenül alakult, hiszen a legjobb telepítési terület a szomszédos (20.007) tartály védőgödrében adódott volna. A tűzoltást végző ágyú kedvezőtlen pozíciója következtében az oltást végző habsugarat oldalról érte a szél, roncsolva a sugárképet.



27. ábra: A teljes felületű tartálytűz oltása; Forrás: FER Tűzoltóság

A habsugárral az előégetési időt követően befordulva, a tűzfelület középső, de az oltóeszközhöz közelebb eső területére terveztük az oltóhabot juttatni. Ehhez, az oltóeszközhöz közelebb eső tartálypalást felett éppen ellöve terveztük a lángtérbe irányítani a habot. A lábnyomszerű híd főállás kialakulása után a felforrósodott palást mentén visszamaradt lángolás megszüntetését a habágyú célirányos mozgatásával szándékoztuk biztosítani. Ezt a mozgást a szél felé eső palástszakasz mellett indítva, majd a még lángoló felszínen végighaladva terveztük végrehajtani.

A lángolás megszűntét követően a hablövellés azonnali leállítását határoztuk meg, hiszen az előzetes kísérletek alapján biztosra vehettük, hogy a felforrósodott lemezfelület nem képes a felületet visszagyújtani. Az oltást követően – annak ellenére, hogy a biztosításra telepített hab/víz monitorok a lehetőségét biztosították – nem terveztük a palást visszahűtését. Az intenzív, de nem kellően egyenletes intenzitású hűtés az anyagban feszültségeket ébreszthetett volna, ami a tartály – a hő hatásainál jelentősebb – károsodását eredményezhette volna.

A hőmérséklet csökkenés időszakában – minden eshetőségre felkészülve – az eszközeink további készenlétben tartásával biztosítottuk a tartályt.

A végrehajtás során néhány körülmény (például az oldalszél hatása) következtében az oltás folyamata nem alakult minden elemében a tervezettnak megfelelően.

A tűzoltások során, mindkét esetben – a választott oltóanyag filmképző tulajdonsága eredményeként – a szél által roncsolt, de egyszerre fel is habosított oltóhab már a habsugár teljes, tervszerű befordulása előtt megkezdte az oltást.



28. ábra: A tűzfelület alakulása a tűzoltás során; készítette: a szerző, 2015.

A 28. ábra szemlélteti, hogy a felszínen a filmréteg már a habtakaró kialakulását megelőzően szétfutott és megkezdte a takarást – ezáltal kioltotta lángokat a palásttól távolabb eső folyadékfelszínen. E terület oltása után, a visszamaradó lángoló gyűrű oltása érdekében megkezdtek a habsugár mozgatását.

A palást mentén több szakaszon már a „lábnyom” kialakítása során végrehajtotta a hab az oltást, így nem vált szükségessé a habsugárral a teljes – előzetesen meghatározott – pálya végigpásztázása.

A második tartálytűzoltás folyamatában a legkritikusabbnak az oltóeszköztől legtávolabbra eső tartályfelület, a felforrósodott paláستtal szomszédos szakaszának az oltása bizonyult.

Néhány másodperccel hosszabb időt igényelt, amire a felszínen kialakult habtakaró és hab által szállított film elérte ezt a lángzónát. Ezzel együtt egyértelműen beigazolódott, hogy nem szükséges a teljes felszínre a hablövélés lehetőségét biztosítani, a szétterülő habtakaró oltóhatása még a távolinak bizonyuló felszínen is megfelelő.

Az első oltásnál a kisebb sebességű – de ennek ellenére erős – kevésbé kedvezőtlen irányú oldalszél következtében a habot az ágyú képes volt a teljes felületre belőni, így ott még ez a néhány másodperces időtöbblet sem jelentkezett.

3.1.5. Mérések – adatrögzítés

Az egyedülálló, valós tartályon végrehajtott teljes felületű tartálytűzoltási kísérleteket lefolyását különféle eszközök alkalmazásával igyekeztünk megfigyelni, rögzíteni és dokumentálni.

3.1.5.1. A kísérletek rögzítése

A kísérletek lefolyását különböző irányokból 7 videokamerával rögzítettük. A kamerák közül kettő emelőkosaras gépjárművek kosarából, felszín feletti pozícióból készített felvételeket. Két hőkamerával folyamatosan, további kettővel pillanatfelvételszerűen, szakaszosan rögzítettük a lángtér infravörös sugárzását.



29. ábra: Pillanatfelvételek az infravörös kamera által rögzített filmből;
készítette a szerző 2014.

Mindkét kísérletet írásos formában, valamint fényképfelvételekkel is dokumentáltuk.

3.1.5.2. Hőmérsékletmérés

Az égő tartályon, valamint környezetében összesen termoelemeket helyeztünk el, az érzékelők adatait folyamatosan digitálisan rögzítettük.

A szenzorokat az alábbiak szerint helyeztünk el:

- A. A láng hőmérsékletének mérésére a palásttető magasságában, a folyadékfelszín fölé 0,4-0,5 méterre benyúlva,
- B. 0,1 méterrel a folyadékfelszín felett mértük a lángtér hőmérsékletét, melyhez az érzékelőket a folyadékfelszín alatt rögzítettük,
- C. A lángoló tartály legfelső palást-szakaszának hőmérséklet alakulását,
- D. A szélirányba eső szomszédos tartály palástjának kísérleti tűzhöz legközelebb eső felső pontján,
- E. Talajszinten, a védőögdrót határoló földsánc koronáján.

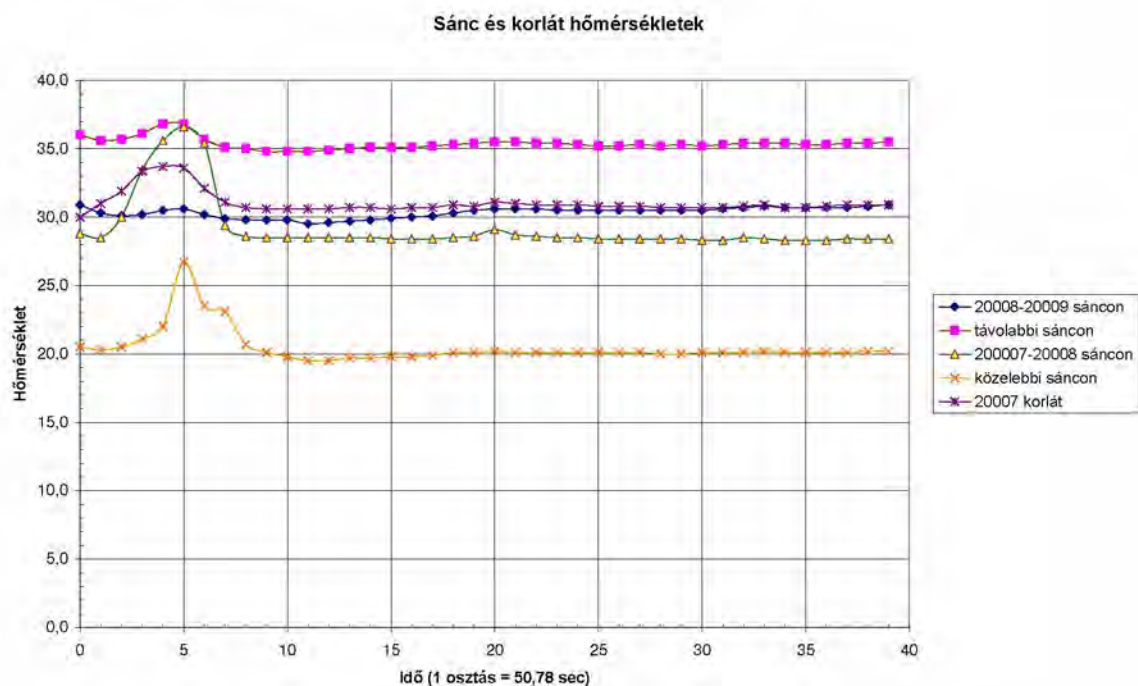
Az égő tartályra elhelyezett érzékelőket tűzálló kábellel szereltük, és különféle megoldásokkal védtük a közvetlen lánghatástól. A két kísérlet során eltérő érzékelő kiosztást alkalmaztunk. A gondos előkészítés ellenére mindkét kísérlet során több mérési pontról megszakadt az adatszolgáltatás, többnyire az érzékelők kimozdulása, az adatkapcsolat kiesése, vagy a termoelemek beázása miatt.

Az érzékelőket az alábbiak szerint telepítettük, elhelyezésüket a 4. melléklet szemlélteti.

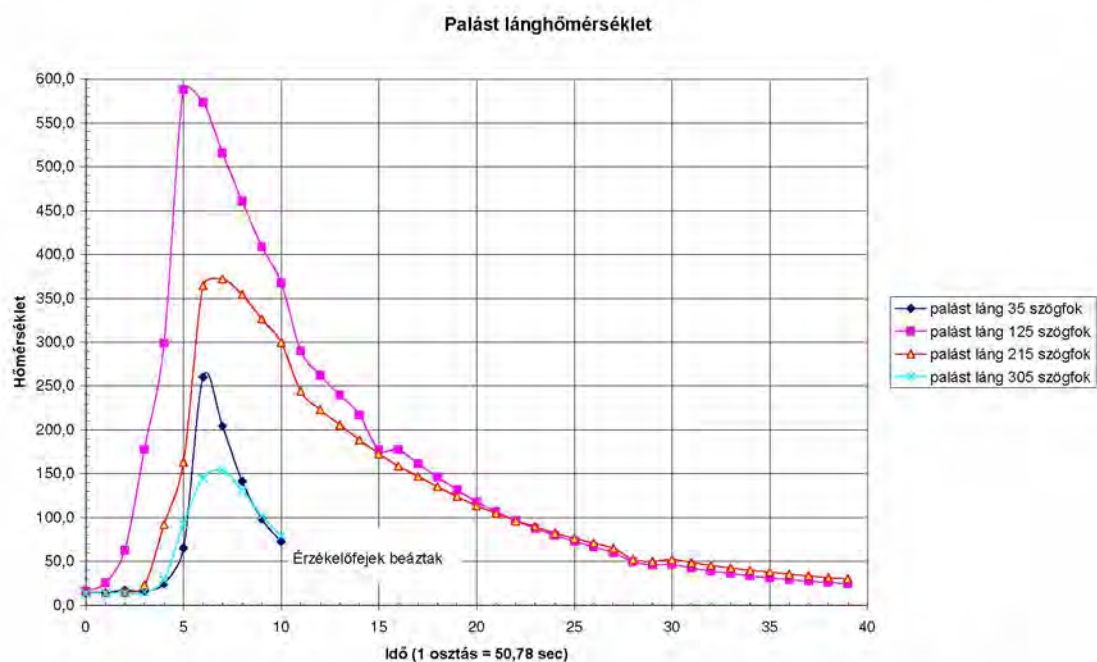
- A. A tartálypalást mentén végrehajtott lánghőmérséklet mérés érzékelőinek elektromos fejegységét a palást felső merevítéséhez rögzített acéllemez „pajzzsal” védtük a közvetlen lánghatástól. E kialakításnak köszönhetően ezek az érzékelők a kísérlet teljes időtartama alatt megfelelően működtek és adatokat szolgáltatottak.
- B. Az éghető folyadékfelszín feletti – láng – hőmérséklet mérése számos különleges megoldást tett szükségessé:
 - Az érzékelőket a tartályon át, keresztben kifeszített kötéltől rögzítettük, ezzel biztosítva a megfelelő pozíciójukat.
 - A tartókötel és az érzékelők lánghatástól védelmet igénylő része a tartályba töltött folyadék szintje alatt kapott helyet, a folyadékból csak a termoelem mérőpalcája emelkedett ki.

- A termoelemek függőleges pozícióját a második kísérlet során levegővel töltött „úszókkal” és az érzékelőhöz rögzített „tőkesúlyokkal” biztosítottuk. Az úszók hozzájárultak a kötél, a rá rögzített mérőeszközök és vezetékek súlyának ellensúlyozásához is.
- Az első kísérlet során ezen kiegészítő megoldást még nem alkalmaztunk, így a tűz, valamint az oltást végző habsugár hatására az érzékelők elmozdultak, így értékelhető mérési eredményt csak a második kísérlet során kaptunk.
- Különleges feladatot jelentett az érzékelőktől a folyadékfelszín alatt húzódó adatkábelek elvezetése az adatrögzítő egységig.
- A zárt, ipari vízzel teljesen feltöltött tartály szerkezeti átalakítására nem volt lehetőség, így kizárólag a felső, a kísérlet során lángoló felszínen át volt módunk a vezetékek kivezetésére. Ezt a problémát az alábbiak szerint oldottuk meg:
 - Fordított „U” alakú, 50 mm átmérőjű védőcsövet készítettünk, amit a tartálypalást tetejére rögzítettünk.
 - A védőcső tartályon belülről eső szára körülbelül 20-25 centiméterrel a folyadékfelszín alatt ért véget, míg a tartályon kívül húzódó ága mintegy 80-90 centiméterrel hosszabb volt.
 - Ebben a védőcsőben vezettük ki a tartályból a belső láng hőmérséklet mérés adatvezetéseit.
 - Közvetlenül a kísérlet megkezdését megelőzően – a tartályban lévő folyadék hidrosztatikai nyomását kihasználva – megindítottuk az éghető folyadék alatti ipari víz kiáramlását a védőcsövön át. Az áramló folyadék folyamatos hűtést biztosított a védőcsőnek és a kábeleknek, ezzel megfelelő védelmet biztosítva.
- C. A tartálypalást hőmérsékletét a lemezfelület külső oldalára rögzített termoelemekkel mértük. Szerkezeti átalakítással járó rögzítés kialakítására nem kaptunk lehetőséget, ezért szorítókat alkalmaztunk.
- D. A szélirányba eső tartály tetején elhelyezett érzékelőtől csak az első mérés során érkeztek adatok, a második kísérletnél ezzel a szenzorral nem tudtunk hőmérsékletet mérni.
- E. Az égő tartály felfogótér gátjának tetején elhelyezett érzékelők csak az első mérés során szolgáltatott adatot, a májusi kísérletnél – az előző pontban rögzítetthez hasonlóan – ezen érzékelőkkel nem tudtunk hőmérsékletet mérni.

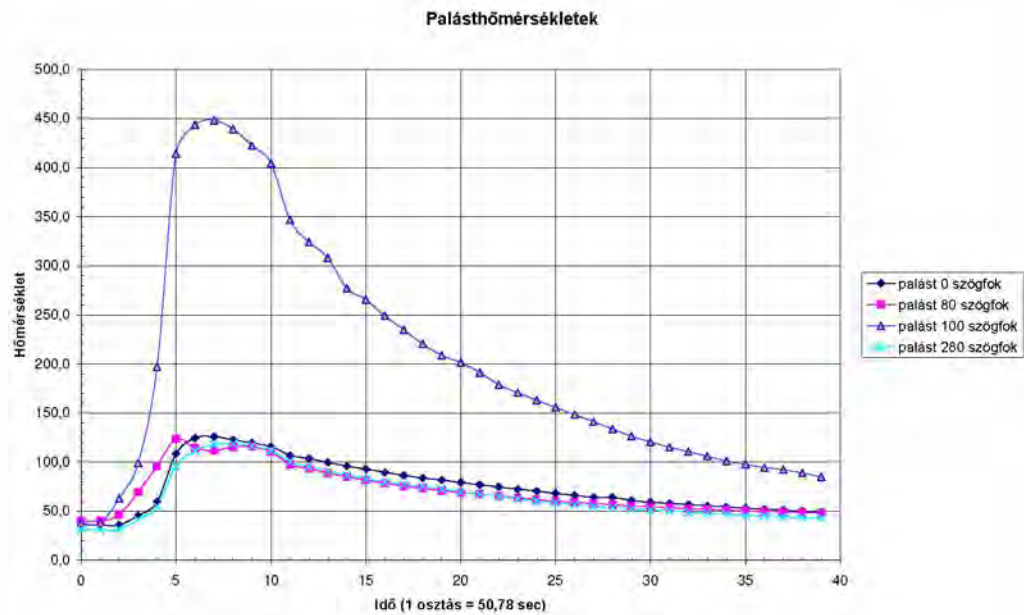
A hőmérsékletmérési eredményeket az alábbi ábrák mutatják be.



30. ábra: Hőmérsékleti adatok a földsánc koronáján és a szélirányba eső (20007. jelű) tartály körjárda korlátján



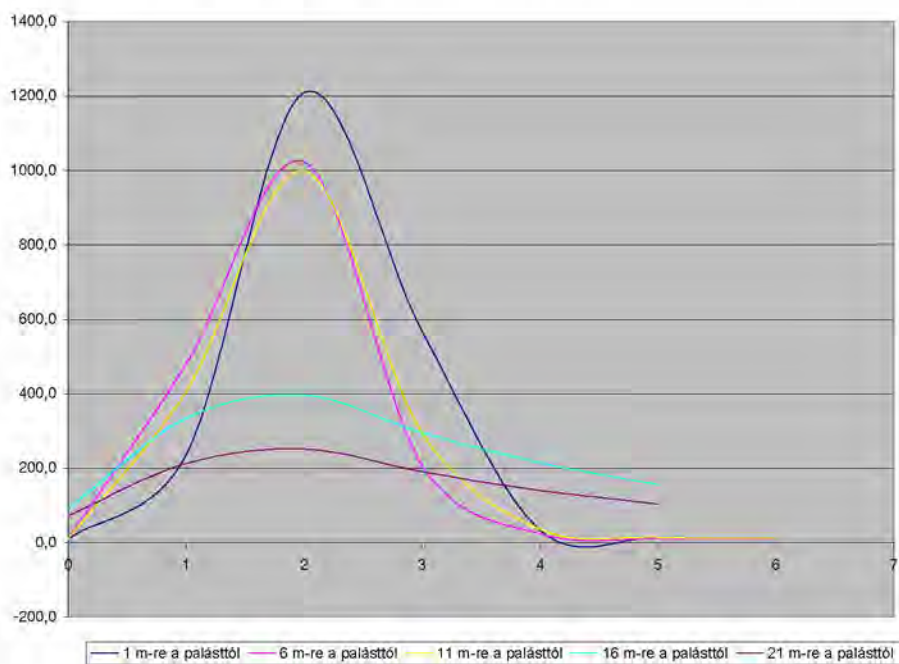
31. ábra: A lánghőmérséklet alakulása a tartálpalást felső pereménél



32. ábra: A tartálpalást hőmérsékletének alakulása

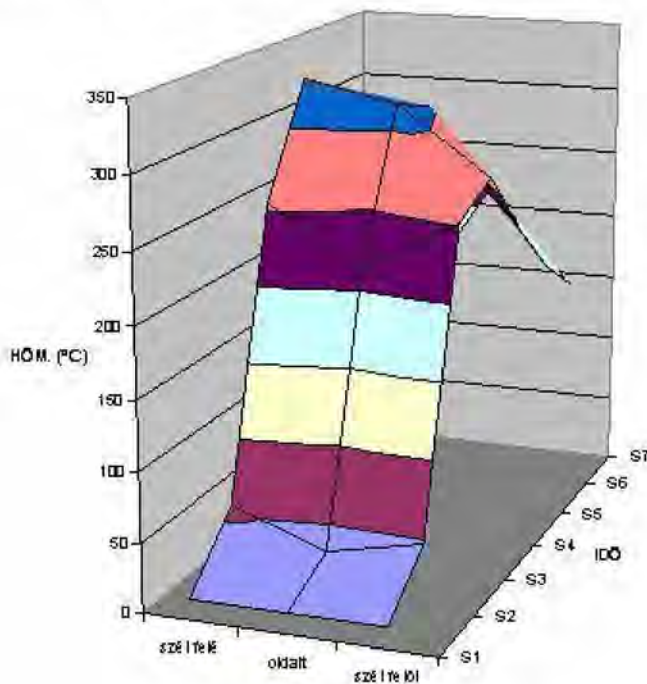
Hőmérsékletméréseket végeztünk a lángtérben, közvetlenül a folyadékfelszín felett. A 33. ábra a folyadékfelszín felett mért lánghőmérsékleti adatok alakulását mutatja az idő függvényében a 2005. május 19-i kísérlet során. Megállapítható, hogy a legmagasabb érték a palást mentén alakult ki, a felület közepén folyamatosan alacsonyabb volt lánghőmérséklet.

A mért értékek igazolták az új tűzoltási mód helyességét, miszerint az oltás első szakaszában a habsugárnak a felszín „hűvösebb” közepére kell irányulnia, létrehozva a habtakaró kialakításához szükséges „lábnyomot”.



33. ábra: A lánghőmérséklet alakulása a folyadékfelszín felett

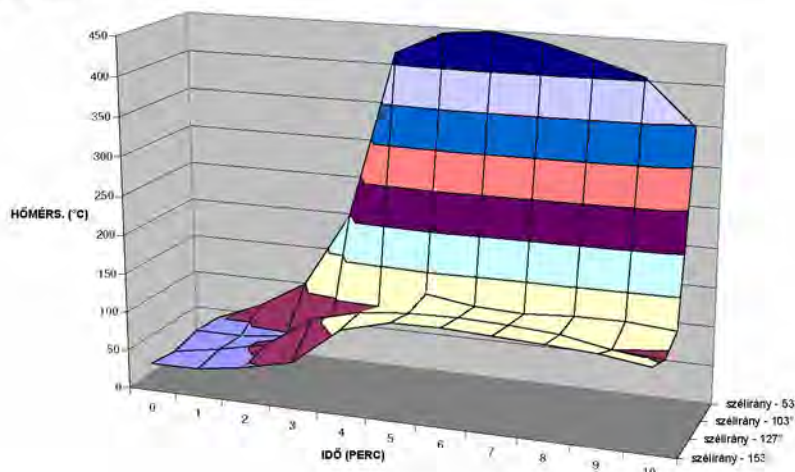
A 34. ábra a palást felső élének magasságában mért lánghőmérsékleti adatok alakulását mutatja.



34. ábra: A lánghőmérséklet alakulása a tartálytető magasságában, szélirányban; valamint a szél felé és oldalt eső szakaszokon

A palásthőmérséklet értékei folyamatosan – az erős szél hatásának megfelelően – szélirányban bizonyultak a legmagasabbnak, amit a 32. és a 35. ábrák is jól szemléltetnek.

A mérések megerősítették, hogy – ahogy már korábban is feltételeztük – a palást szélirányban eső szakasza sokkal nagyobb hőterhelésnek van kitéve, mint a palást más, a szél által hűtött és a lángok által kevésbé hevített szakaszai. Meglepetést okozott azonban a palást különböző pontjai közötti jelentős hőmérsékletkülönbség, (például azonos időpontban $448,5^{\circ}\text{C}$ volt szélirányban és $118,8^{\circ}\text{C}$ a szél felőli oldalon), valamint a hőmérsékletemelkedés nagy sebessége a legmelegebb palástszakaszon. Ez az acélszerkezet alig öt perces szabadégést követően elérte az 500°C közeli hőmérsékletet, amit a maradandó szerkezetkárosodás kezdeti értékeként szoktak meghatározni.



35. ábra: A tartálypalást hőmérsékletének alakulása a szélirány és az idő függvényében

3.1.5.3. Hősugárzás mérés

A második kísérlet során Dr. Hiroshi Kosekivel, a Japán Nemzeti Tűz és Katasztrófa Kutató Intézet (NRIFD⁴⁴) tudósával együttműködve vizsgáltuk a szél hatását a külső hősugárzás mértékére. A mérések részletes dokumentációja megtalálható az NRIFD-nél.

A szomszédos tartályokra 2-2 db hősugárzásmérő műszert telepítettünk, mely műszerek a teljes felületű tartálytűz hősugárzás értékének alakulását rögzítették.

A hősugárzást négy RE-3 (Tokyo Seiko Co.) típusú nagylátószögű sugárzásmérővel mértük, az érzékelők műszaki jellemzőit a 13. táblázat tartalmazza. Az érzékelők kalibrációját „fekete testhőforrással” a tokiói NRIFD-ben végezték.

Érzékelő	Sorba kapcsolt hőelemek platina bevonattal
Térszög	120°
Fűtőfelület	100 mm ²
Időállandó	0.30 second

13. táblázat: Az RE-3 típusú érzékelő műszaki jellemzői, készítette a szerző 2014.

A szomszédos 20.007 és 20.009 számú tartályokra 2-2 db hősugárzásmérő műszert telepítettünk: a talajszinten, valamint a tartálypalást magasságában a körjárdán. A műszerek szélirányból (20.009), valamint szélirányba (20.007) elhelyezve végeztek hősugárzásméréseket. A mérési adatok 5 másodpercenként kerültek számítógépen rögzítésre.

A hősugárzásmérés eredményét a 36. ábra és a 37. ábra szemlélteti. A felhasznált gyújtáskönnyítő benzín ellenére a lángolás 85 másodperc alatt terjedt ki a teljes felszínre. A hősugárzás érték a szélirányba eső tartállynál 105, míg a másik irányba eső érzékelők esetén 110 másodperccel a gyújtás után érte el a maximumát, a tűzoltás megkezdésére a 150. másodpercben került sor.

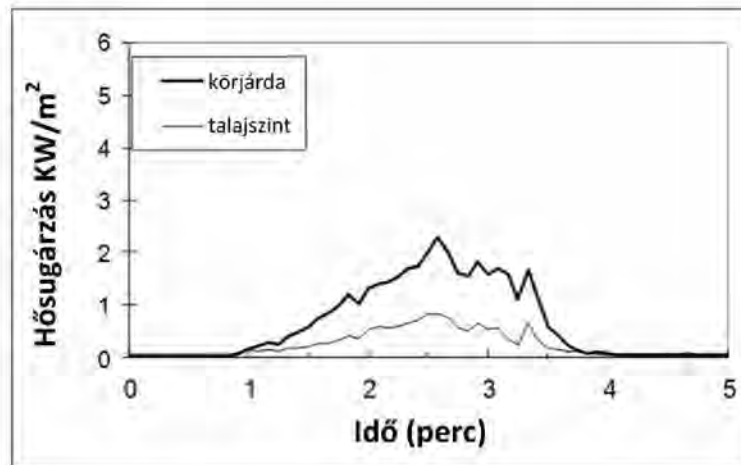
A tartálytetőn (körjárdán) elhelyezett érzékelők által mért hősugárzás érték mindkét szomszédos tartály esetében hozzávetőlegesen háromszorosa volt a talajszinten, azonos tartály talpazatánál elhelyezett hősugárzásmérők által rögzített értéknek. Ezt az eredményt, térbeli lángmodellt (solid flame model [96] [97]) alkalmazva, a két mérőpont különböző elhelyezkedése magyarázza. A mérőeszközök lánghoz viszonyított elhelyezkedését jellemző szögtényező (angle factor vagy view factor) a teljes lángtér figyelésével, bonyolult számításokkal határozható meg. Esetünkben e tényező értéke

- a láng és a szomszédos tartálytető között 0,15, míg
- a szomszédos tartályok talpazatánál talajszinten 0,05,

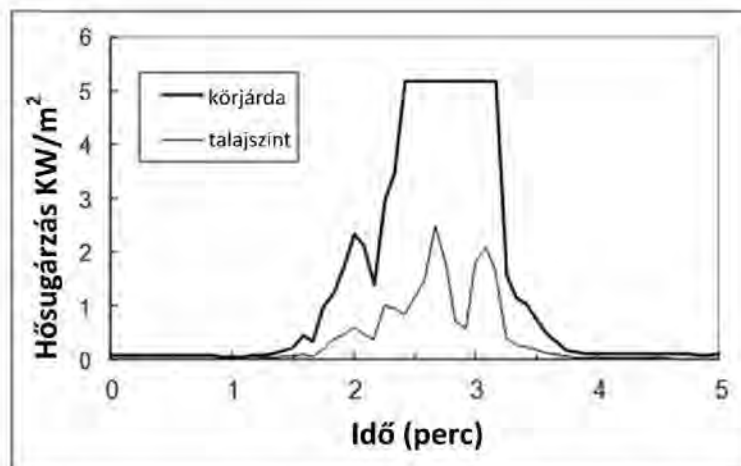
figyelmet kívül hagyva a szél hatását.

⁴⁴National Research Institute of Fire and Disaster (NRIFD), Japan

Látható, hogy a mért hőszugárzás értékek közötti eltérés a mérési szögek eltérésére vezethető vissza.



36. ábra: A láng hőszugárzása a szél felőli (20.009. számú) tartályon [35]



37. ábra: A láng hőszugárzása a széliránnyal ellentétes (20.007. számú) tartályon [35]

A kísérleti helyszíntől észak-nyugati irányba eső 20.009 számú tartályon mért hőszugárzás érték alacsonyabb volt, mint a dél-keletre elhelyezkedő 20.007-es tartályon rögzített adatok, mivel a szél következtében a lángtér a 20.007-es tartály irányába hajolt el. A hőszugárzás mérési adatok lehetővé tették a szél hatásának vizsgálatát, a mérési eredményeket a 15. táblázat tartalmazza. A tartálytetőkön mért értékek 105 másodperccel a mérés megkezdését követően azonosak.

Ezt megelőzően a széloldali érzékelők magasabb hőszugárzás értéket rögzítettek, mint a szél alatti oldalra telepítettek. 105 másodperc után ez az arány megfordult, és szélirányban nagyobb sebességgel emelkedett a hőszugárzás értéke, mint a szél felé eső oldalon.

Ezen mérési eredmények háttérében a tartálygyújtás módja áll: a gyújtásra a tartály északnyugati palástja mellett került sor, majd innen – a szél hatásának is köszönhetően – terjedt tovább a lángolás a teljes felszínre. A teljes felület lángolásakor, a mérés megkezdését követő 135. másodpercben a szélirányba eső 20.007 számú tartályon a szél felől elhelyezkedő 20.009-esen mért értékek kétszeresét rögzítettük.

A mérés megkezdésétől számított idő (s)		t= 105 (s)	t= 135
Széloldali érzékelők	Tartálytető	1.0	1.56
	Talajszint	0.34	0.61
Szél alatti érzékelők	Tartálytető	1.0	3.1
	Talajszint	0.24	1.1

14. táblázat: A mért hősugárzás értékek (mértékegység: kW/m²); készítette a szerző, 2015.

3.1.5.4. A lángtér infravörös megfigyelése, a lángzóna alakja

A második, május 19-én végrehajtott kísérlet során a NRIFD által rendelkezésre bocsátott infravörös kamerával felvételeket készítettünk, mely felvételek részletei a NRIFD-nél tekinthetők meg. A tartálytűz lángterének hőképét IWS–100 (Nippon Avionics Co.) típusú infravörös (IR) kamerával rögzítettük. A műszer a Stefan–Boltzmann törvény alapján teszi érzékelhetővé a vizsgálat tárgyának hőmérsékletét az IR felvételen. Az eszköz műszaki jellemzőit a 16. táblázat szemlélteti.

Érzékelő	In–Sb (Indium–Antimonide)
Érzékelő hűtés	Elektromos
Időállandó	< 0.1 second
Színkép tartomány	3–5.4 μm
Látómező	15° × 20°
Kijelző felbontás	120×160
Hőmérséklet tartomány	–30 to 920°C
Legkisebb érzékelési hőmérséklet	0.2°C

15. táblázat: Az IWS–100 infravörös kamera műszaki jellemzői; készítette a szerző, 2014.

A kimeneti adatok kalibrációjára fekete-test forrással kerül sor. A kamera a lángoló tartálytól 170 méteres távolságban, a felszínnel azonos magasságban került elhelyezésre. A kísérlet során 10-15 felvétel került rögzítésre másodpercenként.

A lángot az erős oldalszél erősen megdöntötte, a lángtér legnagyobb részét sötét, fekete füst borította. A láng időnként a tartálytető magasságában – szinte vízszintesen – 15-20 méteres távolságokba hajlott el. A láng lüktető, pulzáló mozgása során elérte a szomszédos (20007) tartály feletti teret.

A lángtér elhajlásának aránya – a fénykép, videó és infravörös felvételek alapján – hozzávetőlegesen 42,5° és 48° között változott, miként ezt a 38. ábra is bemutatja.

A láng átlagos magassága a tartályátmérő másfélszerese volt (1,5 D).

Yumoto kutatásai értelmében a lángelhajlás mértéke a szélesség és a tartályátmérő alapján számítható [98]:

$$\tan \theta = (U^2 / D)^{0.38}$$

ahol:

U a szélesség,

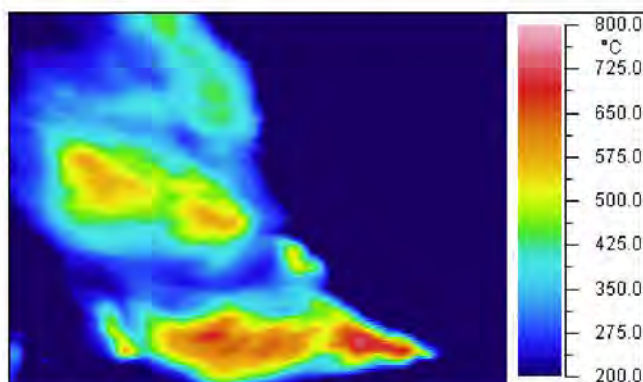
D a tartály átmérő.

Esetünkben a lángelhajlás számított értéke 39.52°.

A 38. ábra szemlélteti a kísérlet során a teljes felületű szabadégés időszakában, közvetlenül a tűzoltás megkezdése előtt tapasztaltakat. A lángelhajlás megfigyelt mértéke 42,5-48° között változott, ami kis mértékben meghaladja a számított értéket. A nagyobb mértékű lángelhajlást a kísérlet során tapasztalt, számítási alapadatot meghaladó mértékű szellőkések okozták.



38. ábra: A lángelhajlás mértéke; készítette a szerző 2015.



39. ábra: Példa IR felvétel a lángterről; készítette a szerző, 2005.

Az IR kamera felvétele lehetőséget kínál a láng hősugárzási képének megfigyelésére. Ennek érdekében a láng sugárzó képességét (fajlagos emisszióját) egynek feltételeztük, amire a lángtér nagy kiterjedése okán volt lehetőség [99].

A 39. ábra példaként egy IR felvételt szemléltet. A legnagyobb rögzített lánghőmérséklet hozzávetőlegesen 900°C volt, ami a láng 107.4 kW/m^2 (azaz $8.5 \text{ kW/m}^2\text{sr}$) mértékű hősugárzásának felel meg. Ez kis mértékben elmarad a korábban, 20 méter átmérőjű kőolajtűzek vizsgálata során végrehajtott kutatások adataitól, ahol a legnagyobb kibocsátás értéke 120 kW/m^2 volt [98].

A 40. ábra a láng-középvonal átlagos hősugárzás kibocsátásának és a – dimenzió nélküli – magasság/tartályátmérő mérőszámnak az arányát szemlélteti (H_l/D).

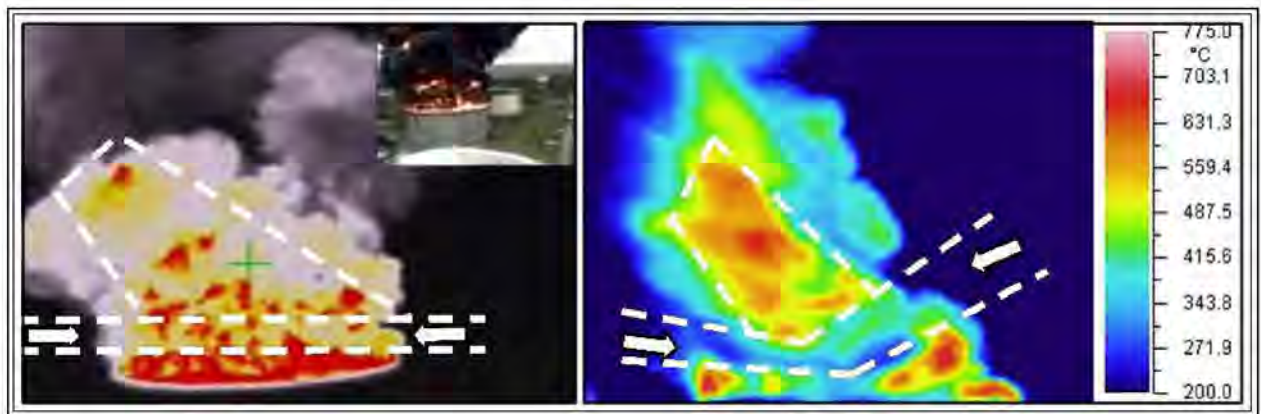
A lángtér alsó részén egy erőteljes, állandó hősugárzású zóna alakult ki, mely „láng talpazat” vastagsága körülbelül 5 méter ($0,12 D$) volt.



40. ábra: A lángtér középvonalának átlagos hősugárzás kibocsátása és a lángmagasság/tartályátmérő arányszám összefüggése [35]

A teljes hősugárzás hozzávetőlegesen 20-30 %-a ebből a zónából került kibocsátásra. Az alsó lángzónán túl, körülbelül 2,5 másodpercenként egy erős tűzgömb formájú hősugárzó zóna jött létre a láng közepén. A lángtér további részeit többnyire vastag füst réteg borította, melynek hősugárzása – a video- és az IR felvételek összevetésével – $5\text{--}20 \text{ kW/m}^2$ értékre tehető.

A tartály fölött húzódó „láng talpazat” után a legnagyobb sugárzás kibocsátás 20-30 méterrel ($0.5\text{--}0.75 D$) az alsó zóna felett alakult ki.



41. ábra: A lángtér hőmérséklete és az optimális habbejuttatási lángzóna (IR felvételek);

készítette a szerző 2009.

A habágyúval belőtt oltóhab bejuttatására a tartály felett húzódó, forró lapos réteg és a lángtér felső, forróbb – turbulens, kedvezőbb oxigén ellátású – lángzónája közötti alacsonyabb hőmérsékletű lángtér rész a legkedvezőbb. Az oltóhab két okból is ezen a rétegen keresztül – a tartálypalást felett alacsonyan irányítva – juttatható a legkisebb veszteségek árán a folyadékfelszínre. A hab így teszi meg a legrövidebb utat lángtérben. A habsugár egy alacsonyabb hőmérsékletű rétegen áthaladva jut a célterületre.

A láng felületi hősugárzásának átlagos mértéke az adatok alapján 20-30 kW/m²-re tehető. Ez az érték hozzávetőlegesen megegyezik a 30 és 50 méter átmérőjű tartályok kerozin tüzével végrehajtott korábbi kutatások [100] mérési eredményével.

3.1.6. Következtetések

A két nagyfelületű tartálytűzoltás valamint a korábban végrehajtott kísérletek során igyekeztünk átfogó képet kapni a tartálytűzek lefolyásáról és az oltás lehetőségeiről. A minél objektívabb válaszok elérése érdekében célunk a habbaloltás és tartálytűzoltás – valós körülményeket és elvárásokat a lehető leginkább megközelítő – modellezése volt.

A tűzoltási tesztek alapján a legfontosabb megállapítások:

- A kísérlet során tapasztalt lángelhajlás meglepően magas mértéke, valamint a szélirányba eső tartályon mért hőmérsékletemelkedés mértéke is a veszélyeztetettebb szomszédos tartály védelmének fontosságát mutatja. Hasonlóan erős és kedvezőtlen irányú szél esetén gondoskodni szükséges a veszélyeztetett szomszédos tartály – tömítetésének – védelméről, például a veszélyeztetett körgyűrűszakasz habtakarásával, folyamatos felügyeletével, valamint a tűzoltás előkészítésével (kézi habsugarak előszerelése, félstabil habfolyatók előszerelése a késedelem nélküli bevetés lehetőségének biztosítása érdekében, stb.).

- Mérésekkel igazoltam, hogy teljes felületű tartálytűz esetén a hősugárzás értéke. Szélirányban sokkal nagyobb, mint a szél felől. A szomszédos tartályok tetején sokkal nagyobb, mint talajszinten. A lángtér alsó részén egy erőteljes, állandó hősugárzású zóna alakult ki, mely „láng talpazat” vastagsága körülbelül 5 méter (0,12 D) volt. A teljes hősugárzás hozzávetőlegesen 20-30 %-a ebből a zónából került kibocsátásra. Az alsó lángzónán túl, körülbelül 2,5 másodpercenként egy erős tűzgömb formájú hősugárzó zóna jött létre a láng közepén. A tartály fölött húzódó „láng talpazat” után a legnagyobb sugárzás kibocsátás 20-30 méterrel (0.5-0.75 D) az alsó zóna felett alakult ki.
- A hősugárzásmérések és infravörös megfigyelések megegyeztek a korábbi – hasonlóan nagy méretű tűzfelületeken végrehajtott – kutatások eredményével.
- A kísérleteket előkészítő nagyteljesítményű vízelvételi próbák, valamint a tesztek során – a tűzcsapok előírászerű karbantartása és mosatása ellenére – az oltóvíz minőségét lerontó lerakódások feloldódását tapasztaltuk. A szokásosnál – és a tűzcsap mosatásokkal keltettnél – sokkal magasabb térfogatáram a hálózat nagyobb átmérőjű vezetékeiben is a lerakódások kimosódását, ezzel a kivehető oltóvíz minőségromlását okozta. Esetenként sáros, iszapszerű, gyakran nagyobb, szilárd állapotú hordalékot is tartalmazó folyadék lépett be az oltóeszközökbe; ez a berendezés mechanikai sérülésének és/vagy eltömődésének kockázatát okozta, valamint az iszapos szennyeződés a habképzés lehetőségét is kérdésessé tette. A hasonló problémák megelőzése érdekében a jelenlegi vízforrás felülvizsgálati gyakorlatot ki kell egészíteni rendszeresen végrehajtandó, nagy (a területen mértékadó) térfogatárammal, áramlástani tervezéssel meghatározott pontokon történő, „tisztá” oltóvíz kiáramlásig folytatott oltóvízhálózat mosatással, valamint a rendszerből (nem egyes tűzcsapokból) egyidejűleg kivehető oltóvíz mennyiségi és minőségi ellenőrzésével.
- A tűzoltások során – a mérési eredményekkel összhangban – azt tapasztaltuk, hogy az általános célú tűzoltó bevetési ruha kellő védelmet biztosított a felfogótéren kívül, illetve a földszáncon végrehajtott munkálatok során. Az alkalmazott korszerű eszközök bevetési jellemzőire figyelemmel, és a taktikai alapelvek értelmében a habágyúk telepítésére a védőgödrön kívül – esetlegesen a sánc tetején – kerülhet sor, így kiegészítő hővédelem alkalmazása általában nem szükséges.
- A tűzoltások teljes menetére igaz, hogy a habágyú mozgatásán túl az előállított nyomásérték változtatása és ez által a lövőtávolság módosítása is fontos, hatékony módszernek bizonyult. Ilyen módon nem a sugár magasba emelésével – ez által a szél és a lángzóna által roncsolt és szétszórta habmennyiséget növelve – hanem nyomáscsökkentéssel tudtuk az oltóközpont helyzetéhez közelebb eső területek lángolását megszüntetni.

- Oltási idő – oldatteljesítmény/intenzitás összefüggést valós méretű tűzoltási kísérlettel igazoltuk. A második oltásnál a tűzoltás teljesítményét a duplájára, 20.000 liter/perc értékre emeltük. Ez a kilőtt oldatmennyiség az oltási intenzitást is kétszeresére emelte, ami az első oltás 89 másodperces időtartamát 72 másodpercre szorította le – a kedvezőtlenebb körülmények (erősebb oldalirányú szél) ellenére is.
- Kísérleti úton igazoltam, hogy a korszerű, 1 %-os bekeveréssel alkalmazható habképző anyagok tűzoltási képessége eléri a korábbi, nagyobb bekeverési aránnyal bevethető oltóanyagok teljesítményét.
- Kísérleti úton igazoltam a nagyteljesítményű habágyúk alkalmazásán alapuló, tartálytűz oltásra kifejlesztett korszerű új tűzoltási taktika hatékonyságát, valamint a „mobil tartálytűzoltó központ koncepció” előnyeit és megfelelőségét.
- A nagyfelületű tűzoltások minden kétséget kizáróan igazolták a mobil oltóközpontok létjogosultságát és megfelelőségét tartálytűzoltási feladat esetén. A szükséges elemek és anyagok – oltóvíz mennyiségen kívül – mindegyikét tartalmazó, könnyen szállítható és telepíthető oltókonténer biztonsággal képes biztosítani bármely, tartályra kiterjedő tűz oltását. A kísérletek is igazolták a mobil egységbe beépített, teljes oltási teljesítményre méretezett nyomásfokozó szivattyú szükségességét.
- Méréseink igazolták, hogy feltöltött tartály esetén a legnagyobb hőterhelésnek a palást legfelső szakasza van kitéve. Ennek tükrében megállapítható, hogy a rendszerint a felső merevítő él alatt 50-80 centiméterrel kerül elhelyezett palásthűtő vízfűgöny pozíciója nem megfelelő: védelem nélkül hagyja a palást felső, a hűtő-záporoztató gyűrű feletti szakaszát, ami belülről sem védett a tárolt anyagtömeg pozitív hűtő hatásától.
Javasolom a palásthűtők lehető legmagasabb palástszakaszra történő áthelyezését, amely ilyen módon mind a palást védelmét fokozhatja, mind a forró felület visszagyújtó hatását csökkentve – a tűzoltás idejét és biztonságát javíthatja.
- A végrehajtott tesztek eredményei rámutattak, hogy az atmoszferikus tárolótartályoknál használt normalizált, hegeszthető finomszemcsés acélok néhány perces tűzhatásnak kitéve nem szenvednek szövetszerkezeti átalakulást. Ugyanakkor tény, hogy 500 °C-on a tárgyi acélok folyáshatára a szobahőmérsékleten vett értéknek csupán ~20%-át teljesítik, tehát a teherviselő képességük jelentősen csökken. Például már a teljes felületű tűzoltás során 6-8 percig tartó 500 °C-os hőmérsékleten való hőntartás során számítani kell maradó deformációra, melyet akár már a szerkezet saját tömege is előidézhethet.

- Az 500 °C-ról történő hirtelen hűtés (például oltóhabbal) szintén nem okoz szövetszerkezeti változásokat, mivel a jelen acélcsoport nem edződésre hajlamos. Ugyanakkor a hirtelen hűlés okozta zsugorodás okozhat a geometriából adódóan olyan helyi feszültség csúcsokat, ami a tartály teherviselő képességét makroszkopikus szinten csökkentheti. Ennek a meghatározása csak igen bonyolult hőfizikai modellezéssel lenne kivitelezhető, és a tartály geometriáját ismerve valószínűleg makroszkopikus szinten nem releváns jelenség.
- A nagyméretű atmoszférikus szénhidrogén tároló tartályok teljes felületű tartálytűzének tűzoltásával kapcsolatosan kísérleti úton, mérésekkel és megfigyelésekkel alátámasztva
 - bizonyítottam, hogy a hőmérséklet a tartályfelszín középső részén alacsonyabb, mint a tartálypalást mentén; a hőmérséklet a tartálypalást mentén a legmagasabb, a felület közepe irányában egyre alacsonyabb a hőmérséklet mérhető. Közvetlenül az égő folyadékfelszín felett mért hőmérséklet értékek egyértelműen igazolták azt a tézist, miszerint a lángtér belső zónájában az oxigénhiányos körülmények következtében kisebb az égés intenzitása, így a láng és a folyadék hőmérséklete alacsonyabb.
 - meghatároztam a habágyúval történő teljes felületű tartálytűzoltás során az oltóhab belövésének legkedvezőbb módját: az oltóanyagot az égő folyadékfelület középső részére a legcélravezetőbb juttatni, így biztosítható a felszínen szétterülő hab legkisebb roncsolódása.
- A kísérletek alapján meghatároztam a habágyúval belőtt oltóhab bejuttatásának legkedvezőbb területét, ami a tartály felett húzódó, forró lapos „láng talpazat” és a lángtér felső, forróbb lángzónája közötti alacsonyabb hőmérsékletű lángtér rész. Az oltóhab belövése ezen a rétegen keresztül, a tartálypalást felett alacsonyan irányítva juttatható legkisebb veszteségek árán a folyadékfelszínre.
- Figyelemmel a hab károsodásának csökkentésére, megfelelő mértékben „nyitott” habsugárral friss levegő is bejuthat az intenzív égés miatt egyébként oxigénhiányos terekbe. Ez a lángolást erősítő hatás azonban nem jelentős az oltás folyamatában.
- A szétterülő hab a forró fémfelületekkel érintkezve rendkívüli mértékben roncsolódik. Ennek következtében a bejuttatási helytől távol eső, ez által a habsugár által nem hűtött fémfelületek mentén a tűzoltás elhúzódhat. (Mobil eszközök ilyen forró felületekre célzott irányításával ennek hatása csökkenthető.)

- Biztosítani kell a habsugár „kíméletes” tűzfelszínre juttatását, elkerülendő az oltóanyag megfűrdését, ami a hab megsemmisülését és a „slop-over” jelenség kialakulását okozhatja. A megmerült hab a felszínén magával ragadhatja az égő anyag vékony rétegét, a habfelszínen is tüzet okozva. Ennek érdekében:
 - Kerülni kell a túlságosan nagy sebességgel, túlságosan kötött sugárként történő hablövellést.
 - Biztosítanunk kell a lehető legnagyobb habkiadósságú oltóhab alkalmazását, a megmerülés csökkentése, valamint a sugárban áramló külső habréteg hővédő képességének növelése érdekében.
 - Lehetőség szerint a hablövellést, vagy folytatást a felfogótért határoló falra, a tartályra, vagy más szerkezetre irányítva, ütköztetve-folyatva kell szétteríteni.
- Meghatároztam a „mobil tartálytűzoltó központ” továbbfejlesztésének irányát: a berendezéshez kapcsolódó habágyú szabadon – nem kizárólag járműközlekedésre alkalmas területen történő – telepíthetőségének megvalósításával az egység általános alkalmazhatósága javítható és optimalizálható. Ez különösen a közlekedési felületek előnytelen elhelyezkedése, valamint kedvezőtlen időjárási körülmények (szélirány és szélereősség) esetén kiemelkedő jelentőségű.

3.2. Tömítérés (körgyűrű) tüzek mobil tűzoltásának kutatása: Valós méretű körgyűrű tűzoltási kísérletek

Dolgozatom első fejezetében a leggyakrabban előforduló tartálytűz típusként azonosítottam a nyitott úszótetős tartályok tömítérés tüzeit, így a körgyűrű tüzek tűzoltásának fejlesztése a szakterület legtöbb gyakorlati eredménnyel kecsegtető kutatási területeinek egyike. Ahogy azt bemutattam, e tűztípus eloltására általában felső habbevezetésű beépített stabil vagy félstabil habbaloltó rendszert építenek ki.

A rendszer szükséges összesített teljesítményét és a habfolyatók számát a vonatkozó szabályozók alapján határozzák meg, hazánkban az MSZ EN 13565-2:2009 számú szabvány előírásait kell alkalmazni. Ennek értelmében a körgyűrűtűz oltására tervezett stabil és félstabil habbaloltó rendszerek esetén:

- A habfolyatókat egyenletesen kell elosztani a tartály kerülete mentén.
- A habfolyatók közötti – kerület mentén mért – távolság nem haladhatja meg a 26 métert.
- Habgáttal ellátott úszótetős tartályok esetén legalább 2 db habfolyatót kell beépíteni.

- A szükséges haboldat teljesítmény (oldatintenzitás) meghatározása során,
 - az alkalmazott habképzőanyag tűzoltási osztályától (EN 1568-3 szerint) és
 - az éghető anyag típusától (vízben oldódó vagy vízben nem oldódó éghető anyag) függően 12 és 36 liter/perc négyzetméterenkénti adagolási intenzitást kell figyelembe venni.
- Az oltási idő 20 perc.

A habbevezetési pontok 26 méteres legnagyobb beépítési távolsága, valamint a szükséges haboldat teljesítmény alapján könnyen belátható, hogy körgyűrűtűz esetén akár egy-egy működésképtelen, vagy nem elég hatásos működésű habfolyató a tűzoltás megghiúsulásához vezethet. A munkám során tapasztaltak a gyakorlatban is igazolták ezt a kockázatot az általam irányított főfoglalkozású létesítményi tűzoltóság által védett létesítményben üzemelő tartályok félstabil habfolyató rendszerein.

- 1997. augusztus 15-én villámcsapás következtében kigyulladt a Dunai Finomító 40.002 számú vegyipari benzin tartályának körgyűrűje. A tűzoltás érdekében a tartály 9 db félstabil habfolyatójának működtetésére, valamint emelőkosárból habágyú bevetésére került sor, azonban ezzel a módszerrel hosszú működtetési idővel sem sikerült a lángolást a teljes tömítőrés felületen megszüntetni. A tűzoltás sikere érdekében fel kellett hatolni a körjárdára és kézi habsugarak bevetésével került sor a végleges tűzoltásra.
- 1998. július 28-án tűzveszéllyel járó munkavégzés során kigyulladt a létesítmény 40.001 jelű tartályának körgyűrűje. A köolajjal töltött tartály tömítőrés tüzeinek eloltása a félstabil habfolyatók mellett a tartály körjárdán működtetett kézi habsugarakkal volt biztosítható. E két tűzoltási mód egyidejű – párhuzamos – alkalmazását a beavatkozás megkezdésekor, késedelem nélkül elrendelte a tűzoltásvezető, ami gyors és hatékony tűzoltást eredményezett. A kézi körgyűrűtűz oltást is alkalmazó taktika helyes megválasztása eredményeként a tűzoltás 20 perc alatt végrehajtásra került, szemben az előző tüzeset másfél órát meghaladó oltási idejével.

Ezzel összefüggésben „csupán” 3.000 liter habképzőanyag került felhasználásra, míg 1997-ben 27.000 liter felhasználása volt szükséges. (Mindkét alkalommal 6 %-os bekeveréssel alkalmazható habanyag került felhasználásra.) [101] A gyorsabb és költséghatékonyabb tűzoltásban meghatározó szerepe volt a kézi habsugár bevetésére történő késedelem nélküli tűzoltásvezetői intézkedésnek.

- A vonatkozó előírásoknak megfelelően karbantartott és felülvizsgált habrendszer „hideg tesztje” (tűz nélküli működési próba) során, már a tartály egyetlen habfolyatójának üzemképtelensége esetén a működő egységek által bevezetett oltóhab nem, vagy csak nagyon lassan zárt össze és alakította ki a teljes körgyűrű-felületen tűzoltást biztosítani képes habgyűrűt.

A fenti példákból látható, hogy a beépített habbaloltó rendszer önállóan nem képes kellő biztonsággal garantálni a körgyűrűtüzek eloltását. Ezt támasztja alá az MSZ EN 13565-2:2009 számú szabvány előírása is, amely a nyitott úszótetős tartályok tömítőrés tüzeinek oltására (de csak kiegészítő eszközként!) 2 db 200 liter/perc teljesítményű habsugár 30 percen át történő működtetésével számol. Ugyanakkor ez az előírás azt is rögzíti, hogy habágyúk alkalmazása nem vehető figyelembe ennél a tűztípusnál – kivéve, ha független, igazolt tesztek igazolták annak megfelelőségét és hatékonyságát.

Más ajánlások is hasonló megállapítást tesznek: körgyűrű tüzeknél elsődleges beavatkozó módszerként kerülni kell a habágyúk alkalmazását, mivel azokkal rendszerint nem biztosítható az oltóhab hatékony célterületre (tartálypalást és habgát közötti gyűrűre) juttatása. Nagy teljesítményű ágyúk alkalmazása különösen kerülendő, mivel az úszótető megbillenését, vagy elsüllyedését okozhatják. [102]

Kutatási célkitűzésemmel összhangban célként fogalmaztam meg a körgyűrűtüzek mobil eszközökkel történő eloltásának vizsgálatát. Hipotézisem szerint kizárólag szállítható és mozgatható felszerelésekkel, valamint tűzoltók bevetésével biztonságosan és hatékonyan oltható el a nyitott úszótetős tartályok körgyűrű tüze. Célul tűztem ki továbbá az ehhez szükséges peremfeltételek meghatározását és eljárásrend alapjainak lefektetését.

3.2.1. A helyszín és kísérleti körülmények

A kísérletek szempontjából a tűzoltási feladatot a helyszín jellemzői, valamint az éghető anyag felhasználás módja meghatározó jelentőségű. A kísérleteket kismértékben különböző időjárási körülmények között hajtottuk végre, azonban az eredményekre nem voltak hatással a változó körülmények.

3.2.1.1. A tartály és környezete

A Dunai Finomító tartályparkjában a 20012 számú tartály állt rendelkezésre a tömítőrés-tűzoltási kísérletekhez. A tartály főbb jellemzői megegyeznek a teljes felületű tartálytűzoltás kísérleteinek helyszínéül szolgáló 20008-as tartályéval (3.1.1.1 fejezet): Névleges tartálytérfogat: 20.000 m³; átmérő: 41,5 méter; tartály alapterülete: 1352 m²; magasság: 16 méter.

A körgyűrűtűz oltási kísérletsorozat szempontjából meghatározó további adatok:

- Tartály kerülete (a körjárda hossza): 130,3 m;
- Körgyűrű tűzfelület: 190 m²;
- Az úszótető és a tartálpalást közötti felület: kb. 40 m²;
- Úszótető helyzet: 60 centiméterrel a palásttető alatt.

A revízióra leürített és kitisztított tartályt a kívánt szintmagasságig ipari vízzel töltötték fel. A tartály tömítőréseinek zárószerkezetét a kísérleteket megelőzően eltávolították.

A tartály két feljáróval rendelkezett: egy lépcsővel és egy hágcsóval. A palást felső éle alatt korláttal ellátott körjárda húzódott körbe.



24. fénykép: A kísérleti tartály tömítőrése

Forrás: FER tűzoltóság 2015.

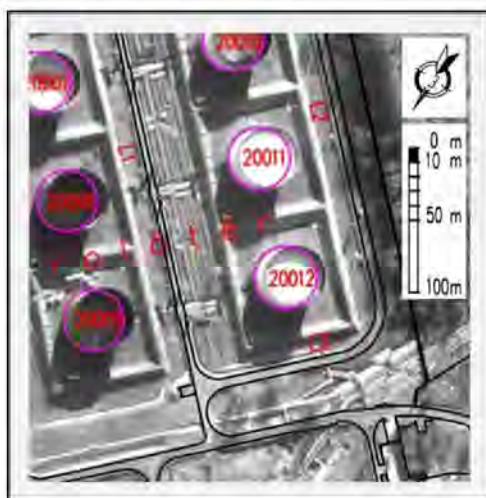
Az előkészítő elemzés és tűz nélküli gyakorlatok alapján az úszótető legfelső helyzetét választottuk ki a tűzoltási kísérletekre, mivel ez az állapot tekinthető a kézi sugarakkal történő tűzoltás szempontjából a legnehezebbnek.

- Alacsonyabb úszótető pozíció esetén a palásthűtő rendszer hatékonyan hűti a tűz által melegített lemezfelületet, azonban feltöltött tartály esetén a hűtőgyűrű feletti tartályfal nem kap megfelelő vízhűtést.
- Az úszótető kiválasztott – felső – helyzetében a körjárdán dolgozó beavatkozási létszám közvetlenül a lángoló tömítőrés, és a felforrósodott tartálpalást mellett végzi feladatát. Alacsonyabb elhelyezkedésű körgyűrűtűz esetén csupán a felhatolás során kell a tűz által közvetlenül melegített – palásthűtővel hűtött – lemezfelület mellett tevékenykedni, és közvetlen lánghatás nem éri a beavatkozókat.

- Teljesen feltöltött tartályállapot esetén a körjárdára felhatolók érkezési pontja és a körjárda teljes területe közvetlen lánghatásnak van kitéve, mely nehezítő hatás alacsonyabban elhelyezkedő tűz esetén kevésbé, vagy egyáltalán nem jelentkezik.

A felfogóteret határoló földsáncot a felújítási munkálatok érdekében az L2 út délnyugati szakaszával párhuzamosan részben átvágták és ideiglenesen behajtást biztosítottak a védőgödörbe. A kísérletek előkészítését és végrehajtását ez megkönnyítette.

A tartály a körgyűrűtűz oltására 4 db 500 liter percenkénti oldatteljesítményű félstabil habfolyatóval rendelkezik, melyek használatára a tesztek során nem került sor. A tartály elhelyezkedését a 42. ábra és a 24. fénykép szemlélteti.



42. ábra: A körgyűrű-tűzoltási kísérletek
helyszín

Készítette: szerző 2015.

A kísérletek idején a szomszédos – 40 méteres távolságban elhelyezkedő – 20.011-es számú tartályban kőolajat tároltak.

3.2.1.2. A felhasznált éghető folyadék

A 3.2.2 fejezetben bemutatásra kerülő kifestő előkészítő modellkísérletek eredményére figyelemmel gázolaj és benzin üzemanyagok együttes használatára került sor. A felhasznált gázolaj a gépjárművek hajtóanyagaként alkalmazott üzemanyagnál kissé nehezebb, finomítói félkész termék volt.

A gázolaj mennyiségét az előkészítő tesztek alapján az alábbiak szerint határoztam meg:

- Az első kísérletet megelőzően 2.000 liter gázolajat töltöttünk a tartály tömítős felületére,
- Az üzemanyag mennyiségét minden kísérletet megelőzően ellenőriztük,
- Utántöltésre 5 cm-nél kisebb rétegvastagság esetén került sor.

A felület begyűjtését elősegítendő középbenzint használtunk, gyújtásonként 80 literes mennyiségben. A modellkísérletek alapján megállapítható volt, hogy figyelemmel a forró lemezfelület visszagyújtó hatására, a benzin alkalmazása nehezítő körülményt is jelentett. Az üzemanyagot a körjárdáról és az úszótetőről két gázfáklyával, a körgyűrű mentén két irányban körbehaladva, több pontban gyűjtöttuk meg.

3.2.2. A körgyűrű tűzoltási kísérletek előkészítése

A tűzoltási kísérleteket megelőző, előkészítő szakasz tevékenysége – a feltételek megteremtésén túl – elsősorban két körülményre irányult: pontosabban meg kívántam ismerni a tűz várható hatásait, valamint ki kellett alakítani az optimális beavatkozási folyamatot, és fel kellett készíteni az abban résztvevőket a feladatra.

3.2.2.1. Tűzoltástaktikai előkészítés

A nyitott úszótetős tartály teljes tömítőrés tűzének eloltása mobil eszközökkel, a tartályra felhatolva, a lángolást megközelítve lehetséges. A felhatolási (lépcsők és/vagy hágcsók) és a közlekedési (körjárda, kezelőjárdák) lehetőségek korlátozottsága behatárolja a beavatkozók lehetőségeit, egyben fokozza a feladat bonyolultságát.

Kisebb átmérőjű tartályok esetén a felhatolást követően az oltósugár helyének megváltoztatása nélkül, egyetlen habsugárral biztosítható a tűzoltás. Nagyobb tartályok esetén a feladat összetettségét fokozza az oltóeszköz elkerülhetetlen és szinte folyamatos áthelyezésének, valamint a tömlővezetékek hosszabbításának szükségessége. Ezen körülményeket is számba véve határoztam meg a körgyűrűtűz mobil oltásának kutatására irányuló vizsgálataimat, melynek középpontjában valós méretű tűzoltási próbák álltak.

A tartályon végrehajtott tűzoltási kísérleteket megelőzően részletesen kidolgoztam a tűzoltás végrehajtásának folyamatát és lépéseit, meghatároztam a szükséges eszközöket és tűzoltó létszámot, a beavatkozásban résztvevők feladatát, valamint a tűzoltás szervezésének és irányításának módját.

Az előzetesen meghatározott beavatkozási feladatsor végrehajtását nagyszámú „száraz” (oltóanyag használat nélkül végrehajtott) gyakorlat során sajátította el a létesítményi tűzoltóság – szinte teljes – személyi állománya. Ezt követően vizes „hideg” próbákra került sor. Ezen előzetes gyakorlatok során több ponton korrigáltam és pontosítottam a végrehajtás folyamatát.

3.2.2.2. A körgyűrűtűz jellemzőinek előzetes felmérése

A tűzoltási tesztek megelőzően két körülmény megismerésére végeztem modellkísérleteket:

- A tartálpalást hőmérsékletének várható alakulására vonatkozóan, ami a forró lemezfelület visszagyújtó hatása, és a körjárdán – a tartályfal közvetlen közelében – sorra kerülő beavatkozási feladatok biztonsága szempontjából volt lényeges.
- Az éghető anyagként alkalmazásra kerülő üzemanyag kiegészi sebességének meghatározására, ami a gyakorlathoz szükséges anyagmennyiség meghatározásához volt szükséges.

Nagyobb tűzfelületekre vonatkozó adatokkal mindkét vizsgált paraméter vonatkozásában rendelkeztem már a korábbi kutatásokból, azonban kérdéses volt ezen értékek helytállósága a körgyűrű tüzet jellemző kisebb átmérő esetén. Az előzetes kísérletek során kisebb átmérőjű, kör alakú égetőtálcákat alkalmaztam.

3.2.2.2.1. A tartálpalást hőmérsékletének vizsgálata

Az előzetes kislemeztű modellkísérletek célja a felforrósodott tartálpalást habroncsoló és visszagyulladás eredményező hatásának vizsgálata, ezáltal a forró lemezfelület közvetlen közelében beavatkozókat érő hatások felmérése volt.

A tesztekhez egy negyed négyzetméter területű köredényt használtunk. Az égetőtálcában a valós méretű tömítőrésztűz oltási kísérletekhez tervezett megegyező üzemanyagokat, benzint és gázolajat alkalmaztunk. Az edény falát kívülről gázfáklyával melegítettem a folyadékfelszín magasságában – hőmérsékletmérés mellett. A kísérletek során különböző körülmények között figyeltem meg a tálcában lévő üzemanyag viselkedését:

- Éghető folyadékként benzint és gázolajat használtam,
- Az üzemanyag felszínét habtakaró nélkül, és habtakaróval fedett állapotban,
- Filmképző, valamint nem filmképző habképzőanyagot alkalmaztam.

Megállapításaim:

- A felhevített fal a benzint már alacsony hőmérsékleten meggyújtotta. Gázolaj esetében nem következett be a gyújtás annak ellenére sem, hogy a fal melletti gázolaj már 900°C feletti hőmérsékleten, forrásban volt.
- A forró palást mellett a hab roncsolódott, majd ezen a részen gyulladt meg a benzin.
- A fáklyát eltávolítva a habfilm visszazárt, és ismét eloltotta a tüzet.
- Folyamatos melegítés a lángolást fenntartotta, és a hab roncsolódása (nagyon lassan) továbbterjedt.

- Filmképző oltóhabból kialakított habtakarás szemmel láthatóan jobban ellenállt a forró lemezfelület roncsoló hatásának, mint nem filmképző hab esetén. Hasonló különbség volt megfigyelhető a hab visszazárását illetően: a fáklya eltávolítása után a filmképző habképző alkalmazásakor gyorsabban zárt vissza a habtakaró, és oltotta el a benzin tüzét.

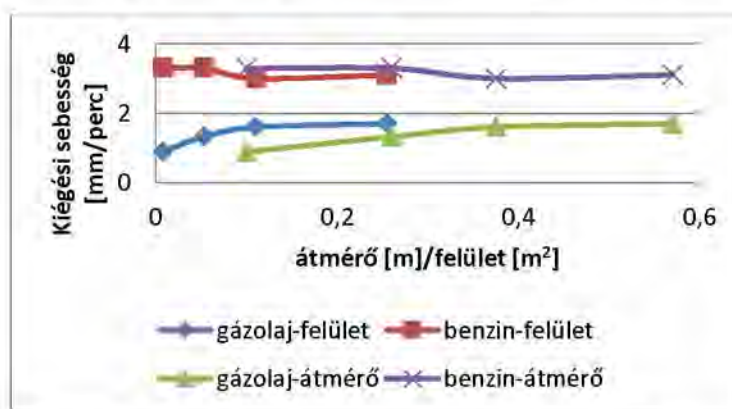
A kislemezű modellkísérletek alapján gázolaj és benzin üzemanyag együttes használatáról döntöttem. Az éghető folyadék könnyebb és gyorsabb begyulladás mellett a tűzoltási feladat – életszerű – nehezítése is szükségessé tette benzin alkalmazását.

3.2.2.2. A kiegészi sebesség vizsgálata

A próbák során különféle kisebb felületen mértük benzin és gázolaj üzemanyag esetén a percnkénti kiegészi anyagvastagságot. Minden próbát három alkalommal hajtottunk végre, az összesített eredményeket a 17. táblázat és a 43. ábra mutatja be.

ÉGETŐEDÉNY		KIÉGÉSI SEBESSÉG [mm/perc]	
ÁTMÉRŐ [m]	FELÜLET [m ²]	GÁZOLAJ	BENZIN (95)
0,10	0,0079	0,88	3,3
0,26	0,0531	1,32	3,3
0,38	0,1104	1,6	3
0,57	0,255	1,7	3,1

16. táblázat: A kiegészi sebesség mérés eredménye; készítette a szerző 2015.



43. ábra: A kiegészi sebesség mérés eredménye; készítette a szerző 2015.

A kislemezű tesztek során mért percnkénti kiegészi sebesség benzin esetén a vizsgálati felület méretétől függetlenül közel azonos értéket mutatott, 3,0-3,3 mm között alakult. Gázolaj esetén a tálca átmérő növelésével – egyre kisebb mértékben – emelkedett a kiegészi sebesség, közelítve a – becsléseim alapján – 1,75-1,85 mm/perc maximumhoz.

Kutatásaim során a tartályon végrehajtott tűzoltási próbáknál a mérési nehézségek, valamint a környezeti hatások érvényesülése (például szél hatása nagy éghető folyadék felületre) miatt nem tudtam a kiegészi sebesség meghatározására irányuló méréseket végezni. Hasonlóképpen nem sikerült megfelelő méréseket végezni a valós méretű körgyűrűtűz oltási kísérletek során.

A kisméretű körtálcákon végrehajtott kiegészi tesztek alapján került meghatározásra a nagyméretű körgyűrűtűz oltási kísérletek során felhasznált üzemanyag mennyisége. A tesztek alapján megállapítható, hogy ezen kisméretű tesztek során mért kiegészi sebesség a benzin és a gázolaj esetén is elmarad a szakirodalomban közzétett értékektől.

3.2.3. A tűzoltási kísérletek végrehajtása

A kísérletekre 2007. május 8, 9, 10, 11, 14-én került sor, míg a kialakított körgyűrűtűz oltási módszert május 24-én – tűzoltási bemutató keretében – ismertettük meg a „Vegyipari Tűzoltóparancsnokok 4. Nemzetközi Konferenciája” résztvevőinek.

A tűzoltási kísérletek során az alábbiakat alkalmaztuk és vizsgáltuk:

- Kézi habsugarak:
 - Tűzoltásonként 2-2 kézi habsugarat vetettünk be;
 - Az alkalmazott habsugarak oldatteljesítménye 400 liter/perc;
 - Habsugárcső típusok: AWG S4, valamint AWG M4.
- Habképzőanyag:
 - Kizárólag 1 %-os bekeveréssel alkalmazható szintetikus habképzőanyagokat alkalmaztunk;
 - Filmképző habanyagként: Sthamex AFFF 1% (részletes leírás a 3.1.2.1 fejezetben);
 - Nem filmképző habanyagként: Sthamex F15 1% [103] univerzális szintetikus habképző anyag.
- Magasba szerelési feladat: A tömlővezeték a tartályra kialakított lépcsősoron fektetve, illetőleg felhúзва telepítettük.

Különböző előégetési időket alkalmaztunk, de a szabadégés időtartama nem befolyásolta érdemben a tűzoltás hatékonyságát.

A több mint egy tucat alkalommal végrehajtott tűzoltás során kizárólag mobil eszközöket alkalmaztunk, a végrehajtásra négy fő szakaszban került sor:

1. Tűzoltás előkészítése: felhatolás a tartályra, tömlővezeték kiépítése,
2. Tűzoltás megkezdése, tűzoltás a felhatolás környezetében,
3. Körgyűrű-tűzfelület tűzoltása,
4. Habtartósítás.

A tűzoltás előkészítése, a tömlők megszerelése különösebb nehézséget nem jelentett. Az L2 útról „B” alapvezetékét fektettünk a feljárólépcsőhöz, majd onnan fel a tartályra.

A magasba szerelt tömlővezetékbe talajszinten, illetőleg a körjárdá magasságának közelében – az általános szabályoknak megfelelően – osztót alkalmaztunk. Az magasba „B” tömlőkkel szerelt osztóról minden tűzoltásnál két „C” méretű nyomótömlővel szerelt habsugarat működtettünk.

A habsugár működtetéséhez a tartályon kialakított „száraz felszálló vezeték” a gyakorlatok során nem került alkalmazásra. Ezen vezetékekről történő szerelés egy „éles esemény” során nehézkes, mivel a kilépő csomak kizárólag a körjárdára történő felhatolás után érhető el, ami a tűzoltás megkezdése előtt nem hajtható végre biztonságosan.

A habellátást és habbekeverést a FER Tűzoltóság „Roham-1” kombinált gyorsbeavatkozó gépjárműve biztosította (MB 1234 Rosenbauer ULF 4000/400/750).

A tűzoltás megkezdésére a felhatolás környezetében került sor, mely műveletre mindkét habsugár típust kipróbáltuk. A tűzoltás – és felhatolás – megkezdését megelőzően a haboldat megérkezéséig a tömlővezetéken érkező vizet a sugárcső kifordításával a felfogótérbe lőttük. E művelet szempontjából meghatározó a tartálytető pozíciója, s így a tűz magassági elhelyezkedése.

Ahogy korábban már kifejtettem, a kísérletek során a felhatolás szempontjából legkedvezőtlenebb helyzetet, a tartály feltöltött állapotát alakítottuk ki. Ennek következtében a feljutási ponton is közvetlen lánghatásnak voltak kitéve a beavatkozók, így a körjárdára csak a lépcső felső végénél kialakult lángolás megszüntetése után volt mód feljutni. Ezt a tűzoltás megkezdésekor alulról, a tartályfal takarásából fellőtt-hullajtott habbal biztosítottuk. A körjárdára felhatolva a feljutási pont közvetlen környezetében is sor került a tűzoltásra, majd ezután nyílt lehetőség a körjárdára történő felhatolásra és a körgyűrűtűz oltására, a felhatolási ponttól két irányba történő szakaszos előrehaladással.



25. fénykép: Tömítőréstűz oltási kísérlet; Forrás: FER tűzoltóság 2015.

A körgyűrű-tűzfelület tűzoltását mindkét sugárcső típus – és habkiadósság – alkalmazásával, több alkalommal hajtottuk végre. A feljáró tetején elhelyezett és kirögzített osztóról szerelt, irányonként 1-1 habsugár előrehaladásával folyamatosan csökkentettük a tűzfelületet.

A sugarak előretörése során több alkalommal hosszabbítani kellett az osztó és a sugárcső közötti tömlővezeték, ami a sugár és osztókezelők összehangolt munkáját tette szükségessé. A tűzoltás a körgyűrű felhatolással ellentétes részén, a sugarak összeérésekor fejeződött be. A habtakaró tartósítását a tűzoltást követően ismét a teljes körgyűrű habtakarásával – lehetőség szerint középphábbal – hajtottuk végre a lemezfelületek visszahűléséig.

3.2.4. Következtetések

A vonatkozó szabályozás a kutatás időszakában nem tartalmazta a kizárólag mobil eszközökkel, a nyitott úszótetős tartály körjárdájára felhatolva történő tömítőrés-tűzoltás lehetőségét. A tűzoltási kísérletsorozat igazolta ennek a beavatkozási módnak alkalmazhatóságát, melynek eredményességét és biztonságát az alábbiakban rögzített feltételek és taktikai elemek garantálják.

- A kísérletsorozat igazolta a körgyűrűtüzek mobil eszközökkel történő eloltásának lehetőségét: kizárólag mozgatható eszközökkel, felkészült irányítói és beavatkozó tűzoltó-állomány bevetésével biztonságosan és hatékonyan oltható el a nyitott úszótetős tartályok körgyűrű tüze.
- A magasba történő alapvezeték szerelésnél a lépcsőkarra fektetett tömlő alkalmazása gyorsabbnak bizonyult a függőleges tömlőfelhúzásnál, hasonlóan a középmagas épületekben lefolytatott vizsgálat eredményéhez [104].
- A tartályokon kiépített szárazfelszálló vezetékek kialakítását módosítani szükséges: a lépcső melletti felszállóvezeték felső végpontját 2,5-3 méterrel alacsonyabbra, a lépcső felső szakaszáról a körjárdára történő felhatolás nélkül elérhető helyre kell áthelyezni. Ezen intézkedésnek különösen a lépcső érkezési pontja felé irányuló szél esetén van jelentősége, ami a felső csatlakozási pont sérülése mellett annak megközelíthetlenségét is okozhatja.
- A kísérletek igazolták, hogy a tartály körjárdájára vezető, talajszintről, a tartály mellől induló szárazfelszálló vezetékek kiépítése nem indokolt, mivel e vezetékszakas szinte késedelem nélkül pótolható a lépcsőkarra fektetett alapvezetékkel. Ezzel szemben a távolabbról, általában a tartályhoz tartozó mellvédfalról haboldattal táplálható felszálló vezeték – különösen a felső végpont kialakításának fent javasolt módosításával – jól használható a körgyűrűtűz kézi habsugarakkal végrehajtott tűzoltása során.

- A felhatolás környezetében alulról, a tartályfal takarásából fellőtt-hullajtott habbal történjen a tűzoltás. Erre kizárólag középhab alkalmazható, mivel
 - A középhab esetében a nehézhabnál magasabb habkiadósság érték több habot, nagyobb habtérfogatot eredményezett, így gyorsabbá vált a felület letakarása.
 - A habot alulról fellőve-hullajtva kell a tömítőrés tűzfelületére juttatni, így ebben az esetben a kisebb lövőtávolság előnyt jelent.
 - Az így kialakított nagyobb habkiadósságú, vastagabb habtakaró kevésbé gyullad vissza, így a felhatolási pont biztonsága garantálható.
 - Kedvezőtlen – a felhatolási pont felé irányuló – szélirány esetén különösen nagy figyelemmel, a lépcsőről, a palást mellől kell végrehajtani a hab belövését a lángolás lépcső közelében történő megszűnéséig.
- A kiépített szárazfelszálló vezetékek, csatlakozóik és tömítéseinek kizárólag rendszeres és alapos ellenőrzés, karbantartás, valamint a szükségszerű javítások végrehajtása esetén használhatóak eredményesen.
- A feljutási pont környezetének eloltása után a körjárdára történő felhatolással, két irányba történő szakaszos előrehaladással kezdhető meg a körgyűrűtűz oltása.
- Az előrehaladó sugarak mögötti körgyűrű felület biztosítására további egy – az osztó harmadik ágára csatlakoztatott – nehézhabsugár (tartalékként történő) megszerelése javasolt.
- A felhatolás környezetének eloltását követően a körgyűrű-tűzfelület tűzoltására nehézhabsugarakat célszerű alkalmazni, mivel nagyobb hatásos sugártávolságuk miatt a beavatkozók előtt nagyobb távolságban szüntethető meg a lángolás. A habsugarakat a tartálypalást belső falának ütköztetve célszerű működtetni.
- A tömlők kezeléséhez megfelelő létszámot kell a körjárdán biztosítani, azonban nagyobb létszám esetén figyelemmel kell lenni annak terhelhetőségére is.
- A beavatkozó tűzoltók teljes bevetési ruházatának előírás szerű használatán túl általában nem indokolt különleges hővédő ruházat viselése.
- A magasban és szűk közlekedési felületeken történő biztonságos munkavégzés érdekében határozottan kerülendő a közepes, vagy nehéz kategóriájú hővédő ruházat alkalmazása. A beavatkozók védelme megfelelően biztosítható a nehézhab sugarak „előre alkalmazásával” kialakítható „távolsági védelemmel”.
- Légzésvédelem használatáról a körülmények (például szélirány és szélsébség, égő anyag jellemzői) ismeretében kell dönteni, azonban a légzőkészülék használata érdemben nehezíti és korlátozza a beavatkozók mozgását a körjárdán.

- A tömlővezetéseket távol kell tartani az – úszótető pozíójától függően – felforrósodott tartálypalásttól, ami a sugarak szakaszos hosszabbítása során külön figyelmet és megfelelő tűzoltói létszámot igényel. Hasonlóképpen kell eljárni a felhúzott „felszálló” tömlővezetékkel, hiszen ha alacsonyabb tetőpozícióban keletkezik a tűz, a tartálypalást nagyobb szakasza forrósodhat át. (A tűzoltási tesztek során a felforrósodott tartálypalást a tömlők sérülését-kiégését okozta.).



26. fénykép: Középhab-sugár bevetése a körgyűrűtűz oltási kísérletek során

Forrás: FER Tűzoltóság 2007.

- Az alkalmazott habsugárcsövek teljesítményét többszörös tartalékkal kell tervezni, mivel a tűz továbbterjedhet a tartálypalást és a tartálytető tárolt anyaggal szennyezett felületeire. A gyakorlatok során a lángolás több alkalommal áttért a tető habgáton belüli felületére is, több méter szélességű tűzfelületet okozva.
- 400 liter percenkénti oldatteljesítménynél nagyobb habsugárcsövek alkalmazása nem ajánlott a megfelelő kezelhetőség érdekében, és biztonsági megfontolások miatt.
- A körjárdákon „C” (52 mm-es) tömlőnél nagyobb keresztmetszetű vezeték alkalmazása nem ajánlott a nehézkes kezelés és a korlátozott közlekedési felület miatt.
- A középhab és nehézhab üzemmódok korábbiakban leírt váltott alkalmazására kitűnően alkalmazhatóak a mindkét habkiadóssággal működtethető ún. kombinált habsugárcsövek, melyek az elmúlt évek fejlesztései eredményeként jelentek meg a piacon. Az általunk kipróbált, azóta már készenlétbe állított sugárcső típusa: AWG S4-M4, mely középhab- és nehézhab-sugárcsőként egyaránt alkalmazható, a funkciók közötti váltást működtető kar biztosítja.
- Kerülni kell a sugarak túl magas nyomásértékkel történő üzemeltetését és a nyomás hirtelen megváltoztatását. Nagy figyelemmel, fokozatosan kell végrehajtani a tömlőhosszabbítások miatt szükséges zárást és nyitást az osztónál és a sugárcsöveknél.

- Filmképző habképző anyag alkalmazása szükséges; nem filmképző hab esetén magas a visszagyulladás veszélye.
- Minden körülmények között biztosítani szükséges az osztókezelő és sugárvezetők közötti zavartalan kommunikációt, a sugarak hosszabbítási idejének minimalizálása érdekében.
- A körjárda és a kapcsolódó korlátok állapotától és elhelyezkedésétől függően, szükségessé válhat a beavatkozók – különösen a sugárvezetők és a tömlők kezelését végzők – leesés elleni védelmének biztosítása, a személyek kirögzítése. Leesés elleni védelem alkalmazása azonban jelentősen megnöveli a tűzoltás idejét.

4. A FELÜLETI HABBALOLTÁS FEJLESZTÉSÉNEK KUTATÁSA MESTERSÉGES MODELLEZÉSEL

Az értekezés negyedik fejezetében az oltóanyag alkalmazásának fejlesztésére irányuló, empirikus megfigyelésen és kísérleteken alapuló kutatásaimat és eredményeimet mutatom be. A 3. fejezetben az alkalmazott tűzoltás taktika állt a vizsgálat középpontjában. A következő fejezet valós méretű és modell kísérleteivel az oltóanyagok irányából szemlélve kutattam az eszközrendszer fejlesztési lehetőségeit.

4.1. Oltóhab terjedésének vizsgálata nyílt folyadékfelületen

Dolgozatom ezen fejezetében az oltóhab terjedésének vizsgálatára irányuló kutatásaimat mutatom be. Kutatómunkám középpontjában a tárolótartályokon bekövetkezett tüzek megfékezésével kapcsolatos vizsgálatok állnak, így elsősorban nehézhabbal és középhabbal hajtottam végre kísérleteket. A kapcsolódó technológiai területek különleges habbaloltási feladataira figyelemmel vizsgáltam a könnyűhab zárt térben történő terjedését is, azonban e terület nem képezi dolgozatom célterületét.

Korábbi naturális és mesterséges modellezésen alapuló vizsgálataim keretében nagy számban hajtottam végre a nagyméretű atmoszférikus tartályok nagyfelületű habbal oltásának kutatására irányuló kísérleteket. A tesztek közvetlen és közvetett megfigyeléseinek analízisével a nagy felületű tartályok habbaloltása során a tűzoltóhab hatását két gondolati részre bontottam:

- A nyílt éghető folyadék felület habbaloltása,
- Az átforrósodott tartálypalást melletti lángolás megszüntetése.

A nyílt folyadékfelület összefüggő habtakaróval történő oltása általában „egyszerű” feladat. A beavatkozók feladata – a habbaloltás módjától (mobil vagy beépített) függően – összefüggő, megfelelő záró képességű habtakaró kialakítása. Erre a beépített habfolyatók alkalmazása esetén a rögzített oltóanyag bejuttatási pontból a habréteg szétterjedésével, vagy mobil eszközökkel végrehajtott tűzoltás esetén ezt kiegészítve, az oltósugár megfelelő mozgatásával kerül sor.

Forró tartályfal mellett rendkívül nehéz összefüggő, közvetlenül a tartálypalást mellett is tökéletes zárást biztosító habtakarót kialakítani. A felhevült lemezzel érintkező folyadékfelszín folyamatos forrásban van, gőzei a kialakuló habrétegen áttörve fenntartják a lángolást. A teljes felületű tartálytűz esetében a lángtér által melegített palástszerkezet beépített hűtőberendezéssel és telepíthető eszközökkel általában jól hűthető, ezzel is megteremtve az eredményes tűzoltás lehetőségét.

Megfelelő hűtés hiányában, illetőleg takart, osztott, vagy részleges felületű tartálytűz esetén nehézséget okoz a felhevült, hűtés nélküli acélszerkezetek visszagyújtó hatása és a „falhatás” [33] [105]. A falhatás következtében a felhevült acélszerkezetek mellett – és hatására – a nyílt felszínnél nehezebben eloltható tűzfelület (tűzgyűrű/sáv) marad vissza. A magas hőmérsékletű fémfelület mellett a tűzveszélyes folyadék a forráspontja feletti hőmérsékleten – folyamatosan forrásban – van, gőznyomása meghaladja a környezeti nyomást, így az intenzív gőzképződés megakadályozza a habtakaró zárását és táplálja a lángokat. A jelenség a teljes felület eredményes eloltását számottevően késleltetheti, megnöveli a teljes oltóanyagigényt [26]. A falhatás vizsgálatával e fejezetben nem foglalkozom részletesebben.

A falhatás következményeit figyelmen kívül hagyva, mobil és beépített oltóeszközök alkalmazása esetén egyaránt fontos az oltóhab égő felszínen való szétterjedési képessége. A beépített stabil és félstabil habfolyatók több, rögzített habfolyatási pontból terjesztik szét a tűzoltó hatású habréteget. A beavatkozás eredményessége, a tűzoltási idő, a szükséges oltóanyag mennyisége – a tervezési és kialakítási körülményeken túl – leginkább a habterülettől függ.

Mobil eszközök alkalmazása esetén az oltósugarak mozgásával általában lehetőség van a habtakaró gyorsabb kialakítására a lángoló felület legnagyobb részén. Takart folyadékfelszín-részek, kedvezőtlen időjárási viszonyok (például viharos szél), nem megfelelő hablövellő eszközök (például habágyúk, habsugarak), vagy azok előnytelen telepítési pozíciója esetén azonban nagy jelentőséggel bír az oltóhab terjedési képessége [106].

A habbal oltó tűzoltó berendezésekre vonatkozó MSZ EN 13565-2 szabvány 2. részének éghető folyadékot tároló tartályokra, felfogóterekre és üzemi területekre vonatkozó 5.2. fejezetében az 5.2.5 pont rögzíti a felfogóterek és üzemi területek előírásait. Meghatározza, hogy a habbaloltás esetén a habterjedés távolsága nem haladhatja meg a 30 métert.

A 60 méternél nagyobb átmérőjű tartályokat – ahogy ezt az 1.3 fejezetben ezt bemutattam – rendszerint nyitott úszótetős kivitelben építik meg. E tartálytípusnál a beépített stabil vagy félstabil habbaloltó berendezések többnyire csak körgyűrűtűz oltására tervezett kialakításúak és teljesítményűek, felületi – rendszerint úszótető süllyedés vagy szennyeződés miatt bekövetkező – tüzek oltására nem alkalmasak. Nagyobb, akár a teljes felszínre kiterjedő tűzfelület habbaloltására a legtöbb esetben mobil eszközrendszer készenlétben tartásával készülnek. Nagyobb teljesítményű habrendszer kiépítésével, megfelelő habfolyató és habgát kialakítással a beépített berendezés is alkalmas lehet kiterjedt felületi tűz oltására is, azonban a szabványban meghatározott 30 méteres habterjedési távolság kérdésessé teszi a tartály középső felületének beépített eszközökkel történő tűzoltását.

Ez különösen a 60 méter átmérőnél lényegesen nagyobb tárolótartályok esetén jelent kihívást, ezért a habfolyatók mellett a tartályközépre irányított hablövellő eszközöket is beépítenek a habrendszerbe [107]. Ezek a rögzített pozíciójú ágyúk kialakíthatóak függetlenül, vagy a habfolyatókkal kombináltan.



44. ábra: Tipikus habrendszer kialakítás beépített hablövellő ágyúkkal [108]



27. fénykép: Rögzített „hablövellő” ágyú beépítve [108]

Kutatási céljaimmal összefüggésben azt feltételeztem, hogy nyílt éghető folyadék felületen megfelelő habképzőanyag és eszközök alkalmazásával a tűzoltóhab nagyobb – 50 métert meghaladó – távolságokra is képes hablövélés nélkül továbbterjedni és az égést megszüntetni.

A teszt sorozat keretében a habtakaró terjedését kívántam vizsgálni nagy kiterjedésű éghető folyadék felületi tűzoltása során. Célom a bevezetőben említett, a tartálytűz-oltás során megkülönböztethető két feladat közül a habterjedés és a habbaloltás nyílt folyadékfelületen történő megfigyelése volt.

4.1.1. A helyszín és kísérleti körülmények

A kísérletsorozat tervezése során, a rendelkezésre álló erőforrásokra, valamint környezetvédelmi szempontokra is figyelemmel, négy különböző kísérlet körülményeit határoztam meg. Összehasonlításokat kívántam tenni a nehézhab (alacsony habkiadásságú hab) és középhab (közepes habkiadásságú hab) terjedési sebessége, valamint a hideg, nem égő felületen („hideg teszt”) és a lángoló folyadékfelületen („forró teszt”) terjedő hab viselkedése között. A megfigyelés tárgyát képezte még a habfront terjedési sebességének (penetrációs sebesség) változása a habforrástól való távolság függvényében.

A következőkben összefoglalom a Dunai finomítóban végrehajtott kísérletek legfontosabb meghatározó jellemzőit.

4.1.1.1. A kísérlet-sorozat helyszíne

A habterjedési kísérletekhez egy 600 négyzetméter felületű, 12 méter széles és 50 méter oldalhosszúságú medencét építettünk. A nyílt folyadékfelület oltásának megfigyelése érdekében a falhatás jelenségétől, az átforrósodott tartálpalást melletti lángolás megszüntetésének kihívásaitól – mint zavaró hatásoktól – független körülményeket igyekeztünk biztosítani a próbákhoz. Ennek érdekében az égetőtálcát földszanc oldalfalakkal határoltuk, ezzel megakadályozva a falhatás kialakulását.

A kísérletek helyszínén a habterületi próbák során viszonylagos szélcsend uralkodott, kizárólag a középhabbal végrehajtott tűzoltási teszt ideje alatt volt mérhető 2-3 m/s erősségű (nyugat-északnyugati) szél, melynek csekély mértéke nem befolyásolta a habterjedést.

4.1.1.2. Az alkalmazott eszközök és a felhasznált anyagok

Éghető anyagként gázolajat alkalmaztunk, amit a tálca aljába szivattyúzott vízrétegre töltöttünk. Kísérletenként 14.000 liter gázolajat töltöttünk az égetőtálcába, a felület begyűjtéséhez kb. 80 liter gyújtóbenzint használtunk fel. A kísérletet követően a visszamaradt éghető anyagot összegyűjtöttük a vízfelszínről és további hasznosításra elszállítottuk.

A gyakorlatok életszerűsége és az eredmények helyi gyakorlatban történő hasznosíthatósága érdekében a kísérleteket elsősorban a létesítményi tűzoltóságnál készenlétben tartott oltóanyagtípusokkal, valamint a tűzoltóságok által alkalmazott mobil eszközök bevetésével hajtottuk végre. E törekvéssel összhangban a habterjedési vizsgálatok során a FER által általánosan alkalmazott Sthamex AFFF 1% többcélú habképzőanyagot használtuk, a habbekeverést a létesítményi tűzoltóság által készenlétben tartott Rosenbauer SLF 10000 típusú habbalóltó gépjárművel biztosítottuk. A habképzéshez 800 liter percenkénti oldatteljesítményű közép- (AWG M8), illetve nehézhabsugárcsőket (AWG S8) alkalmaztunk, melyekből minden alkalommal három azonos típusút működtettünk, összesen 2.400 liter/perc oldatteljesítményt juttatva a felületre.

Az alkalmazott oldatmennyiség a teljes felületre számítva 4 liter/perc négyzetméterenkénti adagolási intenzitást biztosított.

4.1.2. A habterjedési próbák végrehajtása

A kísérletek során a medence egyik rövidebb oldalfala mentén működött a három azonos típusú habsugárcső. A habfront terjedését a felület hosszabb oldalai mentén, 50 méter hosszban figyeltük meg.

A sugárcsővekből kilőtt habot sugárcsővenként egy-egy, lábakon álló acéllemez pajzsra ütköztetve vezettük a medencébe. Így az égetőtálca rövidebb oldalfalától 2 méterre elhelyezett lemezfelületekre lőtt hab mozgási energiáját veszítve folyt le és terült szét a folyadékfelületen. A sugarak megfelelően megválasztott felállítási helye azt eredményezte, hogy a kilőtt teljes habmennyiség a medencébe került, számottevő veszteség nem volt.

Összesen négy habterületi próbát hajtottam végre:

- 2 alkalommal „hideg”, tűz nélküli tesztekre került sor, melyek során
 - 1 alkalommal, középhabbal (2009. november 25-én), míg
 - 1 alkalommal, nehézhabbal (2009. november 24-én) hajtottam végre a kísérletet.
- 2 alkalommal tűzoltási próbákra („forró tesztekre”) került sor, melyek során
 - 1 alkalommal, középhabbal (2009. november 19-én),
 - 1 alkalommal, nehézhabbal (2009. november 17-én) szüntettük meg a lángolást.

A két tűzoltási kísérlet során az alábbiak szerint jártunk el:

- A felszint a medence mindkét hosszabb oldala mentén egy-egy gázfáklyával végighaladva egymás után több helyen gyújtottuk meg.
- A gyújtást a medence „habfolyató-pajzsok” felőli végén kezdtük.
- A habfolyatást a habbejuttatás célfelületének begyújtását követően 60 másodperccel terveztük megkezdeni. A végrehajtás során:
 - A nehézhabbal végrehajtott kísérletnél 54 másodperc előégetés után kezdődött a tűzoltás.
 - A középhab alkalmazásával végrehajtott tűzoltásnál a habbejuttatási területen – az enyhe nyugati szél hatására – lassabban, közel 80 másodperc alatt alakult ki összefüggő lángolás. Ez idő alatt a tűzgyújtás folytatódott, a habfolyatást 120 másodperccel a gyújtás megkezdése után kezdtük meg.
- A habfolyatás megkezdését a pajzsok alatti felszín begyulladásához időzítettük, a 600 négyzetméteres medence egyes – habbevezetéstől távol eső – felületrészei csak később gyulladtak be.

A tesztekéről videofelvétel készült, ami a kísérletek dokumentációjával a FER Tűzoltóság Kft. százhalombattai székhelyén megtekinthető. A tesztek eredményeit a felvételek elemzésével, valamint a helyszíni tapasztalatok feldolgozásával összegeztük.



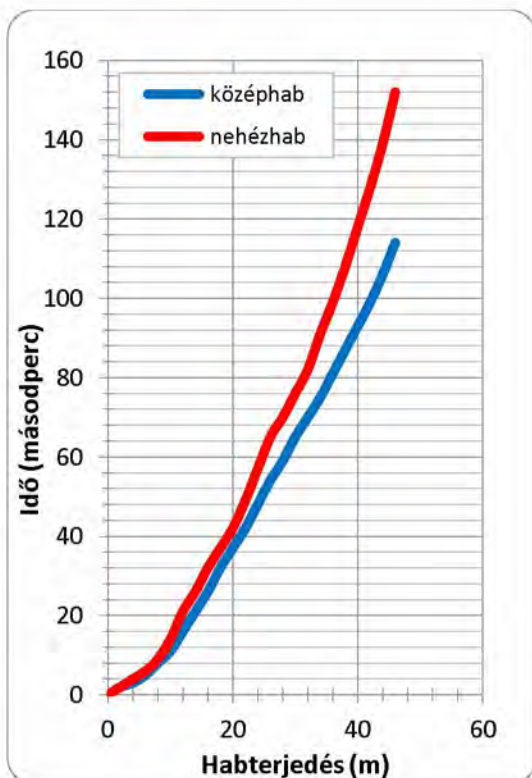
28. fénykép: Habterjedési kísérlet
nehézhabbal; Forrás: FER Tűzoltóság



29. fénykép: Habterjedési kísérlet
középhabbal; Forrás: FER Tűzoltóság

4.1.3. A vizsgálati eredmények

A képzett habok mért habkiadóssága a nehézhab esetén 7,8; míg a középhab alkalmazásával 31,6 volt.



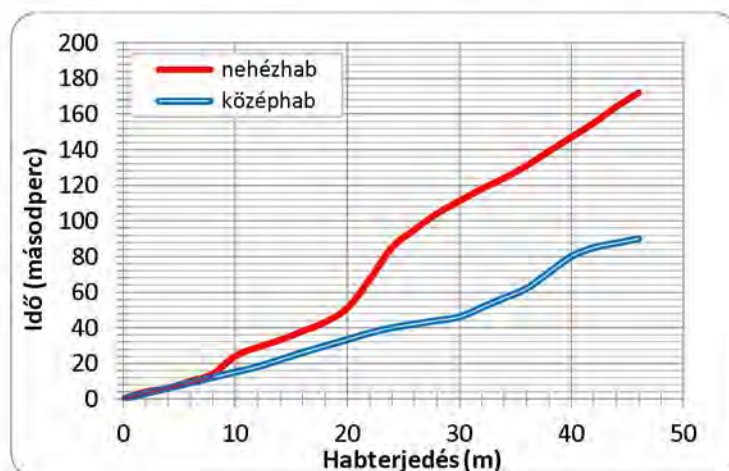
45. ábra: A „hideg” habterületi tesztek;
készítette a szerző 2010.

A 45. ábra a habfront előrehaladást mutatja a „hideg tesztek” során, szemlélítve a középhab gyorsabb terjedését a folyadékfelszínen.

A viszonylagosan rövid mért habterjedési távolság ellenére érzékelhető, hogy a terjedési sebesség a habforrástól való távolság növekedésével kis mértékben csökken, a grafikus megjelenítés parabolához közelít.

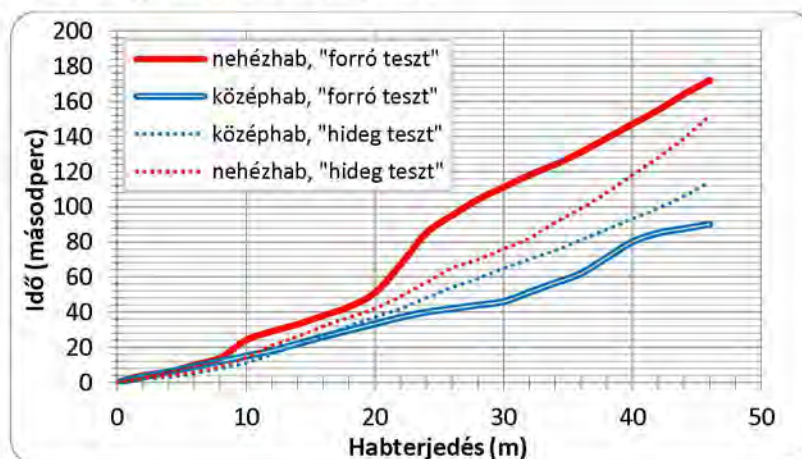
Nagyobb különbséget tapasztaltunk a nehézhab és a középhab terjedési sebessége között a tűzoltási próbák során, amit 46. ábra szemlélítet.

Míg a hideg próbák során a középhab penetrációs sebessége megközelítőleg 30%-kal haladta meg a nehézhab esetében tapasztalt értéket, addig a tűzoltások alkalmával ez az érték közel 100%-ra adódott.



46. ábra: A tűzoltási kísérletek; készítette a szerző 2010.

A tűzoltási kísérletek eredményeinek elemzését nehezítette, hogy a lángzóna mozgása és a füstképződés miatt a habfront helyzete nem volt mindig pontosan megállapítható. Valószínűsíthető, hogy e körülménynek is szerepe van abban, hogy a habterjedést grafikusán ábrázolva nem alakult ki egyenletesen ívelő görbe.

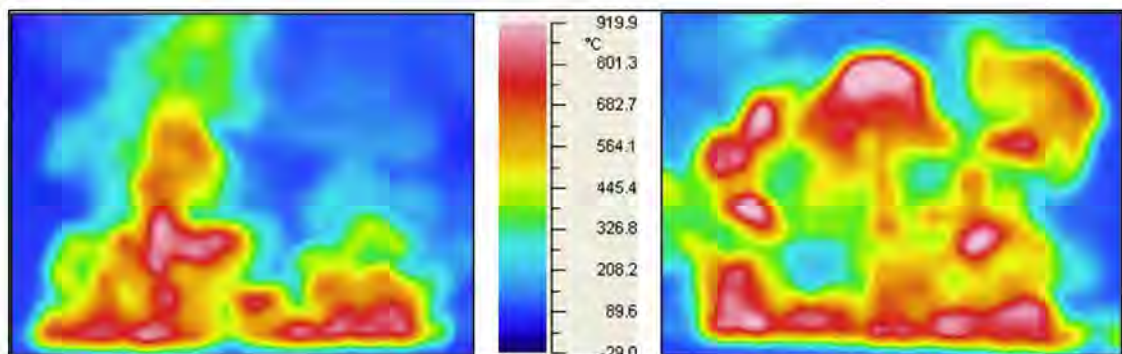


47. ábra: A tűzoltási és habterületi kísérletek; készítette a szerző 2010.

A 47. ábra összesítve mutatja a kísérletek habterjedési értékeit. Az előzetesen felállított elképzelésünket, miszerint a tűzoltás során mért penetrációs sebesség értékek a hő hatására bekövetkező habroncsolódás eredményeként elmaradnak a „hideg” habterjedés sebességétől, a nehézhab alkalmazásakor mért értékek igazolták. Várakozásainkkal ellentétes eredményt mutatnak azonban a középhabbal végrehajtott kísérletek, hiszen magasabb penetrációs sebességet tapasztaltunk a tűzoltás során, mint a tűz nélkül végrehajtott próbák esetében.

Értékelésünk alapján e váratlan anomália az alábbi legfontosabb, részletesebb vizsgálatra érdemes körülmények eredőjeként következhetett be:

- A középhabbal végrehajtott tűzoltási feladatok során a hab terjedését enyhe nyugat-északnyugati szél segítette. A légmozgás a habterjedés irányával 25-30°-ot zárt be.
- A nehézhabot és a kisebb víztartalmú középhabot összehasonlítva kérdéses volt, hogy az alacsonyabb, vagy magasabb habkiadósságú (szárazabb) habnál jelentősebb a hő hatására kialakuló kiszáradt, megkeményedett, kérgesedett habfront terjedést fékező hatása. A megégett habból kialakuló „habgát” a penetrációs sebesség csökkenését okozhatja, azaz fékezi a habfront előrehaladását. [64] A kísérletek azt igazolták, hogy e jelenség befolyása a különböző habkiadósságú habok terjedési sebességére nem számottevő, a középhab esetében a tűzzel járó, nehézhab esetében pedig a „hideg” próbák során azonosítottunk nagyobb habterjedési sebességet.
- A nagyfelületű lángolás által okozott hőfelszabadulás következtében a felfelé áramló légmozgások a lángtér belsejének irányába mutató szívóhatást okoznak, ami a habfront terjedését elősegítette.
- Ugyancsak elősegítette a habréteg gyorsabb mozgását a tűz következtében felforrósodott folyadékfelszín felett kialakult gőzpárna, ami a habterületet fékező ellenállásokat csökkenti. A hab a gravitáció következtében részben belenyomódik a folyadékba, ami nehézhab esetében jelentősebb, mint a középhabnál, hiszen az azonos térfogatú nehézhab tömege kimutathatóan nagyobb. Ugyanakkor feltételezhető, hogy a gőzpárna – habterjedést elősegítő – hatása a középhab esetében nagyobb, mivel a nagyobb fajlagos súlyú nehézhab esetében ez az emelő, „úsztató” hatás kevésbé érvényesül, kisebb eltérést okoz a „hideg” próbáknál tapasztalthoz képest.



48. ábra: Infravörös mérések; készítette a szerző 2009.

A 48. ábrán infravörös kamerával rögzített felvétel látható példaként, melyen jól megkülönböztethetők a különböző hőmérsékleti tartományok. A tűzoltások során mért legmagasabb lánghőmérsékleti érték 915 °C volt.

4.1.4. Következtetések

- Kísérleti úton igazoltam, hogy nyílt éghető folyadék felületen – megfelelő habképzőanyag és eszközök alkalmazásával – a tűzoltóhab nagyobb – 50 métert meghaladó – távolságokra is képes hablövélés nélkül továbbterjedni, és az égést megszüntetni. Kutatási eredményemet 2009. november 17-én gyakorlati bemutató keretében ismertettem az Olaj- És Vegyipari Tűzoltóságok 5. Nemzetközi Konferenciája résztvevőivel. Ezen eredményem beépült a LastFire csoport által elkészített „Risk Reduction Options” ajánlásba [109].
- A kutatást tovább kell folytatni, azonban a beépített habfolyatók elhelyezési távolságára vonatkozó követelmények esetleges módosítására csak a vizsgált terület kiegészítése, a falhatás minden körülményre kiterjedő elemzése után kerülhet sor.
- Kísérletsorozattal igazoltam, hogy a penetrációs sebesség a habforrástól mért távolság növekedésével egyidejűleg csökken. Ennek mértékét a kísérletek során alkalmazottnál nagyobb habterjedési utat biztosító égetőmedence alkalmazásával, „hosszabb” tűzfelület oltásával érdemes tovább vizsgálni.
- A középhab a végrehajtott habterületi próbák mindegyikénél jobban teljesített, mint a nehézhab. Ismét megerősítést nyert, hogy a nagyobb habkiadósság azonos oltóanyag felhasználás esetén magasabb tűzoltási teljesítményt biztosít, így habbaloltási rendszereink összeállításánál a nagyobb habosodást biztosító elemeket célszerű előnyben részesítenünk.
- A kísérletek nem igazolták azt az általános feltételezést, miszerint a habterjedés sebessége és távolsága tekintetében a nehézhab alkalmazása előnyösebb, mint nagyobb habkiadósságú oltóanyag – például középhab – bevetése. A tapasztalatok alapján további vizsgálatok lefolytatása szükséges a tárgyban, lehetőség szerint a tűzfelület „életszerű” jellemzőit megtartva, de hosszabb habterjedési utat megfigyelve.

4.2. Az olaj- és víztaszító tulajdonságú, üreges gyöngyökből álló, úszóképes tűzálló szárazhab éghető folyadékot tároló tartályok tűzoltására történő alkalmazásának kutatása

Kutatási céljaimmal összefüggésben, a tartálytűzoltás környezetterhelő hatásának csökkentésére törekedve kezdtem vizsgálni a DryFoam alkalmazásának lehetőségét. Hipotézisem szerint a szárazhab-gyöngy réteg egy nyílt folyadékfelületen a korábbi kutatások alapján bizonyított gázzáró hatásán túl [66] [67] [69] [68] tűzoltásra is alkalmas. Azaz a falhatás – mint tűzoltást nehezítő körülmény – elleni megfelelő védelemmel, és a szárazhab bejuttatására alkalmas módszerrel, tűzoltó anyagként is felhasználható.

De miben rejlik a szárazhab gyöngyök alkalmazásának igazi előnye?

A vízalapú habképzéshez alkalmazott tűzoltó habanyagok a bennük lévő vegyi anyagok miatt erősen környezetszennyezők. [3] Könnyen belátható, hogy egy nagyobb tartálytűz felszámolása során hatalmas szennyezett vízmennyiség kerül ki a szabadba, jellemzően hatékony oltóvíz-visszatartás és gyakran kezelés nélkül.

Szerencsére – ahogy az 1. fejezetben bemutattam – elég ritkán következnek be nagyfelületű habbaloltást igénylő (tartály)tűzek, ugyanakkor a beépített habrendszerek előírás szerinti időszakos működési próbái is rendszeres oltóhab kibocsátást eredményeznek. „Gyakorló habképzőanyagok” alkalmazásával a habpróbák okozta környezetszennyezés érdemben csökkenthető, azonban teljesen nem szüntethető meg a környezetterhelés.

Meggyőződésem, hogy ezen hatásokkal összevetve a szárazhab gyakorlati alkalmazása kisebb környezetterhelést okozva kínál kitűnő lehetőséget. A hő hatására aktiválódott DryFoam részecskék habkéregben állnak össze, de a különálló szárazhab gyöngyök is összegyűjthetőek és eltávolíthatóak, így elkerülhető a szennyező anyag visszamaradása.

A szárazhab előzőekben bemutatott kedvező tulajdonságai alapján folyadéktűz-oltási kísérlet-sorozatot folytattam a százhalmobbattai tűzoltó gyakorló pályán 2013 novembere és 2015 decembere között. A tűzoltási próbákhoz a DryFoam gyártója, a Trelleborg Offshore Co. által rendelkezésemre bocsátott szárazhab gyöngyöket használtam, azonban kutatásom során nem kizárólag e termékre fókuszáltam: más olaj- és víztaszító tulajdonságú, üreges gyöngyökből álló, úszóképes tűzálló szárazhab tűzoltásra történő alkalmazhatóságát is meg kívántam alapozni.

A kísérletsorozattal – a szárazhab, mint tűzvédelmi anyag jobb megismerése mellett – azon hipotézisemet igyekeztem igazolni, mely szerint a szárazhab gyöngyökből kialakítható tűzoltásra alkalmas oltóanyag réteg. Pozitív eredménynek azt tekintem, ha a tűzoltási modellkísérletek során sikeres tűzoltásokat hajtok végre ezen anyag felhasználásával, más tűzoltó anyag, vagy technika alkalmazása nélkül.

A kísérletsorozat keretében négy fázisban vizsgáltam a szárazhab gyöngyök tűzoltási alkalmazhatóságát; a vizsgálati szakaszok főbb jellemzőit a 18. táblázat szemlélteti. A kísérletekhez a Trelleborg Offshore Co. által biztosított DryFoam könnyebb volt, mint a gyártó által megadott adat; mindössze 0.112 g/cm^3 -t mértem, szemben a közölt 0.17 g/cm^3 fajsúly értékkel. [66]

A kísérleti égető edényeket vízzel töltöttem fel, majd ennek felszínére került az éghető folyadékként alkalmazott középbenzin. Mindhárom kísérleti szakaszban közel azonos tulajdonságokkal bíró üzemanyagot alkalmaztam, melynek a legfontosabb jellemzőit a 19. táblázat tartalmazza.

A feltüntetett adatok a II. és III. kísérleti fázis során felhasznált benzin laborvizsgálata során megállapított anyagjellemzők, az I. kísérlet üzemanyagáról ilyen részletességű elemzés nem készült.

Kísérleti szakasz	Tűzoltási tesztek száma	Égetőedény				Éghető folyadék		Elő-égetés	Szárazhab felhasználás tesztenként		Szárazhab bevezetés	
		típus	átmérő	magasság	hűtés		réteg-vastagság		tömeg	átlagos vastagság	iránya	kialakítása
I.	2	tartály	3,8 m	4,0 m	hűtés nélkül	középbenzin	5-7 cm	1 perc	25-50 kg	2-4 cm	Alsó bevezetés	Külső tartályból folyadékárammal bejuttatva
II.	4	tálca	1,2 m	0,3 m	hűtés nélkül/hűtéssel		9-12 cm	1-3 perc	11-19 kg	8,7-15 cm	Felső bevezetés	A lángtérbe "szórva"
III.	2	magas tálca ("hordó")	0,57 m	0,94 m	hűtés nélkül		3-3,4 cm	1 perc	1,45-2,85 kg	5-10 cm	Alsó bevezetés	Az égetőedény alján elhelyezett belső szárazhab tartályból
IV.	1	tartály	3,8 m	4,0 m	hűtés nélkül		3,1 cm	1 perc	127 kg	10 cm	Alsó bevezetés	Az égetőedény alján elhelyezett belső szárazhab tartályból

17. táblázat: A szárazhab tűzoltási kísérletek szakaszai; készítette a szerző 2015.

	Érték	Mértékegység
Sűrűség 15°C-on	0,7405	g/cm ³
Kezdőforrpont	59,8	°C
5 t ^o % átdestillál	89,8	°C
10 t ^o % átdestillál	101,2	°C
30 t ^o % átdestillál	120,2	°C
50 t ^o % átdestillál	130,2	°C
70 t ^o % átdestillál	139,2	°C
90 t ^o % átdestillál	152,4	°C
95 t ^o % átdestillál	159,6	°C
Végforrpont	171,0	°C
Átdestillált mennyiség	98,2	% (V/V)
Lepárlási maradék	1,1	% (V/V)

18. táblázat: A II és III. kísérleti szakasz során felhasznált középbenzin anyagjellemzői; készítette a szerző 2015.

A kísérletek időpontjában mért meteorológiai adatokat rögzítettem, azonban az időjárási körülmények nem voltak hatással a tesztek alakulására. A mért legnagyobb szélesség 1-1,1 m/s volt, míg a levegő hőmérséklete 5,9-9 °C között alakult.

A kísérletek lefolyásáról videokamerákkal filmfelvételt készítettem, törekedve a szárazhab égő folyadékfelszínen történő működésének felső helyzetből történő rögzítésére. A kísérletek II. szakaszában infravörös kamerával is rögzítettem a lángtér változásait, melyhez Dräger UCF 9000 típusú hőkamerát használtam.

4.2.1. I. kísérleti szakasz

A szárazhabbal Százhalombattán folytatott kísérletek első szakaszára 2013. november 25-26-án került sor. A teszteken részt vettek a DryFoam-ot gyártó amerikai vállalat képviselői, akik aktív szerepet vállaltak a vizsgálati feltételek kialakításában.

Az alkalmazott kísérleti tartály adatai:

- Állóhengeres, nyitott tartály;
- Átmérője 3,8 méter;
- Magassága 4,0 méter.

30. fénykép: A kísérleti tartály

Forrás: FER Tűzoltóság



A DryFoam bevezetését 1 perces előégetést követően kezdtük meg. A 30. fénykép a kísérleti tartályt és a külső szárazhab tartályt – melyből az üzemanyag folyadékfelszín alatt (subsurface application) juttattuk be az oltóanyagot – szemlélteti. A gyöngyök mozgatását a szárazhab tartályba szivattyúzott vízzel biztosítottuk, majd a tartályba juttatott DryFoam részecskék az üzemanyag rétegen áthaladva érték el a felszínt. A lángtérbe felúszó szárazhab gyöngyök a hő hatására aktiválódtak, és megkezdődött a „habkéreg” kialakulása.

A két alkalommal végrehajtott tűzoltási próba során alkalmanként 2-4 cm-es szárazhab réteg kialakításához szükséges oltóanyag mennyiséget használtunk fel.

A kísérlet lefolyását magasból, a tartály felett – emelőkosaras gépjármű kosarában – elhelyezett videokamerával rögzítettük. Az így készített felvételeken jól megfigyelhető és elemezhető a bevezetett szárazhab hatása. A szárazhab réteg a folyadékfelszín középső részén bizonyos mértékű zárást biztosított, így ott néhány perc elteltével csökkent a tűz intenzitása, majd átmenetileg nagyobb felületen megszűnt a lángolás.

Nem volt sikeres a tűzoltás azonban a tartálypalást melletti sávban, ahol körgyűrűszerű tűzfelület alakult ki. E jelenség hátterében a hasonló tűzoltási feladatoknál jól ismert „falhatás” azonosítható: a tűzveszélyes folyadék intenzív gőzképződése megakadályozta a habtakaró zárását, és folyamatos utánpótlást biztosított a lángoknak [33], aminek következtében nem sikerült a teljes felületen megszüntetni a lángolást.

A túlforrósodott tartálypalást hűtésére kézi vízsugarak kerültek alkalmazásra, azonban ezen eszközökkel sem volt biztosítható az acélfelület egyenletes hűtése.



19. táblázat: Az I. kísérleti szakasz; készítette a szerző 2015.

A folyadékfelület középső részén a habtakaró tartósnak bizonyult, de teljes záróképességét gyorsan elveszítette; a szárazhab rétegen áttörve kisebb lángok jelentek meg a korábban már eloltott felszínen. Később ezek a visszagyulladások folyamatosan égő felületként maradtak vissza, és a tartályfal mellett is állandósult a lángolás. [110]

Az I. kísérleti szakaszban lefolytatott tűzoltási próbák során az alkalmazott szárazhab nem szüntette meg a lángolást. A „sikertelenség” okait kutatva három, meghatározóan kedvezőtlen körülményt azonosítottam: 1. a felforrósodott tartálypalást okozta „falhatás”; 2. a túl vékony szárazhab réteg; 3. a szárazhab bevezetés módjának kedvezőtlen hatásai (például: áramlásokat és keveredést okozott a tartály tartalmában, a szállító közegként bevezetett víz, az üzemanyagon áthaladó gyöngyök szennyeződése).

4.2.2. II. kísérleti szakasz

A vizsgálatok következő szakaszában a korábban azonosított kedvezőtlen körülményeket kiiktatva igyekeztem végrehajtani tűzoltási próbákat. A II. szakasz tűzoltási tesztjeire a korábbiakkal megegyező helyszínen, 2015. december 4-én került sor.

Kísérlet	Égetőtálca külső hűtése	Benzin réteg-vastagság	Előégetés	Dryfoam felhasználás		Dryfoam bevezetés		Tűzoltás
				tömeg	átl. réteg-vastagság	módja	leírása	
II/1.	nem	10 cm	3 perc	19 kg	15 cm	Fólia zsák	A felfüggesztett, gyöngyökkel töltött fóliazsák a lángtérbe mozgatás után kiegészít, a gyöngyök (teljes mennyiség) az égő felszínbe zuhantak.	nem
II/2.	nem	12 cm	1 perc	19 kg	15 cm	Csúszda, majd a szárazhab szétterítése	Egy - a vízszinteshez képest 40-45°-os helyzetű acéllemez csúszdát emeltünk a lángtér fölé, majd ezen "lefolyatva", két szakaszban (50, majd 150 másodperccel később újabb 50%) juttattuk a szárazhabot a felszínre. A középső részen felhalmozódott szárazhabot a lánggyűrűbe húzva eloltottuk a tüzet, azonban a benzinnel szennyezett oltóanyag az ellenőrző lángtól azonnal visszalobbant.	nem/ részben
II/3.	nem	9 cm	1 perc	15,1 kg	11,92 cm	Csúszda	A II/2. tesztrel megegyező elhelyezkedésű csúszdán, valamint közvetlenül a felszínre juttattuk a szárazhabot, 8 adagra felosztva, szakaszosan felhasználva. (Az első 7 adagot 4 percen belül felhasználva.)	nem
II/4.	igen	12 cm	1 perc	11,08 kg	8,75 cm	Csúszda, majd irányított oltás	9,5 kg szárazhabot egyszerre, a fentiek szerinti csúszdával, majd 80 másodperccel később 1,58 kg mennyiségű gyöngyöt a palást mellett fennmaradt láng-gyűrű oltására - irányítottan öntve - használtunk fel.	igen

20. táblázat: A II. kísérleti szakasz tesztjei; készítette a szerző, 2015.

A kísérletsorozat e fázisában 1,2 méter átmérőjű, 30 centiméter magas acél égetőedényt használtam, amit egy nagyobb (2,5 méter átmérőjű) és magasabb (0,5 méter) tálca aljára rögzítettem. A külső edény vízzel történő feltöltésével az égetőtálca palástjának hűtésére kívántam lehetőséget biztosítani, mely megoldást a 4. tűzoltási próba során alkalmaztam. Felső szárazhab bevezetésre került sor, különféle módzatokban; a kísérletek részleteit a 21. táblázat tartalmazza. A tesztek lefolyását és a tapasztalatokat a 22. táblázat foglalja össze.

Kísérlet	Idő (min:sec)	A kísérlet leírása
II/1.	0:00	Gyújtás
	3:20	Szárazhab bevezetés. A lángtérbe zuhanó oltóanyagtól a benzin kifröccsent a külső tálcába, ahol kb. 4 percig lángolt, de a kísérlet alakulását ez nem befolyásolta.
	3:42	Kb. 15 % felületen "lábnyomszerű" alig lángoló felület alakult ki,
	3:53	A felület középső részén (65-70 %) csökkent a lángolás intenzitása,
	5:00	A középső 70-75 % kiterjedésű felszínen szárazhab kéreg alakult ki, ezen csak kisebb szorványos "lángocskák" törtek át, a gyűrű változatlan intenzitással égett.
	5:00-től	A lánggyűrűből szétterjedve egyre nagyobb felszínen nőtt a lángolás intenzitása.
	16:35	Tűzoltás porlasztott vízzel: A szárazhab által korlátozott lángolási felszín tűzoltása nagyon könnyen, minimális mennyiségű porlasztott vízzel végrehajtható volt.
II/2.	0:00	Gyújtás
	1:12	Szárazhab bevezetés (50%): A felület 30-35 %-án habkéreg kialakulása nélkül kialakult, fehér gyöngyfelszín látható. A lángmagasság a korábbi 15 %-ra csökkent.
	3:43	Szárazhab bevezetés (50%): 150 másodperccel az elsőt követően a szárazhab másik fele is bejuttatva: a középső 65-70 %-os felületen a tűz megszűnt körbe lánggyűrű égett.
	4:32	A középső részen felhalmozódott szárazhab széthúzásával eloltottuk a tüzet.
	5:30	A benzinnel szennyezett oltóanyag az ellenőrző lángtól visszalobbant (25-30%-on).
	6:20	A felszín 50%-a égett.
	9:10	A felszín 80%-a égett.
	10:00-től	Az égő felületen egyre csökkent a lángolás intenzitása.
	13:50	A felszín 90%-a égett.
	14:40-től	Az összefüggő lángoló felszín közepén habkéreg volt, amely alig égett, csak apró "lidérc-lángok" voltak láthatóak, mely a felszín rész egyre nagyobb volt.
	15:50	A felszín 50%-án alig lángoló habkéreg volt.
	18:00	A felszín 55%-át fedő habkéreg felszínén megszűnt a lángolás, további 10% nem gyulladt vissza (fehér szárazhab takarja); 35% ég.
	28:10	Tűzoltás porlasztott vízzel.
II/3.	0:00	Gyújtás
	1:11-1:21	3,7 kg DryFoam bevezetése csúszdán, továbbra is lángolt a teljes felszín. Lángmagasság az eredeti 40%-ra csökkent, majd kb. 60%-os magasságig növekedett.
	2:25-2:32	Újabb 3,7 kg DryFoam bevezetése csúszdán, továbbra is lángolt a teljes felszín. Lángmagasság az eredeti 25-35 %-ra csökkent, majd kb. 60%-ra növekedett.
	3:30-től	Szárazhab-kéreg látható foltokban a lángoláson át, de a teljes felszín ég.
	4:17-5:05	További 2 kg szárazhab szórás a lángtérbe - nincs változás.
	5:40-6:18	Újabb 3,7 kg DryFoam felhasználása, változás nincs, habkéreg látható a tűzben.
	14:56-16:00	Újabb 2 kg DryFoam felhasználása, közvetlenül a lángtérbe szórva. Továbbra is lángolt a teljes felszín, változás nincs, habkéreg látható a tűzben.
	16:35	Tűzoltás porlasztott vízzel.
II/4.	0:00	Gyújtás
	1:08	9,5 kg DryFoam bevezetése csúszdán, a középső felszínt eloltotta, kb. 15-20% gyűrűként ég tovább, a tűzgyűrű határán aktiválódás, állandó égés a palást mellett.
	2:35-2:58	1,58 kg mennyiségű gyöngyöt a palást mellett fennmaradt láng-gyűrű oltására - irányítottan öntve - használtunk fel, tűz eloltva.

21. táblázat: A II. szakaszban végrehajtott kísérletek lefolyása; készítette a szerző, 2015.

4.2.3. III. kísérleti szakasz

A tűzoltási tesztek következő fázisát 2015. december 22-én hajtottam végre, mely során ismét a felszín alatti szárazhab bevezetés mellett döntöttem. Az I. fázisban alkalmazottnál „kíméletesebb” szárazhab bejuttatás érdekében, a lángoló felszín alatt elhelyezett tartályból, az oltóanyag gyöngyök úszóképességét (alacsony fajsúlyát) kihasználva kívántam tűzoltásra képes réteget kialakítani.

Kísérleti tartályként egy – a korábbi próbáknál – kisebb tűzfelületet biztosító, de magasabb oldalfallal rendelkező acéllemez edényt (hordót) választottam, mivel a tartályban a tűzoltásra tervezett gyöngy mennyiséget is el kívántam előzetesen helyezni. Az oltóanyagot egy hasonló oldalarányú, de kisebb méretű fém edénybe töltöttem, amit a kísérlet előtt a folyadék alatt rögzítettem. A belső edény fedelét leemelve a DryFoam gyöngyök felúsztak a felszínre, és kialakították a tervezett vastagságú szárazhab réteget. A kísérletek jellemző adatait a 23. táblázat tartalmazza, a kísérlet lefolyását az 49. ábra szemlélteti.

Kísérlet	Égetőedény		Szárazhab tartály		Vízréteg	Éghető folyadék			Elő- égetés	Szárazhab felhasználás		Tűzoltás
	átmérő	magasság	átmérő	magasság		típus	réteg	tömeg		tömeg	átl. réteg- vastagság	
III/1.	57 cm	94 cm	36 cm	64 cm	77 cm-ig vízzel feltöltve	közép- benzin	3,4 cm	6,05 kg	1 perc	2,85 kg	10 cm	igen
III/2.							3,0 cm	5,66 kg		1,45 kg	5 cm	nem

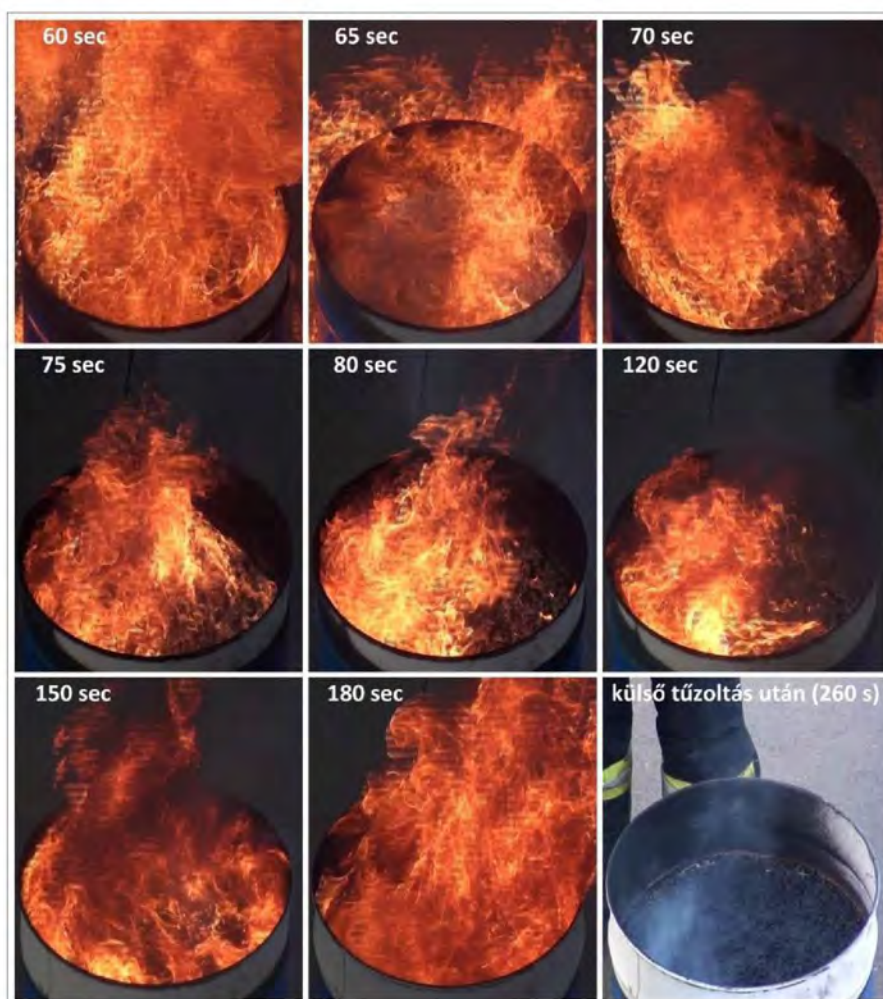
22. táblázat: Tűzoltási tesztek a III. kísérleti szakaszban; készítette a szerző 2015.

Az alkalmazott szárazhab mennyiséget a II/4. számú – sikeres tűzoltást eredményező – teszt alapján határoztam meg. A rétegvastagságot 10 cm-re növeltem, mivel ebben az esetben nem hűtöttem a kísérleti edény falát, illetőleg nem terveztem kiegészítő gyöngymennyiség utólagos, irányított alkalmazását sem a tűzoltás befejezése érdekében. A közvetlen külső palásthűtés elmaradásának hatását ellensúlyozta a tartályba töltött nagy mennyiségű folyadék hűtő hatása. A kísérlet kezdetekor az égetőedény a térfogatának több mint 85%-áig volt vízzel, valamint középbenzinnel feltöltve.

Az első (III/1. számú) kísérlet eredményessége után a szárazhab mennyiség megfeleléséről döntöttem. A csökkentett mennyiségű, 5 cm rétegvastagságra elegendő szárazhab nem volt képes a tűz eloltására. A lángolás intenzitása kezdetben csökkent, majd ismét erőteljesebbé vált (50. ábra).



49. ábra: A III/1. kísérlet tűzoltásának lefolyása; készítette a szerző, 2015.



50. ábra: A III/2. számú (sikertelen) tűzoltási kísérlet 5 cm rétegvastagságú szárazhabbal;
készítette a szerző, 2015.

A III. szakaszban végrehajtott két kísérlet lefolyását és a tapasztalatokat a 24. táblázat tartalmazza.

Kísérlet	Idő (min:sec)	A kísérlet leírása
III/1.	0:00	Gyújtás
	1:03	Szárazhab tartály megnyitása
	1:07	Teljes felszínen DryFoam volt látható, a teljes felszín csökkent intenzitással lángolt tovább.
	1:30	A felület középső részén (40-50 %) megszűnt a lángolás, a szárazhab felszíne megbarnult.
	2:00	A felszín 20%-a lángolt.
	2:20	10% lángolt, 3 foltban.
	2:44	A felszín 5%-a lángolt, 2 foltban, 6-8 cm-es lángokkal.
	3:10	2-3% lángolt, 2 foltban, 4-5 cm-es lángokkal.
	3:30	1% lángolt, 2 foltban, 2-3 cm-es lángokkal.
	3:57	Tűz további beavatkozás nélkül kialudt.
III/2.	0:00	Gyújtás
	1:00	Szárazhab tartály megnyitása
	1:05	Teljes felszínen DryFoam volt látható, a teljes felszín csökkent erősséggel lángolt tovább, a lángmagasság kb. 30%-ra csökkent.
	1:30	A felszín egyre erősebben égett, növekvő lángmagasság mellett.
	4:00	Tűzoltás porlasztott vízzel.

23. táblázat: A III. szakasz kísérleteinek lefolyása; készítette a szerző 2015.

4.2.4. IV. kísérleti szakasz

A tűzoltási tesztek – eddigi – záró fázisát 2016. február 20-án hajtottam végre, mely során a III. fázis eredményes tűzoltási próbájának nagyobb méretekben történő megvalósítása volt a cél. A levegő hőmérséklete a tűzoltási kísérlet időpontjában 6 °C volt, enyhe 1,5-1,8 m/s erősségű változó irányú délkeleti (140-150°) szél fújt.

Visszatértem az I. fázisban már alkalmazott égetőtartályhoz (4.2.1 fejezet; 30. fénykép) és ismét a felszín alatti szárazhab bevezetés mellett döntöttem.

A III. fázisban alkalmazottal megegyező módon – a lángoló felszín alatt előzetesen elhelyezett tartályból az oltóanyag gyöngyök úszóképességét kihasználva – terveztem tűzoltásra képes réteget kialakítani. Az oltóanyagot egy 1.200 liter térfogatú, IBC konténer-tartályból (1.000 liter térfogatú) kialakított, teljes tetőfelületén (1,2 m²) külső működtetéssel nyitható tartályban helyeztem el, amit a kísérlet előtt a folyadékfelszín alatt rögzítettem. A konténer fedelének nyitása után a gyöngyök felúsztak a felszínre, és ott szétterülve kialakították a tervezett vastagságú szárazhab réteget. Két kísérletet hajtottam végre: egy tűz nélküli, működési és „hideg” habterülesi próbát, és egy tűzoltási próbát. A két kísérlet adatait a 25. táblázat mutatja be.

Kísérlet	Égetőedény		Szárazhab tartály		Vízréteg	Éghető folyadék			Elő- égetés	Szárazhab felhasználás			Tűzoltás
	átmérő	magasság	térfogat	nyílás felület		típus	réteg	menny.		tömeg	átl. réteg- vastagság	bevezetés időtartama	
IV/1. "hideg" próba	3,8 m	3,5 m	1200 liter	1,2 m ²	3,0 m	-	-	-	-	120	95 cm	15 sec	-
IV/2. Tűzoltási próba				0,6 m ²		közép- benzin	3,1 cm	350 liter	80 sec	127	10 cm	12 sec	részleges

24. táblázat: Tűzoltási tesztek a IV. kísérleti szakaszban; készítette a szerző, 2016.

A tűzoltási kísérlet éghető anyaga ebben az esetben is középbenzin volt, amely kicsit „könnyebb” volt, mint a korábban alkalmazott. (25. táblázat)

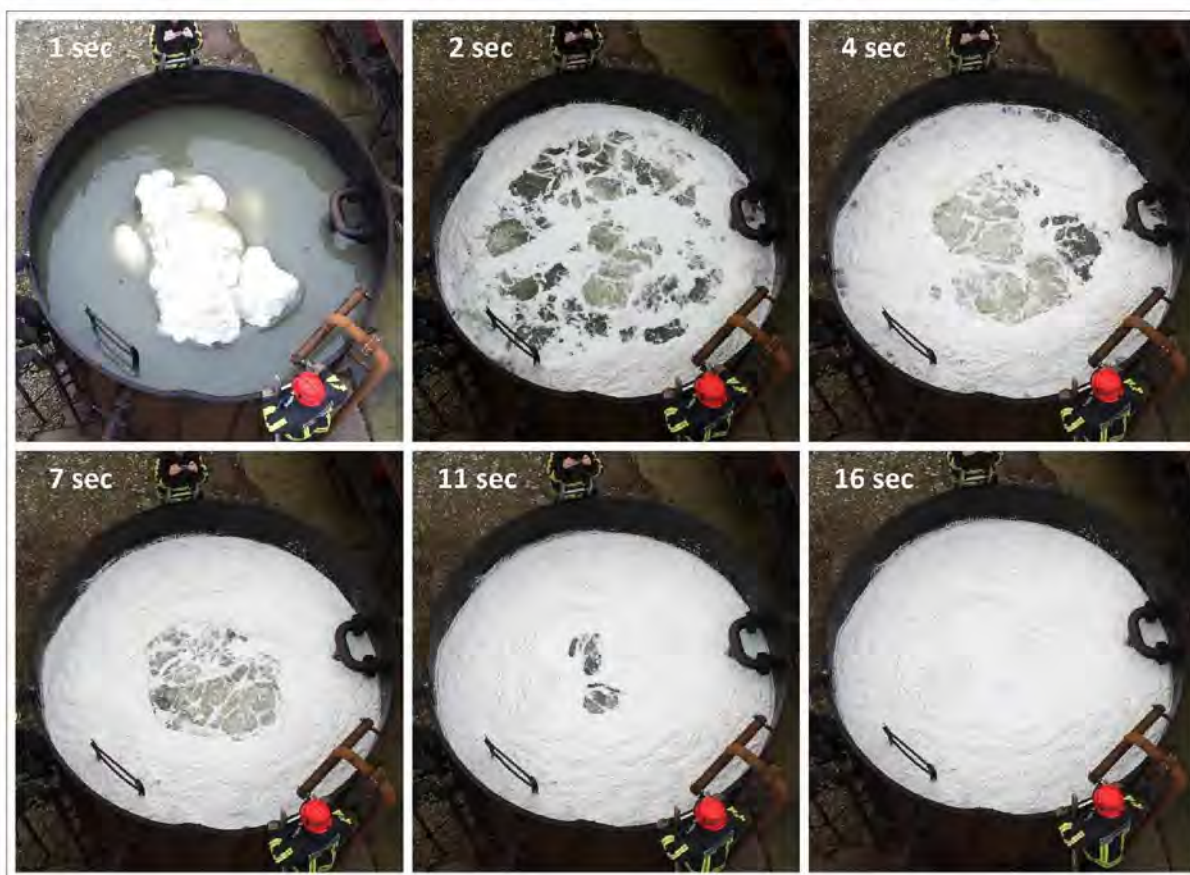
	Érték	Mértékegység
Sűrűség 15°C-on	0,7390	g/cm ³
Kezdforrpont	56,9	°C
5 tf% átdesztillál	84,6	°C
10 tf% átdesztillál	95,8	°C
30 tf% átdesztillál	116,8	°C
50 tf% átdesztillál	127,0	°C
70 tf% átdesztillál	136,0	°C
90 tf% átdesztillál	149,4	°C
95 tf% átdesztillál	157,5	°C
Végforrpont	168,9	°C
Átdesztillált mennyiség	98,2	% (V/V)
Lepárlási maradék	1,1	% (V/V)

25. táblázat: A IV. kísérleti szakaszban alkalmazott középbenzin anyagjellemzői:

készítette a szerző, 2016.

Az alkalmazott szárazhab mennyiséget a korábbi sikeres tűzoltási tesztek alapján állapítottam meg. Az átlagos rétegvastagságot 10 cm-ben határoztam meg, azaz 127 kg szárazhab került felhasználásra. A tűzoltási kísérlet során a tartály falát nem hűtöttem.

A tűz nélkül végrehajtott működési és oltóanyag területi próba során (51. ábra) a berendezés megfelelően működött, azonban a gyöngyökből kialakult habréteg vastagsága a tartály középső részén nagyobb, mint fél négyzetméter felületen nagyon vékony volt, csupán 1-2 gyöngy vastagságú.



51. ábra: A „hideg” szárazhab-területi próba; készítette a szerző, 2016.

A filmfelvételek elemzése alapján az oltóanyag-tartály tetején kialakított kiáramlási keresztmetszet csökkentése mellett döntöttem, mivel a szárazhab nagy sebességgel emelkedett a felszínre; valószínűsíthetően ezzel a magas intenzitással a középső felszín kisebb takarását okozva.

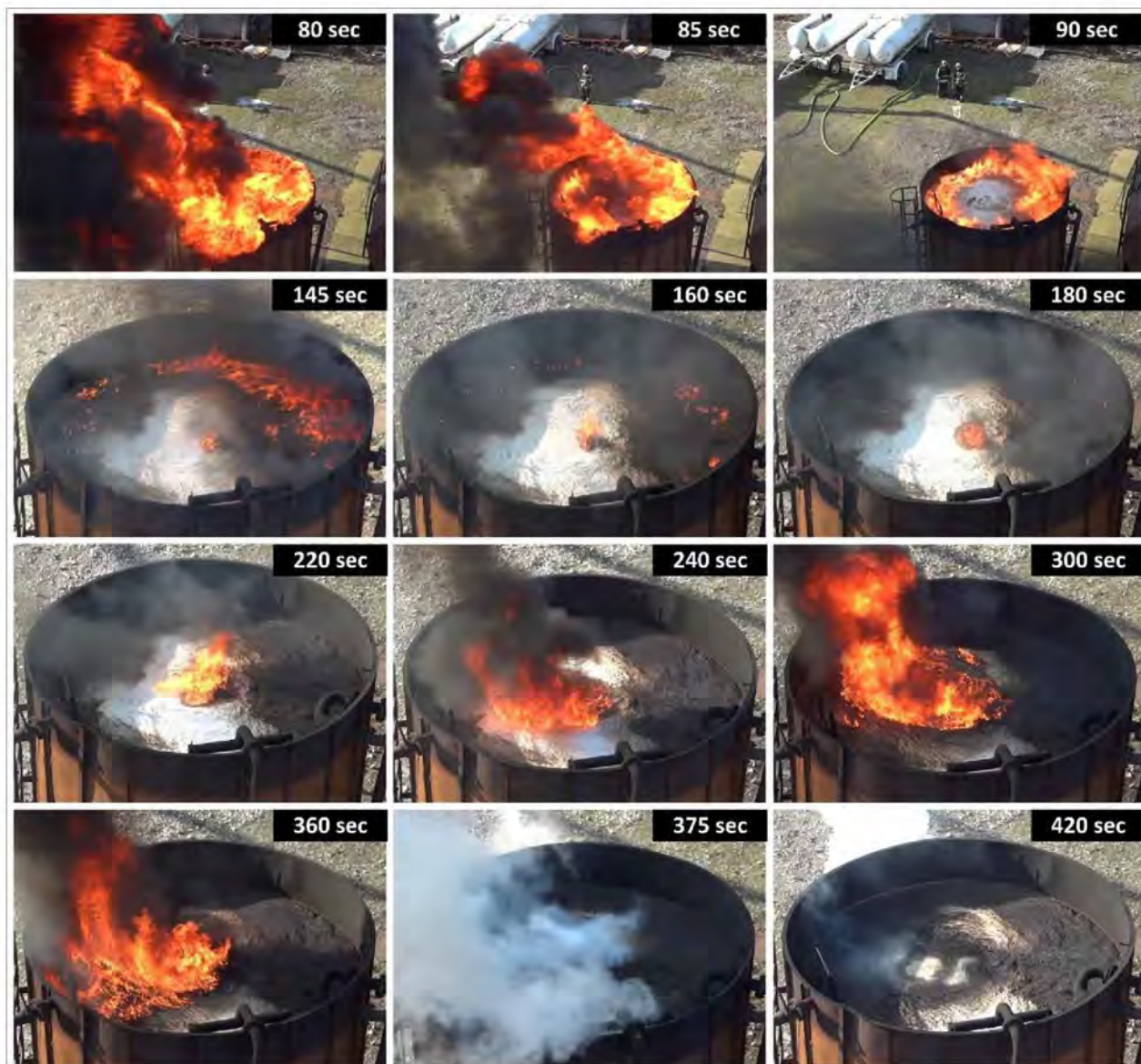
Kísérlet	Idő (min:sec)	A kísérlet leírása
IV/2.	0:00	Gyújtás.
	1:20	Szárazhab bevezetés indítása.
	1:33	Szárazhab bevezetés befejeződése, a felszín középső 50 %-os felületén nincs lángolás.
	1:36	Körben, gyűrűszerűen, kb. a felszín 50%-án égett a palást melletti felszín, valamint középen a gyöngy beáramlás helyén (kb. kéttenyérnyi felületen) voltak lángok.
	2:20	A gyűrűszerű lángolás intenzitása és kiterjedése (kb. a felszín 30%-ra) csökkent, középen továbbra is kb. kéttenyérnyi felületen voltak intenzív lángok láthatóak.
	2:40	A gyűrűszerű lángolás felszíne alig égett, kiterjedése kb. a felszín 15 %-a, középen továbbra változatlan felületen és intenzitással voltak láthatóak lángok.
	3:00	Középen kb. 30 cm átmérőjű felszín lángolt intenzíven, valamint a felszín 2-3 %-án "lidérc lángok" voltak láthatóak. A felszínen átvezető cső (NA 100) mellett folyamatos (kb. 10 cm magasságú) lángolás volt látható.
	3:40	A csővezeték melletti lángolás (változatlan intenzitással) állandósult, a középső tűz átmérője kb. 50 cm.
	5:00	Az égő felszín-rész kiterjedése kb. 15 % volt, a vezeték melletti lángolás kialakult.
	6:00	Az égő felszín-rész kiterjedése kb. 16-18 %, nagyon lassan növekedett. A lángolás állandósult, nem túl intenzív.
	6:12	Habpermet belövellés történt kézi habsugárból (kb. 1,2 másodperc, 1 liter).
	6:15	Tűz eloltva.

26. táblázat: A IV/2. tűzoltási kísérlet leírása; készítette a szerző, 2016.

A IV. szakaszban végrehajtott tűzoltási kísérlet (IV/2.) lefolyását az 52. ábra szemlélteti, a tapasztalatokat a 26. táblázat foglalja össze.

A szárazhab tartály csökkentett kiáramlási keresztmetszete ellenére túl nagy intenzitással áramlott az oltóanyag a felszínre, ami – a IV. számú „hideg” próbához hasonlóan – vékonyabb gyöngyréteget eredményezett a felszín középső részén. A középen visszamaradt lángolás később nagyobb felületen gyújtotta vissza a felszínt, azonban a tűz rendkívül gyorsan, kevés haboldat felhasználással elolthatónak bizonyult.

A kísérletet követő ellenőrzések során a felszín nagy részén 10 cm-es, vagy annál vastagabb szárazhab-takaró vastagságot mértünk. A felszín közepén, egy hozzávetőlegesen 1 méter átmérőjű felületen, ennél vékonyabb réteg alakult ki, a középső negyed négyzetméteren a gyöngyréteg vastagsága alig érte el az 1 centimétert.



52. ábra: A IV/2. tűzoltási kísérlet; készítette a szerző, 2016.

4.2.5. Következtetések

Az előzetes vizsgálatok során, elsősorban a DryFoam kipárolgás csökkentésben, a tűzveszélyes folyadék felületek tüzmegelőzésében történő alkalmazhatóságát vizsgálták. A kitűnő eredményeket produkáló szárazhab tűzoltási használhatósága korábban még nem nyert igazolást. Kísérleteim során az alábbiakat tapasztaltam:

- Megfelelő körülmények és alkalmazási mód esetén a szárazhab alkalmas tűzoltásra.
- A tűzoltási modellkísérletek során hozzávetőlegesen 10 cm (4 inch) DryFoam réteg alkalmazásával eredményes tűzoltási próbákat sikerült végrehajtani, valószínűsíthetően 8-10 cm-es rétegvastagság a minimális alkalmazási intenzitás.

- Meghatározó a szárazhab bevezetés időtartama: a szükséges szárazhab gyöngy mennyiséget rövid idő alatt kell a felületre bevezetni. Időben elnyújtott szárazhab bevezetés esetén a DryFoam nem volt képes tűzoltási hatást kifejteni.
 - A DryFoam aktiválódása következtében létrejött térfogat növekedés mértéke kisebb volt a gyártó által közölt előzetes adatoknál. A gyöngyök térfogata nem, vagy csak kis mértékben nőtt a tűzoltás során.
 - Habkéreg csak a lánghatásnak kitett felszínen alakult ki, viszonylagosan kisebb vastagsággal. A kéreg alatti gyöngyrétegen elváltozás nem volt látható.
 - A tűzoltásra alkalmas mennyiséget megközelítő, de annál kevesebb szárazhab bevezetésének eredményeként átmenetileg számottevően csökkent a lángolás intenzitása: lecsökkent a tűzfelület mérete és/vagy a lángmagasság.
 - A hő hatására aktiválódott szárazhab kéreg az égő felszínen foltokban korlátozta a lángolást, de a szárazhab kérgen áttörve kisebb „lángocskák” jelentek meg. Ezek a lángnyelvek időként kialudtak, majd újabbak keletkeztek; fennmaradt a folyamatos égés. Magyarázatként azt valószínűsítem, hogy a kéreg alatti gyöngyréteg közötti teret az éghető folyadék gőze tölti ki, melynek gőznyomása a tűz hatására megnöve szórványosan, néhány ponton átszakítja a rugalmas kéreg réteget. A átáramló benzingőz kisebb lángolást okozva elég, a láng kialszik, vagy a lángmagasság lecsökken, majd a gőznyomás növekedésével ismét erőre kap.
 - A szárazhab által korlátozott lángolású felszín tűzoltása nagyon könnyen, minimális mennyiségű porlasztott vízzel végrehajtható volt.
 - Az eredményes tűzoltás érdekében külön hűtést kell biztosítani a felforrósodott felületekre, mivel a szárazhabnak nincs hűtőhatása.
- A „szárazhab” alkalmazási lehetőségeinek feltárására további elemzések és tűzkísérletek szükségesek, melyek során – többek között – az alábbiakat javasolom vizsgálni:
- Tartálytűz esetére lehetséges módok kidolgozása a DryFoam lángterbe juttatására – a tartály technológia és tűzjellemzők függvényében.
 - Tűzoltáshoz szükséges legkisebb szárazhab mennyiség, alkalmazási intenzitás, illetőleg rétegvastagság megállapítása.
 - A DryFoam más oltóanyagokkal, hűtő- oltórendszerekkel, illetőleg beavatkozási módokkal történő együttes alkalmazásának kutatása a hatékonyság fokozása érdekében. Véleményem szerint – különösen időben és/vagy mennyiségben korlátozott vízellátás esetén – nyithat új lehetőséget a szárazhab és más megoldások együttes alkalmazása.

- Az előzőekben megfogalmazott kutatásokkal összhangban a szárazhab alkalmazására alkalmas technikai rendszer kifejlesztése, ami különleges kihívást jelent. A jelenleg használatos beavatkozási rendszereket vízalapú tűzoltó habok felhasználására alakították ki, melyek a szárazhab bevetését nem tudják biztosítani.
- Kutatni javasolom más, de működését tekintve hasonló, olaj- és víztaszító tulajdonságú, úszóképes, tűzálló, habszerű anyagok létrehozását és vizsgálatát. Véleményem szerint más (például természetes alapanyagú) szárazhabok is jól alkalmazhatóak a DryFoam esetében azonosított használati célokra, sőt esetleges előnyösebb tulajdonságokkal további tűzvédelmi feladatokra is környezetbarát megoldást kínálhatnak.

BEFEJEZÉS

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

Az értekezés bevezetőjében indokoltam témaválasztásomat és a mobil tartálytűzoltás tűzoltási taktikáinak, alkalmazott technikai eszközrendszereinek fejlesztésére irányuló kutatásom aktualitását. Meghatároztam kutatási céljaimat, hipotéziseket állítottam fel, és kiválasztottam azokat a legfontosabb kutatási módszereket, amelyekkel célkitűzésemet el kívántam érni.

Kutatási célkitűzésemmel összhangban, értekezésem 1. fejezetében bemutattam és tanulmányoztam az atmoszférikus, éghető folyadékot tároló tartályok, felfogóterek, valamint kapcsolódó technológiák kialakítását, legfontosabb jellemzőit, tüzeseteik típusait, azok előfordulásának gyakoriságát és különleges jelenségeiket. Az egyes tűztípusok értékelő elemzése alapján meghatároztam azon szempontokat, melyek alapján azonosíthatóak és rendszerezhetőek a tartálytüzek típusai, és azok legfontosabb tűzoltási jellemzői. Értékeltem a különféle tartály kialakítások, és ennek megfelelően eltérő tartálytűz események előfordulási gyakoriságát, mely adatok alapján terveztem meg az értekezés további fejezeteiben ismertetett kutatásaimat.

Célkitűzéseimmel összhangban az alábbi főbb következtetésekre és megállapításokra jutottam:

- A különféle tartálytűz típusok rendszerezése és elemzése alapján, a beavatkozás összetettségére, tűzoltási teljesítmény igényére, valamint az előfordulási gyakoriság adataira figyelemmel, meghatároztam a legfontosabb fejlesztendő tartálytűz oltás típusokat: a teljes felületű tűz, valamint a nyitott úszótetős tartályok tömítőrés tüzeinek oltása.
- Az éghető folyadékot tároló nagyméretű atmoszférikus tartályok esetében előforduló tűztípusok elemzésével bizonyítottam, hogy a tárolótartályok – különösen a tetőszerkezet – kialakításától függően, különböző tűztípusok alakulnak ki.
- Megállapítottam és példákkal bizonyítottam, hogy az éghető folyadékot tároló nagyméretű atmoszférikus tartályok tüzeinek térbeli kiterjedése, a lángolás térbeli alakja és elhelyezkedése határozza meg a tűzoltás lehetőségét és módozatát. Tudományos célkitűzésemmel összhangban, nemzetközi és hazai kutatási eredmények felhasználásával rendszerbe foglaltam a pontszerű, lineáris és felületi tűztípusokat, meghatároztam az egyes alkategóriák legfontosabb égési és tűzoltási jellemzőit.
- Megállapítottam, hogy sugárszerű tűz oltásakor a beavatkozás során – tartósan – meg kell szüntetni az áramló folyadék lángolását és a felületi tüzet egyaránt. A sugárszerűen égő áramló folyadék kombinált módon történő tűzoltásának lehetőségét a bevetésre kerülő porraloltó eszközök hatásos sugártávolsága határozza meg.

- Kísérleti úton, mérésekkel alátámasztva bizonyítottam, hogy a kiforrás vagy kivetődés bekövetkezésekor a tűzfelület kiterjedése és a hőszugárzás mértéke olyannyira megemelkedik, hogy az a lángoló tárolótartály környezetére, valamint a beavatkozókra közvetlen veszélyt jelent.
- A tűzoltást a kiforrás vagy kivetődés bekövetkeztét megelőzően kell végrehajtani. Sikertelenség esetén fel kell készülni a beavatkozó erők gyors kivonására, valamint a környezet nagyobb távolságból történő védelmére. A tűzoltásban résztvevő erők és eszközök kivonását a jelenségeket megelőző, forrásszerű hangok jelentkezésekor haladéktalanul végre kell hajtani.

A dolgozat következő, 2. fejezetében a tartálytűzoltás mobil eszközökkel történő végrehajtásának rendszerét, feltételeit és fejlesztési lehetőségeit kutattam. Célkitűzésemmel összhangban e beavatkozási terület erőforrás rendszere állt figyelmem középpontjában. Ennek érdekében áttekintettem a beépített és mobil tűzoltó rendszereket, valamint rendszereztem a helyszínre szállítható eszközökkel és anyagokkal történő kárelhárítás feltételeit. Ezen elemzésekre építve választottam meg a kutatásaim során vizsgált fejlesztési részterületeket: a tűzoltó porok korszerű alkalmazásának fejlesztését; az új tűzvédelmi anyagként kifejlesztett olaj- és víztaszító tulajdonságú, üreges gyöngyökből álló, úszóképes, tűzálló szárazhabbal kapcsolatos kutatásokat; a mobil tartálytűzoltás műszaki eszközeinek fejlesztését; valamint a mobil eszközökkel történő tartálytűzoltás tervezési módszerének kutatását.

A célkitűzésemnek megfelelően az alábbi következtetésekre jutottam:

- A habbaloltás környezetvédelmi hatásairól csak teljes ökomérleg készítésével kaphatunk valós képet, hiszen a gyors tűzoltás – még kedvezőtlenebb környezeti hatású oltóanyag alkalmazása esetén is – csökkentheti az égéstermékek és a felhasznált oltóanyag által okozott teljes környezetterhelést, levegő-, talaj- és vízszennyezést.
- A fluormentes habanyagok tartály-tűzvédelemben történő alkalmazását megelőzően, ajánlott a védett terület, az előforduló éghető folyadék típusok, a rendelkezésre álló tűzoltótechnika, és az alkalmazható beavatkozási taktika figyelembevételével elemzést és tesztek lefolytatni; valamint ki kell kérni a bevezetésre tervezett habanyag gyártójának állásfoglalását is.
- Nagyméretű, éghető folyadékot tároló, védőgödörrel kialakított tartályok palástsérülése következtében kiáramló anyag sugárszerű „térbeli” tűznek oltására vonatkozóan bizonyítottam a közös-tengelyű, por-hab kombinált oltósugár képzésére alkalmas eszközök szükségességét. Igazoltam, hogy e beavatkozás-típus hatékonysága és eredményessége javítható a közös-tengelyű, por-hab kombinált oltósugár alkalmazásával.

- Azonosítottam a közös-tengelyű, por-hab kombinált oltósugárral működő eszközök megjelenésével nyíló – tűzoltási módszereket és technikai eszközöket érintő – fejlesztési lehetőségeket.
- Értékeltem az olaj- és víztaszító tulajdonságú, üreges gyöngyökből álló, úszóképes tűzálló szárazhab gyakorlati felhasználásának fejlesztésére irányuló kutatásokat, valamint azonosítottam az éghető folyadékok tüzeinek – elsősorban atmoszférikus tárolótartályok – oltása során történő alkalmazhatóságának lehetőségét.
- A tartálytüzek mobil eszközökkel történő oltására vonatkozó tervezési eljárások értékelő elemzésével, valamint a korábbi fejezetekben ismertetésre került kísérletek alapján, kidolgoztam az európai ajánlásban rögzített, a mobil tartálytűzoltás tervezésére irányuló számítási módszerek magyarországi bevezetésének módszerét, melyben biztosítottam a hazai sajátosságok és nemzetközi iránymutatások összhangját. Konkrét szakmai javaslatot tettem
 - a haboldat-intenzitás és a tervezési tűzoltási idő meghatározására vonatkozó szabályok megállapítására;
 - a tartálytűzoltási műveletek tervezésére és végrehajtására vonatkozó eljárásrend módosítására és kiegészítésére.
- A nagyfelületű tűzoltás, ezen belül a tartálytűzoltás vízellátásának biztonsága hatékonyan javítható mobil vízellátó rendszerek készenlétben tartásával. A helyi adottságokhoz igazított kialakítású, korszerű, cserefelépítményekkel gyorsan mobilizálható rendszerek akár nagy oltóvíz térfogatáram szállítására is alkalmasak.
- Nagyfelületű tartálytüzek esetén a hab- vízágyúk alkalmazhatósága fokozható a telepíthetőségi korlátaik csökkentésével, a hatásos működés teljesítmény tartományuk szélesítésével, valamint oldatteljesítményük szabályozott megválasztásának fejlesztésével.
- Meghatároztam a „mobil tartálytűzoltó központ” továbbfejlesztésének irányát: a berendezéshez kapcsolódó habágyú szabadon telepíthetőségének megvalósításával az egység általános alkalmazhatósága javítható és optimalizálható, ami különösen a közlekedési felületek előnytelen elhelyezkedése, valamint kedvezőtlen időjárási körülmények (szélirány és szélereősség) esetén kiemelkedő jelentőségű.
- A nagyméretű tárolótartályokat üzemeltető létesítmények helyi védelemi képességére építve fejleszthető a mobil tartálytűzoltásra alkalmas hazai készenléti rendszer. A létesítményekben rendelkezésre álló erőforrások hatékonyan egészíthetik ki az ország katasztrófavédelmi rendszerének képességeit.

A tartálytüzek és tűzoltási lehetőségek vizsgálatára többnyire modellkísérletek útján kerül sor, melyek valós körülményekre vetíthető eredményessége a tényleges méretektől nagyságrendekkel való eltérés okán megkérdőjelezhető. Munkám során célom volt a nagyméretű, teljes felületű tartálytüzek fizikai jellemzőinek és mobil tűzoltási lehetőségének tanulmányozása, a fejlesztési lehetőségek meghatározása.

Kutatásaim során lehetőségem nyílt valós méretű, természetes tűzoltási kísérletek végrehajtására. Tapasztalati megfigyelésen és kísérleteken alapuló munkám a korszerű mobil oltórendszerek különféle elemeinek vizsgálatára, habbaloltási és tartálytűzoltási kutatások lefolytatására irányult. A tanulmányozott tűztípusokat és kutatási feltételeket célirányosan valósítottam meg; pontos és reprodukálható vizsgálati módszereket alkalmaztam, ellenőrzött körülmények között.

Értekezésem 3. és 4. fejezetében – az előzőekben azonosított ismeretekre és következtetésekre építve – empirikus vizsgálataim körülményeit és legfontosabb eredményeit foglaltam össze: a 3. fejezetben az alkalmazott tűzoltás taktika fejlesztésére irányuló két természetes tűzoltási kísérlet-sorozatomat ismertettem, míg a 4. fejezetben az oltóanyag alkalmazás fejlesztését, valós méretű és modell kísérletek útján kutattam.

A 3. fejezet első részében a teljes felületű tartálytüzek jellemzőinek kutatására végrehajtott tűzoltási kísérleteket mutattam be. Megfigyelésekkel és mérésekkel vizsgáltam a tartálytűz hőmérsékleti viszonyainak alakulását, majd ezen adatok alapján meghatároztam a nagyteljesítményű mobil habsugár bevezetésének legkisebb habroncsolódással járó, és – ezáltal – leghatékonyabb felületi tűzoltást biztosító módját.

A tűzoltási tesztek alapján a legfontosabb megállapítások:

- A kísérlet során tapasztalt lángelhajlás meglepően magas mértéke, valamint a szélirányba eső tartályon mért hőmérséklet emelkedés mértéke is a veszélyeztetettebb, szomszédos tartály védelmének fontosságát mutatja. Hasonlóan erős és kedvezőtlen irányú szél esetén gondoskodni szükséges a veszélyeztetett szomszédos tartály – tömítőzésének – védelméről, például a veszélyeztetett körgyűrűszakasz habtakarásával, folyamatos felügyeletével, valamint a tűzoltás előkészítésével (kézi habsugarak szerelésével, félstabil habfolyatók táplálásának előkészítésével, stb.).
- Hőszugárzás mérések alapján megállapítottam, hogy teljes felületű tartálytűz esetén
 - a hőszugárzás értéke szélirányban sokkal magasabb volt, mint a szél felől; valamint a szomszédos tartályok tetején sokkal nagyobb volt, mint talajszinten,
 - a lángtér alsó részén egy erőteljes, állandó hőszugárzású zóna alakult ki, mely „láng talpazat” vastagsága körülbelül 5 méter ($0,12 D$), és a teljes hőszugárzás hozzávetőlegesen 20-30 %-a ebből a zónából került kibocsátásra,

- az alsó lángzónán túl, körülbelül 2,5 másodpercenként egy erős tűzgömb formájú hőszugárzó zóna jött létre a láng közepén,
- a tartály fölött húzódó „láng talpazat” után a legnagyobb sugárzás kibocsátás 20-30 méterrel (0.5-0.75 D) az alsó zóna felett alakult ki.
- Megállapítottam, hogy a nagyteljesítményű oltóvízrendszerek működés biztonságának javítására a jelenlegi vízforrás felülvizsgálati gyakorlatot ki kell egészíteni rendszeresen végrehajtandó, áramlástan tervezéssel meghatározott pontokon történő, nagy (a területen mértékadó) térfogatáramú oltóvízhálózat mosatással; valamint a rendszerből egyidejűleg kivehető oltóvíz mennyiségi és minőségi ellenőrzésével.
- Az oltási idő és az oldatteljesítmény/adagolási intenzitás összefüggését valós méretű tűzoltási kísérlettel igazoltam; a tűzoltási teljesítmény növelésével az oltás időtartama csökkent.
- Kísérleti úton igazoltam a nagyteljesítményű habágyúk alkalmazásán alapuló, tartálytűzoltásra kifejlesztett korszerű új tűzoltási taktika hatékonyságát, valamint a korszerű, 1 %-os bekeveréssel alkalmazható habképző anyagok tűzoltási hatékonyságát. Bizonyítottam a „mobil tartálytűzoltó központ koncepció” előnyeit és megfelelőségét, valamint a mobil egységbe beépített, teljes oltási teljesítményre méretezett nyomásfokozó szivattyú szükségességét.
- A mérésekkel bizonyítottam, hogy feltöltött tartály esetén a legnagyobb hőterhelésnek a palást legfelső szakasza van kitéve; azaz, a felső merevítő él alatt 50-80 centiméterrel elhelyezett palásthűtő vízfüggöny pozíciója nem megfelelő: védelem nélkül hagyja a palást felső, hűtőzáporoztató gyűrű feletti szakaszát, amit belülről sem véd a tárolt anyagtömeg pozitív hűtőhatása. Javasolt a palásthűtők lehető legmagasabb palástszakaszra történő áthelyezése.
- A nagyméretű atmoszférikus szénhidrogén tároló tartályok teljes felületű tűzének oltásával kapcsolatosan kísérleti úton, mérésekkel és megfigyelésekkel alátámasztva
 - bizonyítottam, hogy a hőmérséklet a tartályfelszín középső részén alacsonyabb, mint a tartálypalást mentén; a hőmérséklet a tartálypalást mentén a legmagasabb, a felület közepe irányában egyre alacsonyabb hőmérséklet mérhető.
 - meghatároztam az oltóhab belövésének legkedvezőbb módját a teljes felületű tartálytűz a habágyúval történő oltása során: az oltóanyagot az égő folyadékfelület középső részére a legcélravezetőbb juttatni, így biztosítható a felszínen szétterülő hab legkisebb roncsolódása.
 - a habágyúval belőtt oltóhab bejuttatásának legkedvezőbb területe a tartály felett húzódó forró, lapos „láng talpazat” és a lángtér felső, forróbb lángzónája közötti alacsonyabb hőmérsékletű lángtér rész. Az oltóhab belövése ezen a rétegen keresztül, a tartálypalást felett alacsonyan irányítva juttatható a legkisebb veszteségek árán a folyadékfelszínre.

- A szétterülő hab a forró fémfelületekkel érintkezve rendkívüli mértékben roncsolódik. Ennek következtében a bejuttatási helytől távol eső, ez által a habsugár által nem hűtött fémfelületek mentén a tűzoltás elhúzódhat.
- Biztosítani kell a habsugár „kíméletes” folyadék felszínre juttatását, elkerülendő az oltóanyag megfűrdését, aminek következtében a hab-megsemmisülés aránya emelkedik. Ezen túl a megmerült hab a felszínen magával ragadhatja az égő anyag egy vékony rétegét, tüzet okozva a hab felszínén is. Ennek érdekében:
 - Kerülni kell a túlságosan nagy sebességgel, túlságosan kötött sugárként történő habbelővést.
 - Biztosítani kell a lehető legnagyobb habkiadásságú oltóhab alkalmazását, a megmerülés csökkentése, valamint a sugárban áramló külső habréteg hővédő képességének növelése érdekében.
 - Lehetőség szerint a hablővellést, vagy folytatást a felfogóteret határoló falra, a tartályra, vagy más szerkezetre irányítva, ütköztetve-folyatva kell szétteríteni.

Valós tartályon, üzemi méretű kísérletsorozat keretében vizsgáltam a leggyakrabban előforduló tartálytűz típus, a nyitott úszótetős tartályok tömítőrés tüzének mobil tűzoltását, mely kutatásaimat szintén a 3. fejezet tartalmazza. Az irányítással végrehajtott kísérletek igazolták, hogy a körgyűrűtüz biztonságosan számolható fel a tartály körjárdájára történő felhatolással, szállítható és mozgatható felszerelések összehangolt, tervszerű bevetésével. A gyakorlatok tapasztalatai alapján meghatároztam e beavatkozási módszer alapvető feltétel- és szabályrendszerét.

Az alábbi – legfontosabb – megállapításokat és következtetéseket tettem:

- Kísérletsorozattal igazoltam a körgyűrű tüzek mobil eszközökkel történő eloltásának lehetőségét: kizárólag mozgatható eszközökkel, felkészült irányítói és beavatkozó tűzoltó-állomány bevetésével biztonságosan és hatékonyan oltható el a nyitott úszótetős tartályok körgyűrű tüze.
- Magasba történő alapvezeték szerelésnél a lépcsőkarra fektetett tömlő alkalmazása gyorsabbnak bizonyult a függőleges tömlőfelhúzásnál.
- A tartályokon kiépített száraz felszálló vezetékek kialakítását módosítani szükséges: a lépcső melletti felszálló vezeték felső végpontját 2,5-3 méterrel alacsonyabbra, a lépcső felső szakaszáról, a körjárdára történő felhatolás nélkül elérhető helyre kell áthelyezni.

- A kísérletek igazolták, hogy haboldattal könnyen – a közlekedési utak mellől, általában a tartályhoz tartozó mellvédfalról – ellátható, az előző pontban megfogalmazott végpont-kialakítású, felszálló vezeték jól használható a körgyűrűtűz kézi habsugarakkal végrehajtott tűzoltása során.
- A felhatolás környezetében alulról, a tartályfal takarásából fellőtt-hullajtott középhabbal történjen a tűzoltás.
- A feljutási pont környezetének eloltását követően a körjárdára történő felhatolással, két irányba történő szakaszos előrehaladással hajtható végre a körgyűrűtűz oltása, melyre nehézhab sugarakat célszerű alkalmazni. A habsugarakat a tartálypalást belső falának történő ütköztetésével célszerű működtetni.
- Az előző pontokban rögzített kétféle habtípusra figyelemmel, kitűnően alkalmazhatóak az úgynevezett kombinált habsugárcsövek, melyek középhab- és nehézhab-sugárcsöként egyaránt alkalmazhatóak.
- A tömlők kezeléséhez megfelelő létszámot kell a körjárdán biztosítani; azonban nagyobb létszám esetén figyelemmel kell lenni annak terhelhetőségére is.
- A beavatkozó tűzoltók teljes bevetési ruházatának előírás szerű használatán túl, általában nem indokolt különleges hővédő ruházat viselése; a tűzoltás biztonságosan végrehajtható a nehézhab sugarak „előre alkalmazásával” és az így kialakított „távolsági védelemmel”.
- A magasba szerelt és a körjárdára fektetett tömlővezetéseket egyaránt távol kell tartani az – úszótető pozíciójától függően – felforrósodott tartálypalásttól, ami a sugarak szakaszos hosszabbítása során különös figyelmet és megfelelő tűzoltói létszámot igényel.
- Az alkalmazott habsugárcsövek teljesítményét többszörös tartalékkal kell tervezni, mivel a tűz továbbterjedhet a tartálypalást és a tartálytető tárolt anyaggal szennyezett felületeire; azonban a megfelelő kezelhetőség érdekében és biztonsági megfontolások miatt, 400 liter percenkénti oldatteljesítménynél nagyobb habsugárcsövek alkalmazása nem ajánlott.
- A körjárdákon „C” (52 mm-es) méretnél nagyobb keresztmetszetű tömlővezeték alkalmazása nem ajánlott a nehézkes kezelés és a korlátozott közlekedési felület miatt.
- Kerülni kell a sugarak túl magas nyomásértékkel történő üzemeltetését és a nyomás hirtelen megváltoztatását. A tömlőhosszabbítások miatt szükséges zárásokat és nyitásokat nagy figyelemmel, fokozatosan kell végrehajtani az osztónál és a sugárcsöveknél egyaránt. Minden körülmények között biztosítani szükséges az osztókezelő és sugárvezetők közötti zavartalan kommunikációt a sugarak hosszabbítási idejének minimalizálása, és a beavatkozás biztonságának fenntartása érdekében.

- A tűzoltáshoz filmképző habanyag alkalmazása szükséges; nem filmképző hab esetén magas a visszagyulladás kockázata.
- A körjárda és a kapcsolódó korlátok állapotától és elhelyezkedésétől függően, szükségessé válhat a beavatkozók – különösen a sugárvezetők és a tömlők kezelését végzők – leesés elleni védelmének biztosítása, a személyek kirögzítése, ami azonban jelentősen megnöveli a tűzoltás idejét.

Az értekezés 4. fejezetének első részében a tartálytűzoltásra általánosan használt oltóhab terjedésének jellemzőit kutattam, valós méretű empirikus kísérletek során.

Célkitűzésemnek megfelelően az alábbi megállapításokat tettem:

- Kísérleti úton igazoltam, hogy nyílt éghető folyadék felületen, megfelelő habképzőanyag és eszközök alkalmazásával, a tűzoltó hab nagyobb – 50 métert meghaladó – távolságokra is képes hablövélés nélkül továbbterjedni és az égést megszüntetni.
- Kísérletsorozattal igazoltam, hogy a penetrációs sebesség a habforrástól mért távolság növekedésével egyidejűleg csökken.
- A végrehajtott habterületi próbák során megerősítést nyert, hogy a nagyobb habkiadósság azonos oltóanyag felhasználás esetén magasabb tűzoltási teljesítményt biztosít, ezért habbaloltási rendszereink összeállításakor a nagyobb habosodást biztosító elemeket célszerű előnyben részesíteni.
- A kísérletek nem igazolták azt az általános feltételezést, miszerint a habterjedés sebessége és távolsága tekintetében a nehézhab alkalmazása előnyösebb, mint nagyobb habkiadósságú oltóanyag – például középhab – bevetése.

Dolgozatom zárásaként, a 4. fejezet végén egy új anyagcsoport tűzoltási célú alkalmazhatóságát kutattam. Elsődlegesen modellkísérletekre alapozva vizsgáltam azon hipotézisemet, miszerint az olaj- és víztaszító tulajdonságú, üreges gyöngyökből álló, úszóképes tűzálló szárazhab alkalmas tűzoltásra, valamint alkalmazható a tűzoltás elősegítésére, erőforrás igényének csökkentésére való törekvések során.

Az alábbi főbb következtetésekre és megállapításokra jutottam:

- Megfelelő körülmények és alkalmazási mód esetén a szárazhab alkalmas tűzoltásra.
- A tűzoltási modellkísérletek alapján, az eredményes tűzoltáshoz legalább 10 cm rétegvastagság szükséges.
- A szükséges szárazhab gyöngy mennyiséget rövid idő alatt szükséges a felületre bevezetni. Időben elnyújtott szárazhab bevezetés esetén az anyag nem képes tűzoltási hatást kifejteni.

- A tűzoltásra alkalmas mennyiséget megközelítő, de annál kevesebb szárazhab bevezetésének eredményeként átmenetileg számottevően csökken a lángolás intenzitása: lecsökken a tűzfelület mérete és/vagy a lángmagasság. A szárazhab által korlátozott lángolású felszín tűzoltása nagyon könnyen, kevés oltóanyag felhasználásával (porlasztott vízzel) végrehajtható.
- Az eredményes tűzoltás érdekében külön hűtést kell biztosítani a környezetben található felforrósodott felületekre, mivel a szárazhabnak nincs hűtőhatása.
- A következő célok mentén tettem javaslatot az olaj- és víztaszító tulajdonságú, úszóképes, tűzálló, habszerű anyagokkal kapcsolatos további kutatásokra: a gyakorlati használat feltételeinek kialakítása; más oltóanyagokkal történő együttes alkalmazás lehetősége; hasonló – esetleges előnyösebb – tulajdonságú (például természetes) anyagok felkutatása és/vagy kifejlesztése.

Értekezésben összefoglalt kutatásaim alapján konkrét szakmai javaslatot tettem a taktikai eljárásrend fejlesztésére, melyek beépültek a mobil eszközökkel végrehajtásra kerülő tartálytűzoltás tervezését és eljárásrendjét meghatározó szakutatisztításba, valamint további vizsgálatokra vonatkozó javaslatokat fogalmaztam meg. A nagyméretű tárolótartályok mobil tartálytűzoltási eljárásainak, módszereinek és oltóanyagainak értékelő elemzésével és a fejlesztési lehetőségek kutatásával meghatároztam az alkalmazott technikai eszközök legfontosabb fejlesztési irányait.

Az értekezés négy fejezetébe foglalt kutatások eredményei alátámasztják kutatási hipotéziseimet, melyek a nagyméretű atmoszférikus, állóhengeres, éghető folyadék tároló tartályok mobil tűzoltásának fejlesztésére és hatékonyság növelésére irányultak. Kutatómunkám során, célkitűzéseim teljesítése mellett számos további kutatási irányt és lehetőséget tártam fel.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Valós méretű tűzoltási kísérletek során, mérésekkel **bizonyítottam**, hogy a nagyméretű atmoszférikus szénhidrogén tároló **tartályok teljes felületű tüze esetén a folyadék felület középső részén a hőmérséklet alacsonyabb, mint a tartálypalást mentén, ahol a legmagasabb hőmérséklet mérhető**, valamint nyílt éghető folyadék-felületen **a tűzoltó hab a habforrástól nagyobb, akár 50 métert meghaladó távolságra is továbbterjed, és a tüzet eloltja.**

2. A tartálytüzek típusainak rendszerezését és jellemzését követően, a taktikai eljárásrend fejlesztésére végrehajtott valós méretű tűzoltási kísérletek, a műszaki technikai eszközök alkalmazhatóságára irányuló megfigyelések és a számítási módszerek értékelő elemzése alapján **konkrét szakmai javaslatot tettem a mobil eszközökkel történő tartálytűzoltás haboldat adagolási intenzitásának és időtartamának tervezésére, valamint eljárásrendjének módosítására.**
3. Empirikus kutatás során, természetes kísérletek és gyakorlatok tapasztalatai alapján meghatároztam a nyitott úszótetős tartályok körgyűrű tüzének mobil eszközökkel történő oltására vonatkozó tűzoltás-taktikai eljárásrend alapelveit.
4. A tartálytűzoltás műszaki-technikai eszközrendszerének fejlesztésére irányuló modellkísérletek eredményes tűzoltási tesztjei során bizonyítottam, hogy az olaj- és víztaszító tulajdonságú, üreges gyöngyökből álló, úszóképes, tűzálló, habszerű anyag ("szárazhab") alkalmas tűzoltásra.

AZ ÉRTEKEZÉS AJÁNLÁSAI

Az értekezésben rögzítettek felhasználását és kutatómunkám eredményeit ajánlom a nagyméretű atmoszférikus éghető folyadék tároló tartályok létesítésével, üzemeltetésével foglalkozó, valamint a tűzvédelemben és iparbiztonsági területen dolgozó szakembereknek. Értekezésem ajánlom továbbá a tűzoltás és mentés taktikai eljárásrendjével, technikai eszközrendszerével, oltóvízellátással, oltóanyagokkal, habbal- illetve porral-oltással, különösen a tartály tűzvédelem és tűzoltás szakterületével, valamint az ezekhez kapcsolódó további részterületekkel foglalkozó szakembereknek. Kiemelten ajánlom felhasználni e tevékenységek fejlesztése és kutatása, valamint a személyi állomány felkészítése során.

Értekezésemet – a különböző részek megfelelő átszerkesztését követően – az adott témakör részegységeként jegyzetként, segédletként, szakmai leírásként, a további kutatásra irányuló kezdeményezések témajavaslataként ajánlom a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet, a HHK Katonai Műszaki Doktori Iskola, a Katasztrófavédelmi Oktatási Központ, a Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar Tűz- és Katasztrófavédelmi Intézet és más felsőfokú tanintézményekben, valamint a hazánkban működő tűzoltóságok képzési rendszerében felhasználni.

A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI FELHASZNÁLHATÓSÁGA

Az értekezésemben rögzítetteket, kutatómunkám megállapításait, következtetéseit, valamint kutatási eredményeit az alábbiak szerint javasolom felhasználni:

1. Értekezésem eredményei felhasználhatóak a hazai és nemzetközi szabályozók és szakmai ajánlások korszerűsítésére, valamint a tartálytűzoltás, különösen a mobil tartálytűzoltás tervezésére szolgáló számítási eljárások és szakmai követelményrendszer továbbfejlesztése során.
2. A tartálytűz oltáshoz kapcsolódó létesítési és üzemeltetési folyamatok előkészítésének és végrehajtásának fejlesztése és optimalizálása érdekében.
3. A tartálytűzoltás taktikai eljárásrendjének fejlesztése és a tűzoltási tevékenység hatékonyságának javítása során.
4. A kutatásaim során tett megállapításokat, következtetéseket és eredményeket a mobil tartálytűzoltás által okozott környezetszennyezés csökkentésére, az oltóanyag felhasználás mérséklése, valamint új, kedvezőbb környezetterhelési jellemzőkkel rendelkező oltóanyagok alkalmazásának bevezetése által.
5. A tartálytűzoltás érdekében készenlétben tartott, illetőleg a tartálytűz oltásra is alkalmazható erőforrások rendszerbe foglalására, és ezáltal a nagyteljesítményű mobil tűzoltási képességek működési biztonságának javítására.
6. A mobil eszközökkel végrehajtásra kerülő tartálytűzoltás műszaki eszközeinek hatékonyság és működési biztonság növelése érdekében, különösen a tűzoltó gépjárművek és cserefelépítmények, a közös-tengelyű, por-hab kombinált oltósugárral működő eszközök, a nagyteljesítményű hab- vízágyúk, a mobil tartálytűzoltó-központok, az oltóvízellátás, a habképzőanyag ellátás és a habképzési eszközök fejlesztése során.
7. A tartálytűzoltásra alkalmas hazai készenléti rendszer továbbfejlesztésére, az ország katasztrófavédelmi rendszerének, valamint a nagyteljesítményű tartálytűzoltásra alkalmas képességekkel rendelkező létesítmények erőforrásainak összehangolása által.
8. A nagyteljesítményű tűzoltás, habbaloltás és tartálytűzoltás hatékonyságának és biztonságának fejlesztését célzó programok kidolgozására és végrehajtására, különös tekintettel a tartályok és felfogóterek, valamint a kapcsolódó technológiák területén végrehajtandó beavatkozási feladatok optimális és biztonságos végrehajtásához elengedhetetlen képzési programokra.

9. További kutatások és fejlesztések irányának meghatározása érdekében, különösen
- a. a mobil tartálytűzoltás tervezését megalapozó számítási módszerek továbbfejlesztése során a szabadégés időtartamának, valamint a hatékony működésű hűtőberendezések oltási időre és a szükséges haboldat-adagolási intenzitásra kifejtett hatásának vizsgálatára vonatkozóan;
 - b. az olaj- és víztaszító tulajdonságú, üreges gyöngyökből álló úszóképes tűzálló „szárazhab” gyakorlati hasznosítására eljárás kidolgozására, valamint hasonló alkalmazhatósági jellemzőkkel rendelkező anyagok felkutatására, illetőleg kifejlesztésére.
10. Értekezésem különböző részei felhasználhatóak jegyzetek, segédletek, szakmai leírások összeállítása során felsőfokú tanintézményekben, valamint a hazánkban működő tűzoltóságok képzési rendszerében.

Budapest, 2016. április 15.

Pimper László

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] MUHORAY Árpád, BARTÁNE MUHARAY Irén: Biztonsági és környezetbiztonsági alapelvek érvényesülése a katasztrófák elleni védekezés rendszerében, 2007.; http://elib.kkf.hu/okt_publ/szf_21_04.pdf; Letöltés: 2016. február 2. 16:50
- [2] SZŐCS István: Az éghető folyadékok tárolótartályai tüzeseténél keletkező elsődleges, és a tűzoltási technológiák alkalmazása közben okozott másodlagos környezeti terhelés csökkentésének lehetőségei az oltási paraméterek módosítása révén, Doktori (PhD) értekezés; Budapest: ZMNE KMDI, 2005, p. 103.
- [3] ZÓLYOMI Géza: Tűzoltási módok környezetvédelmi hatásai; Hadmérnök III. Évfolyam 1. szám - 2008. március; ISSN 1788-1919; pp. 70-87
- [4] Az ipartörvény - 1872. évi VIII. törvénycikk; <http://www.1000ev.hu/index.php?a=3¶m=5542>; Letöltés: 2016. március 30. 19:30
- [5] KÁTAI-URBÁN Lajos: Veszélyes üzemek felügyeletének fejlődése a kezdetektől napjainkig – I. rész, 1998–2005; Bolyai Szemle 2014/3. szám; ISSN 1416-1443; NKE Szolgáltató Kft.; p.181.
- [6] BOGNÁR Balázs, KÁTAI-URBÁN Lajos, KOSSA György, KOZMA Sándor, SZAKÁL Béla, VASS Gyula: IPARBIZTONSÁGTAN I.: Kézikönyv az iparbiztonsági üzemeltetők és hatósági feladatok ellátásához; Budapest: Nemzeti Közszerződési és Tankönyvkiadó; ISBN:978-615-5344-12-1; 2013.
- [7] HOFFMANN Imre, LÉVAI Zoltán, KÁTAI-URBÁN Lajos, VASS Gyula: Iparbiztonság Magyarországon; <http://www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/549-dr-hoffmann-imre-dr-levai-zoltan-dr-katai-urban-lajos-dr-vass-gyula.pdf> ; Letöltés: 2016. március 27. 18:10; p.2.
- [8] CIMER Zsolt: A veszélyes anyagokat gyártó, felhasználó, tároló küszöbérték alatti üzemek tevékenységéből származó veszélyeztetettség meghatározásának metodikája, a kockázatsökkentő intézkedések számszerűsítése; Doktori (PhD) értekezés, Budapest: NKE HHK Katonai Műszaki Doktori Iskola; 2014; p. 12.
- [9] MUHORAY Árpád: A katasztrófavédelem aktuális feladatai; 2012.; http://mhht.eu/2012/2012_elektronikus/2012_e_Muhoray_Arpád.pdf ; Magyar Hadtudományi Társaság; Letöltés: 2016. április 7. 22:20
- [10] BÉRES DEÁK Endre, SZAKÁL Béla: Monitoring rendszer kiépítése a kockázatok csökkentése érdekében szénhidrogén-tároló telephelyeken; Hadmérnök VI. Évfolyam 2. szám; ISSN 1788-1919; NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar és a Katonai Műszaki Doktori Iskola; 2011. június; pp. 1-18.
- [11] KÁTAI-URBÁN Lajos: Veszélyes üzemekkel kapcsolatos iparbiztonsági jog-, intézmény és eszközrendszer fejlesztése Magyarországon; ISBN 978-615-5057-52-6; Budapest: NKE Katasztrófavédelmi Intézet; 2015.; p. 25.
- [12] TAKÁCS Árpád: A kritikus infrastruktúra védelem hazai szabályozása; „Katasztrófavédelem 2015” Tudományos Konferencia előadás; 2015.
- [13] VASS Gyula: Új irányelv a veszélyes üzemek szabályozásában – Seveso III.; Bolyai Szemle 2014/3. szám; NKE Szolgáltató Kft.; ISSN 1416-1443; p. 218.
- [14] VASS Gyula: A Seveso III. irányelv hazai jogrendbe ültetésével kapcsolatos jogszabályi módosítások; <http://www.vedelem.hu/files/UserFiles/File/aktualis/20141114/vass.pdf> ; 2014.; Letöltés: 2016. március 30. 22:25
- [15] BÉRCZI László: Magyarország tűzvédelmi rendszerének bemutatása; 8th International Conference for Industrial Fire Brigades; Budapest, 2015 november 10-11.; Compact Disk; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft., Százhalombatta; ISBN 978-963-12-4086-3; 2015.

- [16] BÉRCZI László: A mentő tűzvédelem aktuális kérdései; „Katasztrófavédelem 2015” Tudományos Konferencia előadása; 2015. november 26.; Védelem online; <http://www.vedelem.hu/files/UserFiles/File/aktualis/20160123/01.pdf>; Letöltés: 2016. január 30. 23:00
- [17] BÉRCZI László: Tűzoltói beavatkozások végrehajtása veszélyes anyagok környezetében; Belügyminisztérium, 2012. november 06.; Budapest; www.bmtt.hu/assets/letolt/mtuun2012/docs/mtu02/berczilaszo.ppt; Letöltés ideje: 2016. január 30. 20:10
- [18] BÉRCZI László: A tűzoltói beavatkozás biztonsága – helyszínen beépítve; Védelem online; <http://www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/428-a-tuzoltoi-beavatkozas-biztonsaga-helyszinen-beepitve.pdf>; 2016. március 30. 22:00
- [19] HESZ József: Az iparibaleset-elhárítás eljárás- és eszközrendszerének kutatása és fejlesztése, különös tekintettel a kőolaj-finomítókra; Doktori (PhD) értekezés, Budapest: ZMNE Bolyai János Katonai Műszaki Kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola; 2005.
- [20] ÉRCES Ferenc: Az új Országos Tűzvédelmi Szabályzat és környezete; 2014.; http://www.vedelem.hu/files/UserFiles/File/aktualis/20141006-otszkonf/Erces_Ferenc_OTSZ_es_kornyezete.pdf; Letöltés: 2016. április 6 19:00
- [21] Azizul BUANG: Boilover in liquid hydrocarbon tank fires; Doktori (PhD) értekezés; 2014.; <https://dspace.lboro.ac.uk/2134/15186>; pp. 1-337.
- [22] Khalid MANSOUR: Fires in large atmospheric storage tanks and their effect on adjacent tanks; Doktori (PhD) értekezés; 2012.; <https://dspace.lboro.ac.uk/2134/12196>; pp. 1-383.
- [23] SP Swedish National Testing and Research Institute: FOAMSPEX - Large Scale Foam Application-Modelling of Foam Spread and Extinguishment; <https://www.sp.se/en/index/research/eu-project/projectcompleted/foamspe/sidor/default.aspx#sthash.rLpC7sYT.dpuf>; Letöltés: 2016. április 5. 17:00
- [24] PIMPER László: Tasks and objectives of the organization Lastfire - Researches and tests of FER Fire brigade; ISBN 978-86-84853-83-9; РИЗИК И БЕЗБЕДНОСНИ ИНЖЕЊЕРИНГ, ЗБОРНИК РАДОВА, 6. МЕЂУНАРОДНОГ НАУЧНОГ САВЕТОВАЊА КОПАОНИК, Szerbia, Novi Sad, 2011.; pp. 324-337.
- [25] SP Swedish National Testing and Research Institute: ETANKFIRE Ethanol Tank Fire Fighting; <http://www.sp.se/en/index/research/etankfire/Sidor/default.aspx>; Letöltés: 2016. április 5. 17:50
- [26] PIMPER László: Tűzveszélyesfolyadék-tároló tartályok és jellemző tüztípusaik; Védelem Katasztrófavédelmi Szemle 2012/2. szám; ISSN 1218-2958; p. 22.
- [27] KUNCZ Imre: Kőolaj és kőolajtermékek tüzeinek oltása; ISBN 963 03 0436 8; Budapest: BM Tanulmányi és Propaganda Csoportfőnökség; 1978; pp. 137-140.
- [28] PIMPER László: Atmoszférikus szénhidrogén-tároló tartályok mobil tűzoltása, erő-eszköz tervezése; Budapest: ZMNE, szakdolgozat, 2009; pp. 9-12.
- [29] PIMPER László: Tűzveszélyes folyadékot tároló tartályok felfogótér-tüzeinek oltása; Védelem Katasztrófavédelmi Szemle 2012/3. szám; ISSN 1218-2958; pp. 15-19.
- [30] The Buncefield Incident 11 December 2005: The final report of the Major Incident Investigation Board; ISBN 978-0-7176-6270-8; London: Buncefield Major Incident Investigation Board; 2008.
- [31] <http://www.buncefieldinvestigation.gov.uk/images/index.htm>; Health and Safety Executive; Letöltés: 2012. április 20; 20:00
- [32] LastFire project update - Large Atmospheric Storage Tank Fire Project: Incident survey for 1984-2011 (2012 edition); 2012.; www.lastfire.org.uk; Letöltés: 2015. szeptember 15. 16:50; pp. 2-15.
- [33] SZÓCS István: A falhatás befolyása az oltás hatékonyságára; Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle 2002/3. szám; ISSN 1218-2958; pp. 38-40.

- [34] PIMPER László: Nagyméretű atmoszférikus tárolótartályok tűzoltása; Konferencia kiadvány: Ipari Létesítményi Tűzoltóságok 7. Nemzetközi Konferenciája; Budapest, 2013. november 27-28.; Compact Disk; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft.; ISBN 978-963-08-7588-2; p5.
- [35] PIMPER László, MÉSZÁROS ZOLTÁN, KOSEKI Hiroshi: Large scale diesel oil burns; 8th Asia Pacific Symposium of Safety - Paper Proceedings; 17/10/2013; Poster Session, Singapore Institution of Safety Officers; 2013.
- [36] Ervin de BRUIN: Chronologic description of an incident with the sunken roof of a floating roof tank; 5th International Conference for Fire Brigades in the Oil & Chemical Industry; 2009. november 17-18, Budapest; Compact Disk; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft., Százhalombatta; ISBN 978-963-06-8639-6; 2009.
- [37] KUNCZ Imre: Kőolaj és kőolajtermékek tüzeinek oltása; ISBN 963 03 0436 8; Budapest: BM Tanulmányi és Propaganda Csoportfőnökség; 1978; pp. 118-126.
- [38] Hiroshi KOSEKI: Combustion properties of large liquid pool fires; Fire Technology Volume 25, Issue 3; 1989.; ISSN 1572-8099; pp 241-255.
- [39] Large Atmospheric Storage Tank Fire Project: Lastfire - Statement on potential for biodiesel boilover; 2011.; <http://www.lastfire.org.uk>; Letöltés: 2015. szeptember 15. 18:30
- [40] J. P. GARO, J.P. VANTELON, A.C. FERNANDE-PELLO: Effect of the Fuel Boiling Point on the Boilover Burning of Liquid Fuels Spilled on Water; Twenty-Sixth Symposium (International) on Combustion; The Combustion Institute; 1996.; <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0082078496803675>; Letöltés: 2014. december 20. 18:00; pp.1461-1467.
- [41] Large Atmospheric Storage Tank Fire Project: Lastfire boilover research – consolidated report; 2012.; <http://www.lastfire.org.uk>; Letöltés: 2015. szeptember 15. 19:10
- [42] PIMPER László: Tűzveszélyes folyadéktüzek habbaloltásának speciális kérdései, Tartálytűzoltási és habbaloltási kísérletsorozat; Konferencia kiadvány: Vegyipari Tűzoltóparancsnokok 3. Nemzetközi Konferenciája, 2005. május 17-19. Százhalombatta; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft.; Compact Disc, 2005.
- [43] PIMPER László: Tank-fire tests of FER Fire Brigade; LTSZ 1. Nemzetközi Szakmai Napja; Tiszaújváros, 2012. május 15-16.; Létesítményi Tűzoltóságok Országos Szövetsége; Compact Disk; ISBN978-963-08-4023-1; 2012.
- [44] PIMPER László: Atmoszférikus tárolótartályok tüzeinek oltása – Mobil tartálytűzoltás és kísérletek a FER tűzoltóságnál; ISSN 1217-2820; MOL Rt. Szakmai Tudományos Közlemények, 2005/2. szám; pp. 201-220.
- [45] Dr. STHAMER – Hamburg: Foam Fights Fire; Fabrik chemischer Präparate von Dr. Richard Sthamer GmbH & Co. KG.; Letöltés: 2016. március 12. 14:10
- [46] Robert C BUCK, James FRANKLIN, Urs BERGER, Jason M CONDER, Ian T COUSINS, Pim de VOOGT, Allan Astrup JENSEN, Kurunthachalam KANNAN, Scott A MABURY, and Stefan PJ van LEEUWEN: Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins; Integrated Environmental Assessment and Management; <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3214619/>; Letöltés: 2016. március 30. 11:30
- [47] ECHA - European Chemicals Agency; 2012.; <http://echa.europa.eu/documents/10162/e9cddee6-3164-473d-b590-8fcf9caa50e7>; Letöltés: 2016. április 1. 16:50
- [48] Dr. STHAMER – Hamburg: Schaum gegen feuer; 2014. <http://www.sthamer.com/index.html>; Letöltés: 2016. március 20. 12:50

- [49] German Federal Environment Agency (Umweltbundesamt): Environmentally responsible use of fluorinated fire-fighting foams; szerkesztette: dr. Christoph Schulte; 2013.; http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/fluorinated_fire-fighting_foams_schaumloeschmittel_engl_version_25.6.2013.pdf; Letöltés: 2016. március 30. 11:50
- [50] Rosvita MILO-RIEKS, PIMPER László: A habképzőanyagok új generációja; Védelem Katasztrófavédelmi Szemle; ISSN 1218-2958; Kézirat, Közlésre leadva: 2016 április 1.
- [51] FEECON: Dual Agent HANDLINE NOZZLES <http://www.nationalfoam.com/downloads/products/feecon/FDD010-Dual%20Agent%20Handline%20Nozzles.pdf>; Letöltés: 2014. augusztus 14. 7:20
- [52] Task Force Tips: Technical Bulletin: Twin-agent nozzles; http://www.tft.com/literature/library/files/lib-051_rev02.pdf; http://www.tft.com/literature/library/files/B-DC1040BC_04.pdf; Letöltés: 2015. augusztus 14. 7:20
- [53] United States Patent: Method of extinguishing liquid hydrocarbon fires; US 3258423; <http://www.freepatentsonline.com/3258423.pdf>; Letöltés: 2015. augusztus 14. 9:20
- [54] United States Patent: Dwight P. WILLIAMS: Dual agent method for extinguishing fire; US 6065545 A; <http://www.freepatentsonline.com/6065545.pdf>; Letöltés: 2016. február 10. 14:00
- [55] PIMPER László: Hydro-Chem – ha rövid a porsugár; ISSN 1218-2958; Védelem Katasztrófavédelmi Szemle 2012/5. szám; ISSN 1218-2958; pp. 19-22.
- [56] CZIVA Oszkár: A new possibility for combined fire fighting – HydroChem; 5th International Conference for Fire Brigades in the Oil & Chemical Industry; 2009 november 17-18, Budapest; Compact Disk: FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft., Százhalombatta; ISBN 978-963-06-8639-6; 2009.
- [57] WILLIAMS Fire & Hazard Control; <http://www.williamsfire.com>; Letöltés: 2012. augusztus 20. 15:50
- [58] VOGT AG.: TroTLF 40/40-10+800HDP kezelési útmutató; 2009, p. 7.
- [59] Roland LEITNER: Industrial Firefighting - High Volume Tank Firefighting Vehicles for Industrial Firefighting; 8th International Conference for Industrial Fire Brigades; Budapest, 2015 november 10-11.; Compact Disk; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft., Százhalombatta; ISBN 978-963-12-4086-3; 2015.
- [60] ROSENBAUER AG.: Turrets with electronic control unit; Catalogue 2016; p. 3.
- [61] ROSENBAUER; <http://www.rosenbauer.com/en/rosenbauer-world/products/fire-fighting-systems/turret.html>; Letöltés: 2016. február 14 7:00
- [62] ALCO GmbH: 300-APF 8-HR+MZVS30000 utánfutó rendszer; Frankfurt: Albach GmbH & Co. KG; 2011.
- [63] SZABÓ Imre: A Rosenbauer International AG szakmai újdonságai; LTSZ Szakmai Konferencia; Százhalombatta, 2012. november 29.; Compact Disk; Létesítményi Tűzoltóságok Országos Szövetsége; ISBN978-963-08-5520-4; 2012.
- [64] SZÓCS István: Az éghető folyadékok tárolótartályai tüzeseténél keletkező elsődleges, és a tűzoltási technológiák alkalmazása közben okozott másodlagos környezeti terhelés csökkentésének lehetőségei az oltási paraméterek módosítása révén; Doktori (PhD) értekezés; Budapest: ZMNE KMDI; 2005. p. 103.
- [65] SZÓCS István: Az instant habbal oltás mobil változata; Konferencia előadás: Tűzoltás és vegyi elhárítás az Európai Unióban; Százhalombatta, 2003. október 16.
- [66] Bob KELLY: DryFoam vapour suppression spheres; Konferencia kiadvány: Ipari Létesítményi Tűzoltóságok 7. Nemzetközi Konferenciája; Budapest, 2013. november 27-28. Compact Disk, FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft., Százhalombatta; ISBN 978-963-08-7588-2; 2013.

- [67] Bob KELLY: Dry Foam Technology; ISSN 0749890X; Industrial Fire World Vol.26, 2014 Summer; <http://www.fireworld.com/Archives/tabid/93/articleType/ArticleView/articleId/87223/Dry-Foam-Technology.aspx>; Letöltés 2015. október 6. 19:30
- [68] Bob KELLY: Vapour/fire suppression for LNG spill containment: DryFoam; 8th International Conference for Industrial Fire Brigades; Budapest 2015 november 10-11.; Compact Disk; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft., Százhalombatta; ISBN 978-963-12-4086-3; 2015.
- [69] Bob KELLY: Using dry foam for storage tank vapor suppression; BIC Magazine, 2013. June/July; <http://trendmag.trendoffset.com/publication/?i=160830>; p. 52; Letöltés: 2015. november 30. 21:55
- [70] Bob KELLY: Dry foam for storage tank fire prevention, fire suppression; BIC Magazine, 2013. August; www.bicalliance.com; p. 118.; Letöltés: 2013. december 12. 19:10
- [71] Kuang-Chung TSAI, Hiroshi KOSEKI, Robert KELLY: Effect of floating beads on the flash/fire temperatures and occurrence of boilover; 48th Conference of Safety Engineering of Japan, Niigata, 2015. december 3-4..
- [72] Hiroshi KOSEKI: Fire-fighting against post earthquake tank fires; 8th International Conference for Industrial Fire Brigades; Budapest 2015 november 10-11.; Compact Disk; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft., Százhalombatta; ISBN 978-963-12-4086-3; 2015.
- [73] Vytenis BABRAUSKAS, Richard D. PEACOCK: Heat Release Rate: The Single Most Important Variable in Fire Hazard; Fire Safety Journal 0379-7112/92; 1992.; Elsevier Science Publishers Ltd.; Anglia, pp. 255-272.
- [74] PIMPER László: A mobil tartálytűzoltás alapvető kérdései – az oldatintenzitás; Olaj- és vegyipari tűzoltóságok 5. Nemzetközi Konferenciája; Compact Disk; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft.; ISBN 978-963-06-8639-6; 2009.; p.4.
- [75] SZÓCS István: Tartály tűzoltás Instant Habbal; Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle 1999/4. szám.; ISSN 1218-2958; pp. 13-15.
- [76] Angus Fire: The Angus Floatafoam Duo System; http://www.angusfire.co.uk/products/foam_equipment/fixed/floatafoamduo.html ; Letöltés: 2015. január 4. 10:40
- [77] WILLIAMS Fire & Hazard Control: Dual Agent Foam Chamber; http://www.williamsfire.com/product/3a6bbdd0-7c11-4efc-9502-ad899121c477/Dual-Agent_Chamber.aspx; Letöltés: 2015. február 15. 22:20
- [78] PIMPER László: The system of mobile tank fire-fighting equipment; Olaj- és vegyipari tűzoltóságok 5. Nemzetközi Konferenciája; Compact Disk; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft.; ISBN 978-963-06-8639-6; 2009.
- [79] Kelvin HARDINGHAM: Storage Tank Firefighting by "Williams" method; Konferencia előadás: „Tűzoltás és vegyi elhárítás az Európai Unióban; Százhalombatta, 2003. október 16.; FER Tűzvédelmi Szolgáltató Egyesülés; 2003.
- [80] Raymond BRAS: Industrial Fire-fighting Pool - A system to fight large scale tank fires; 4th International Conference For Fire Chiefs in the Chemical Industry, 2007. május 22.; FER Tűzvédelmi Szolgáltató Egyesülés, Százhalombatta; 2007.
- [81] Ervin de BRUIN és Raymond BRAS: How to use risk evaluation and scenario assessment to come to a balanced engine fleet; 5th International Conference for Fire Brigades in the Oil & Chemical Industry; 2009. november 17-18, Budapest; Compact Disk; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft., Százhalombatta; ISBN 978-963-06-8639-6; 2009.
- [82] PIMPER László: The role of the mobile fire-water supply system in the fire-water supply of Duna Refinery; 6th International Conference For Fire Brigades in the High Hazard Industry; Budapest, 2011. október 25-26.; Compact Disk; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft., Százhalombatta; ISBN 978-963-08-2468-2; 2011.
- [83] Silvani S. p. A.: Mobil fire fighting pack "MP 20000" - Technical documentation; Milánó: Silvani; 2003.

- [84] Jaakko VALTONEN: Tank fire suppression strategy at Neste Oil; 5th International Conference for Fire Brigades in the Oil & Chemical Industry; 2009. november 17-18, Budapest; Compact Disk; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft., Százhalombatta; ISBN 978-963-06-8639-6; 2009.; p.5.
- [85] Gert van BORTEL: The new Foam truck generation of BASF SE; 8th International Conference for Industrial Fire Brigades; Budapest, 2015. november 10-11.; Compact Disk; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft., Százhalombatta; ISBN 978-963-12-4086-3; 2015.
- [86] Kidde Italia S.p.A.: Big Foam Unit (Large Size Foam Extinguisher Container) Model MP-18000 Technical Specification; SPC No. D.909.9517; Milánó: Kidde Italia S.p.A., 2002.
- [87] Jaakko VALTONEN: Containerised Fi-Fi unit; LastFire General Meeting - Nesteoil; Előadás; 2009. június 2-3; Finnország, Porvoo; 2009.; <http://www.lastfire.org.uk>; Letöltés: 2015. szeptember 15. 21:15
- [88] Raymond BRAS: Industrial Firefighting Pool (IBP); LastFire General Meeting; Előadás; Rotterdam; 2008.; <http://www.lastfire.org.uk>; Letöltés: 2015. szeptember 15 21:50
- [89] TÖRÖK Tamás: Logistic problems of tank fire fighting with high capacity monitors; 5th International Conference for Fire Brigades in the Oil & Chemical Industry; 2009. november 17-18, Budapest; Compact Disk; FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft., Százhalombatta; ISBN 978-963-06-8639-6; 2009.
- [90] PINTÉR Ferenc, SZALAY Béla, PUSKÁS Sándor, SZALONTAI Imre, TOTZL Károly: Tűzoltás a Vegyiparban; ISBN 963 03 2023 1; Budapest, BM Könyvkiadó; 1984, p. 88.
- [91] BLESZITY János, ZELENÁK Mihály: A tűzoltás taktikája II. - kézirat; Budapest: Tankönyvkiadó; 1986.; p. 295.
- [92] SHELL Global Solutions: CEER - Emergency Response Tactics, Volume 1: Atmospheric Storage Tank and Bund Fires; Shell Global Solutions – Centre of Expertise for Emergency Response (CEER); 2014.; p. 53.
- [93] HESZTIA Tűzvédelmi és Biztonságtechnikai Kft.: STHAMEX AFFF 1%; <http://hesztia.hu/termek/sthamex-ffff-1/>; Letöltés: 2014. szeptember 2. 14:00
- [94] SZŐCS István: Az éghető folyadékok tárolótartályai tüzeseténél keletkező elsődleges, és a tűzoltási technológiák alkalmazása közben okozott másodlagos környezeti terhelés csökkentésének lehetőségei az oltási paraméterek módosítása révén, Doktori (PhD) értekezés; Budapest: ZMNE KMDI; 2005.; p. 22.
- [95] BP International Limited: BP Process Safety Series-Liquid Hydrocarbon Tank Fires: Prevention and Response; UK: BP International Limited; 2005.; p. 22.
- [96] Hiroshi KOSEKI, G. W. MULHOLLAND: The effect of diameter on the burning of crude oil pool fires; Fire Technology, Volume 27, Issue 1.; ISSN 0015-2684; pp 54-65.
- [97] Hiroshi KOSEKI, YUSAKU I., YASUTADA N., TORU T., TOSHISUKE H.: Tomakomai large scale crude oil fire experiments; Fire Technology, Volume 36, Issue 1.; 2000.; ISSN: 0015-2684; pp. 24-38.
- [98] Taro YUMOTO: An Experimental Study on Heat Radiation from Oil Tank Fire - Report of Oil Tank Fire; Fire Research Institute report No. 33; 1971.; https://www.researchgate.net/publication/288877221_An_Experimental_Study_on_Heat_Radiation_from_Oil_Tank_Fire; Letöltés: 2015. szeptember 11. 22:00; p. 23.
- [99] BLINOV, V. I., KHUDYAKOV, G. N.: Diffusion Burning of Liquids; U.S. Army Engineer Research and Development Laboratories; Fort Belvoir; 1961.; <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=AD0296762>; Letöltés: 2016. január 24. 17:00
- [100] SFPA/NFPA: The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering; ISBN 978-0877658214; NFPA, USA; 1988.
- [101] PAULE Ervin: Tapasztalatok két úszótetős tartály körgyűrűtüze után a MOL Dunai Fimítóban; Vegyipari Tűzoltóparancsnokok Nemzetközi Konferenciája; FER Tűzvédelmi Szolgáltató Egyesülés, Százhalombatta; 2001.

- [102] BP International Limited: BP Process Safety Series-Liquid Hydrocarbon Tank Fires; Prevention and Response; UK; 2005.; p. 41.
- [103] HESZTIA Tűzvédelmi és Biztonságtechnikai Kft.: STHAMEX F-15; <http://hesztia.hu/termekategoria/habkepzo-anyagok/univerzalis-szintetikus-habkepzo-anyag/>; Letöltés: 2015. december 13. 8:30
- [104] BÉRCZI László: Az extrém körülmények közötti tűzoltói beavatkozások biztonságát növelő eszközrendszer fejlesztések az integrált katasztrófavédelem rendszerében; Doktori (PhD) értekezés; Budapest: NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola; 2014.; pp. 89-92.
- [105] Lastfire projekt: LastFire project update - Large Atmospheric Storage Tank Fire Project: Incident survey for 1984-2005; Lastfire Group; UK; 2006.; <http://www.lastfire.org.uk/default.aspx?ReturnUrl=%2f>; Letöltés: 2015. szeptember 15. 18:00
- [106] PIMPER László: Oltóhab mozgásának vizsgálata folyadékfelületen; Védelem Katasztrófa- és Tűzvédelmi Szemle, 2010/3. szám; ISSN 1218-2958; pp. 17-20.
- [107] Osama ELZANATY: Aspects of ZADCO's Approach To Protect COS Tanks on Zirku Island; LastFire General Meeting; Előadás; Abu Dhabi, 2012. december 12.; 2012.; <http://www.lastfire.org.uk>; Letöltés: 2015. szeptember 15 20:50
- [108] Niall RAMSDEN: Large diameter (110m diameter) tank full surface fire response concept; LastFire General Meeting; Előadás; Abu Dhabi, 2012. december 11.; 2012.; <http://www.lastfire.org.uk>; Letöltés: 2015. szeptember 15 18:05
- [109] Large Atmospheric Storage Tank Fire Project: Risk Reduction Options; 2015.; <http://www.lastfire.org.uk>; Letöltés: 2015. szeptember 15. 18:10; p 107.
- [110] PIMPER László: DryFoam - tűzoltóhab víz nélkül; Védelem Katasztrófavédelmi Szemle, 2014/1. szám; ISSN 1218-2958; pp. 61-63.

MELLÉKLETEK

1. Kiemelkedő jelentőségű tartálytüzek bemutatása
2. A Kiforrás-kivetődés jelenség lefolyása
3. A Tűzoltás-taktikai Szabályzatba beépített kutatási eredmények
4. Hőmérsékletmérési pontok elhelyezkedése
5. Hivatkozott jogszabályok és szabályozók jegyzéke
6. Táblázatok jegyzéke
7. Ábrák jegyzéke
8. Fényképek jegyzéke
9. A szerző témakörből készült publikációs jegyzéke

1. KIEMELKEDŐ JELENTŐSÉGŰ TARTÁLYTŰZEK BEMUTATÁSA

1892. június 22-én a Pennsylvania-i Colegrove-ban 2 tartály gyulladt ki villámcsapás következtében. A tartályokról a villámhárítót a tűz előtt szerelték le, mert azt gondolták, hogy a villámhárítókkal nagyobb az esélye, hogy a tartályt villámcsapás éri.



1924. szeptember 14-én a kaliforniai Monterey-ben egy kőolajtartály villámcsapás következtében kigyulladt. A tartályon mintegy 16 óra égés után boilover következett be. A tűzoltásvezető 1,5 órával korábban a terület elhagyására hozott intézkedése 300 ember életét mentette meg. A boilover 150 méter magas lángok kísérték, az égő kőolaj több mint 140 méter távolságra folyt el, és 2 ember halálát okozta.



1926-ban a Kaliforniai Brea-ban két tartály gyulladt ki villámcsapás következtében, mely tűz áterjedt egy harmadik tartályra is. A tűz majdnem egy hétig égett, megrongálva a közeli épületeket.



1982. június 9-én a Tiszai Finomító 60.002-es számú tartályánál a tartálykeverő meghibásodása miatt kőolaj ömlött a védőgödörbe, amit a leszakadt keverőmotor szikrája begyújtott. A nyílásnál sugárszerű égés, a védőgödörben nagy felületű tócsatűz alakult ki. A sugárszerű tüzet porágyúval kísérelték meg eloltani sikertelenül, ezért a felfogótérbe kifolyt folyadék szintjének megemelésére került sor. A tűz oltását több száz tűzoltó végezte, a tűzoltójárművekben készletezett habképző anyagon felül további 167 köbméter habanyagot használtak fel.



1982. december 19-én a Venezuelai Tacoa-ban egy kőolaj tartály felrobbant és megölt 2 dolgozót. A tűzoltók kiérkezésekor a tartály lángokban állt, a leszakadt tartálytető pedig tönkretette a tűzivíz rendszert, ezért az a döntés született, hogy hagyják a tartályt kiégni. Nyolc óra elteltével heves boilover következett be, több mint 150 fő halálát okozva. A kivetődött égő kőolaj a dombról lefelé haladva veszélyeztette az üzemet és a helyi lakosságot.



1997. augusztus 15-én a Százhalombattai Dunai Finomítóban villámcsapás következtében körgyűrűtűz alakult ki a 40.002-es számú úszótetős tartályon. A tűz keletkezésekor a tartályban kb. 37.000 m³ vegyipari benzint tároltak. A tűz oltása mintegy 90 percet vett igénybe, amihez 29.000 liter habképzőanyagot használtak fel. Az esemény során személyi sérülés nem történt.

1998. július 28-án a Százhalombattai Dunai Finomítóban szabálytalan munkavégzés miatt részleges körgyűrűtűz alakult ki a 40.001-es számú úszótetős tartályon. A tűz keletkezésekor a tartályban kőolajat tároltak. A tüzet a FER Tűzoltóság egysége mintegy 20 percen belül eloltotta. A tűzoltáshoz 3.000 liter habanyagot fel. Az esemény során személyi sérülés nem történt.

2002. november 23-án, tartálytöltés közben egy belső úszótetős tartály gyulladt ki Yokohama, Kanagawa, Japán tartálytelepen. Keletkezési okként fém-fém közötti súrlódás miatt keletkezett szikrát valószínűsítették. A tűz környezetre való áttéréjét sikerült megakadályozni.



2003. szeptember 29-én a Richter skála szerinti 6. fokozatú utó rengés következtében egy 33.000 köbméteres kőolajtartályból kikerült anyag gyulladt ki Hokkaido szigetén. Két nappal később egy külső úszótetős benzintartály úszóteteje fölé került benzin a földrengés következtében. Miközben a tűzoltók a habtakarást végezték, vélhetően sztatikus feltöltődés következtében a tartály kigyulladt, és a korábbinál jóval nagyobb méretű tűz keletkezett.

Az Egyesült Királyságbeli Buncefield Olaj Tárolóban 2005. december 11-én robbanás történt, 20 tartálygyulladt ki, melyekben átlagosan 14.000 m³ éghető anyagot tároltak. A robbanásban 43 fő sérült meg, 2000 embert lakoltattak ki. A tűzoltásban 180 tűzoltó, 46 gépjármű vett részt. Az oltóvizet kb. 1800 m távolságra lévő tóból nyerték. A tűzoltáshoz 600 m³ habképző anyagot és 40000 m³ oltóvizet használtak fel. A tüzet december 13-án 16 óra 45 percre oltották el, de a területen szétfolyt éghető folyadék miatt január 5-ig folyamatos tűzoltói felügyeletet láttak el.



2006. november 20-án a MOL Komáromi Bázistelepén tartálytisztítás közben egy 2.000 köbméteres szloptartály robbant fel és gyulladt ki. A tűzben 1 fő dolgozó, illetve a beavatkozás során 1 fő tűzoltó sérült meg.



Keletkezési okként szabálytalan munkavégzést állapítottak meg. Miközben a tartálytűz oltás előkészületeit végezték, a tartály felrobbant. A tüzet a FER Százhalombattai egységétől vonultatott habbaloltó gépjármű habágyújával oltották el.

2008. június 3-án a Kansas Cityben lévő Magellán Terminál egyik tartálya villámcsapás következtében kigyulladt. A tartály 120.000 barrel térfogatú, és a tűz idején benzin tárolására használták. A helyi szakemberek a felderítés alapján döntöttek, hogy csupán a szomszédos tartályok hűtését végzik, az égő tartályt pedig hagyják kiégni. A tartályban lévő 28.500 barrel benzin 48 órán keresztül égett.



2009. október 29-én, helyi idő szerint 19.30-kor robbanás és azt követő tűz keletkezett az Indiai Nemzeti Olajtársaság Jaipur Tároló telepén. A robbanás 12 fő halálát és több mint 200 fő sérülését okozta. A tűz több mint egy hétig égett, ami idő alatt mintegy fél millió embert kellett kitelepíteni a környékről. A tűz csővezetékes benzin kitérő során keletkezett, amikor a munkavégzés közben anyagkifolyás történt, és a kialakult gázfelhő robbant be.



2010. március 25-én a MOL Csepeli Bázistelepén egy 5000 m³-es, belső úszótetős benzintartály – sztatikus feltöltődés, vagy nem megfelelő munkaeszköz okozta szikraképződés miatt – felrobbant. A robbanás következtében a tartályban dolgozó 1 fő életét veszítette, valamint a tartályban tűz keletkezett.

A tüzet a Fővárosi Tűzoltóparancsnokság és a Százhalombattai FER Tűzoltóság helyszínre vonultatott egységei habágyú és habsugarak együttes alkalmazásával oltották el.



2010. június 16-án a kínai Dalian kikötőjében lévő tárolótéren kőolajvezeték robbanás történt, melynek következtében egy úszótetős tartály kigyulladt. A robbanás, illetve az erős hőszugárzás miatt öt, egymástól különálló tűz keletkezett, melyek összesített felülete elérte az 50.000 m²-t. A tüzet 300 tűzoltó gépjármű, 14 tűzoltóhajó és mintegy 3.000 fő bevetésével 15 óra alatt sikerült eloltani.



2014. május 21-én egy 5.000 köbméteres kőolaj tartály gyulladt ki Oroszországban, a Komi Köztársaságban, egy Lukoil tartálytelepen. 22 tűzoltó két napig küzdött a lángokkal sikertelenül. A tűz keletkezése után 24 órával boilver következett be, melynek következtében a tűz három másik tartályra is áttért.



A beavatkozás során egy tűzoltó megsérült.

2014. szeptember 26-án a szicíliai Milazzo finomítóban hatalmas tűz keletkezett. A tűz egy tartálytűzből indult ki, amikor karbantartási munkálatok során a tartálytető beomlott, és a tartály kigyulladt.



Noha a tűzoltóknak reggelre sikerült a tüzet ellenőrzés alá vonni, a tartály másnap még mindig égett. A hivatalos tájékoztatás szerint a tartályt hagyják kiégni. A tűzben senki nem sérült meg.

80 tűzoltó, 22 tűzoltó gépjármű és egy tűzoltóhajó küzdött a lángokkal a Brazíliai Santos kikötőjének egyik üzemanyag tároló telepén több mint egy héten keresztül, ahol három benzintartály gyulladt ki. A tűz 2015. április 1-én keletkezett. A tűzoltók fő feladata a szomszédos tartályok hűtése, a tűzterjedés megakadályozása volt. Az esemény során személyi sérülés nem történt.



2016. január 21-én, az Iszlám Állam terrorszervezet légitámadását követően 5 kőolajtartály gyulladt ki a Líbiai Ras Lanuf tárolótér 13 tartályából. A hónapban korábban már hét másik tartályon volt tűz; ez esetben 3 millió barrel veszteségre számítottak.



2016. február 3-án a Dániai Fredericia kikötőjében egy pálmaolaj tartály robbant fel és gyulladt ki. A tűz több tartályra áttérjedt. A környéken lakók közül mintegy 250 főt kitelepítettek, a többieket elzárkózásra szólították fel. Az esemény kapcsán 2 fő sérült könnyebben. A tüzet, melyben 3 merevtetős tartály megsemmisült és további 3 tartály megrongálódott, másnapra sikerült eloltani. Az oltásban kormányzati és katonai egységek, kikötői tűzoltóhajók, és a közeli repülőtérrel érkezett tűzoltó járművek is részt vettek.



2. A KIFORRÁS-KIVETŐDÉS KÍSÉRLET LEFOLYÁSA

Idő	Jelenség	
0 perc	Tűzgyújtás	
29 perc 45 mp	Egyre erősödő forrásra utaló hangjelenség	
30 perc 05 mp	Kiforrás kezdete	
30 perc 36 mp	Intenzív kiforrás kezdete	
30 perc 56 mp	A tűz felülete eléri a maximális méretet	
31 perc 44 mp	Egyre intenzívebb kivetődések hangjelenséggel kísérve	
31 perc 49 mp	Legintenzívebb kivetődés, az égő anyagot lövel a lángtér területén kívülre is	
32 perc 36 mp-től	Kisebb kivetődések és hangjelenségek	
36 perctől	A tűzfelület kiterjedése csökkenni kezd (éghető anyag kiegész)	
37 perc	Tűzfelület 1 négyzetméter alatt	
39perc 40 mp	Tűzfelület 0,1 négyzetméter alatt	

3. A TŰZOLTÁS-TAKTIKAI SZABÁLYZATBA BEÉPÍTETT EREDMÉNYEK

Hatályos szabályok* helye	Korábbi szabályok** helye	Szövegszerű módosítások összefoglalása	Megjegyzés, magyarázat
1.3.	255.	A 4000 m ² - es <u>es</u> vagy ennél nagyobb összefüggő tüzfelület es <u>csak</u> esetében <u>esetében</u> filmképző tulajdonságú oltóanyagokkal oltható.	Nem kizárólag filmképző anyagokkal olthatóak el a nagyobb felületek.
1.4.	256.	A 4000 m²-nél kisebb összefüggő tüzfelület oltása. <u>A tároló- és felfogóterek tüzoltása során törekedni kell a minél kisebb számú és nagyobb teljesítményű oltóeszköz használatára. Több eszköz használata esetén azokat lehetőség szerint egymás mellé kell telepíteni, de a működési helyek megfelelő megválasztásával biztosítani kell a teljes felület habbal történő letakarhatóságát. Az ágvíz sugárát az oltás megkezdésekor azonos pontra kell irányítani.</u>	Kutatásaimmal összefüggésben az eljárásrend módosítása, kiegészítése
1.7.	259.	Az oltáshoz szükséges habképző anyagot a vonatkozó rendeletben meghatározott módon <u>lehetőség szerint 1 m³, vagy annál nagyobb térfogatú edényzetben kell készletezni.</u>	
1.9.	új	<u>A TMMT készítésénél a riasztást és segítségnyújtást meghatározó terveken kívüli megállapodás alapján helyszíre vonulatható erő, eszköz és oltóanyag, valamint tartálytűz-oltási szakértő is figyelembe vehető.</u>	Új tartalom: A 239/2011. (XI. 18.) Korm. Rendelettel összhangban már terveken kívüli megállapodás alapján helyszíre vonulatható erő, eszköz és oltóanyag, valamint tartálytűz-oltási szakértő is figyelembe vehető.
1.9.1.	új	<u>A tűz oltásához szükséges erő, eszköz és oltóanyag mennyiségét az MSZ EN 13565-2:2009 szabvány (a továbbiakban: szabvány) előírásai alapján kell tervezni.</u>	Új tervezési és számítási módszer bevetése a kutatásaim alapján.
1.9.2.	új	<u>A jelen szabályzat hatálya lépésekor használatban lévő tartályok, illetőleg felfogótérük tüzoltásának tervezése során a szabvány szerinti követelmények az alábbiak szerint csökkenthetők, ha a hatékony habbejuttatás biztosított a tüzoltás során:</u>	Szűkítés az 1.9.2.1.-ben és az 1.9.2.2.-ben meghatározott csökkentések alkalmazási körét illetően, azaz új tartály létesítésénél nincs lehetőség a csökkentésekre.
1.9.2.1.	új	<u>Amennyiben a tüzoltás az első riasztástól számított 2 órán belül megkezdhető:</u> a) <u>a „tüzoltás tárgyára vonatkozó korrekciós tényező” (a szabvány 5. fejezet 3. számú és 5. számú táblázata) legfeljebb 50 %-kal csökkenthető, és</u> b) <u>a tüzoltás tervezési időtartama (a szabvány 5. fejezet 3. számú és 5.</u>	Biztosítják a korábbi létesítéseknél létrehozott feltételek, a korábbi szabályozás, valamint az új tervezési módszer összhangját.
1.9.2.2.	új	<u>Amennyiben a tüzoltás az első riasztástól számított 4 órán belül megkezdhető:</u> a) <u>a „tüzoltás tárgyára vonatkozó korrekciós tényező” (fo) (a szabvány 5. fejezet 3. számú és 5. számú táblázat) legfeljebb 25 %-kal csökkenthető, és</u> b) <u>a tüzoltás tervezési időtartama (a szabvány 5. fejezet 3. számú és 5. számú táblázat) legfeljebb 25 %-kal csökkenthető.</u>	
1.9.2.3.	új	<u>A tüzoltás tervezési időtartama a csökkentés követően sem lehet kevesebb 30 percnél.</u>	A korábbi szabályozás 3 x 10 perces "megszakított" habbaloltása helyett, minimális követelményként egyszeri 30 perces oltás került rögzítésre.
1.9.2.4.	új	<u>Az adagolási intenzitás a csökkentés követően sem lehet kevesebb az 5 liter/perc·m² értéknél.</u>	Az 1.9.2.1.-ben és az 1.9.2.2.-ben meghatározott csökkentések alkalmazási körét és hatását korlátozza a tüzoltás végrehajthatóságának garanciájaként, összhangban a korábbi szabályozással (109/2000. számú BM OKF intézkedés).
1.9.2.5.	új	<u>A csökkentések nem alkalmazhatóak vízben oldódó (habtörő) égő anyag egyszeres-mennyiségének esetén.</u>	
1.9.3.	új	<u>Tartály vagy felfogótér részleges vagy teljes felületre kiterjedt tüze esetén a mobil tartálytűzoltó eszközöket, illetve egységet készenlében tartó tüzoltóságot haladéktalanul – a működési terület szerinti tüzoltósággal egy időben – riasztani kell.</u>	Az 1.9-ben bevezetett új tartalommal összefüggésben szükséges kiegészítések.
1.9.4.	új	<u>A mobil tartálytűzoltó egység vonulásakor tartálytűz-oltási ismeretekkel rendelkező, a riasztott eszközt és oltóanyag-állományát ismerő irányító személyt (tartálytűz-oltási szakértőt) is vonultatni kell. Az irányító személy rendelkezésre állásának biztosítása a mobil tartálytűzoltó egységet, illetve eszközt készenlében tartó tüzoltóság feladata.</u>	
1.9.5.	új	<u>Azokon a területeken, ahol a TMMT készítésekor a mobil tartálytűzoltó egység eszközeit vagy oltóanyagait is figyelembe vették, a mobil tartálytűzoltó eszközök alkalmazhatóságát – a helvi sajátosságokra figyelemmel – ellenőrizni kell.</u>	
1.9.6.	új	<u>Létesítményenként, évente legalább egy alkalommal vízes gyakorlatot kell tartani a TMMT szerinti tüzoltóeszközök és erők részvételével.</u>	

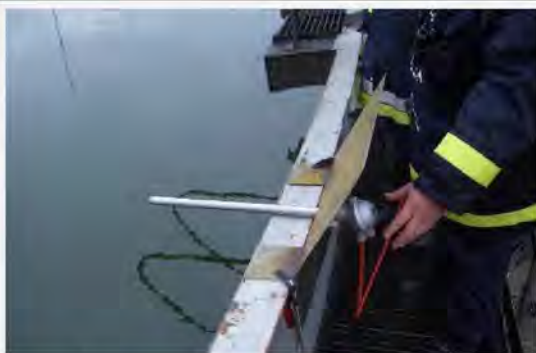
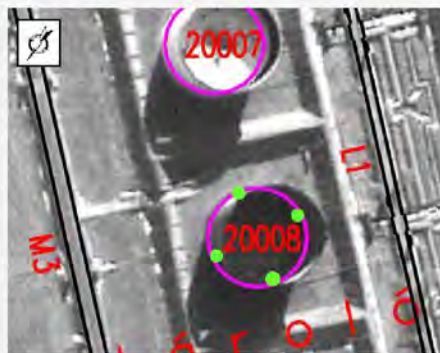
Hatályos szabályok* helye	Korábbi szabályok** helye	Szövegszerű módosítások összefoglalása	Megjegyzés, magyarázat
2.1.	új	<u>A tűzjelzés fogadása, értékelése, valamint az információgyűjtés az R. előírásai mellett lehetőség szerint terjedjen ki az alábbiakra: a) - éghető folyadék jellegére, mennyiségére; b) - tárolási egységre (hordó, tartály); c) - kikerült folyadék mennyiségére, a kijutás módjára; d) - arra, hogy a tüzeset környékében található-e csatorna, vagy csapadékvíz elvezető rendszer; e) - arra, hogy látható-e veszélyt jelző tábla, valamint f) - a környezet jellegére.</u>	
2.1.1.b)	264.	a) teljes felületű tartálytűz esetén legalább a <u>felfogó-tértartály és felfogótér együttes felületének</u> oltásához tervezett erőt, eszközt <u>erőket, eszközöket és oltóanyagot</u> kell riasztani, <u>valamint</u>	A korábbi szabályozásban (264. pont) hibásan szerepelt, hogy - "...a teljes felületű tartálytűz esetén legalább a felfogó tér oltásához tervezett erőt, eszközt kell riasztani.", azaz nem tartály + felfogótér tűzhöz, csak a felfogótérhez, pedig a tartály (is) ég. - nem rendelkezett az oltóanyag riasztásáról.
4.1.		<u>Az R. előírásai mellett a felderítés az alábbiakra terjedjen ki:</u>	Kibővítésre került a c) és d) pontok tartalmával.
4.1.c)	új	<u>a tűz során keletkezett mérgező gőzök-gázok keletkezésének lehetőségére, terjedésének irányára, valamint</u>	A környezeti, környezet- és lakosságvédelmi intézkedések szükségességének felmérése érdekében indokolt.
4.1.d)	új	<u>a tartályban tárolt anyag hőmérsékletének megállapítására</u>	Indokolt az információ gyűjtés, különösen a tartályokban számos létesítményben az oltóvíz forráspontra felett tárolt anyagok miatt (pl. bitumen, nehéz/sötét olajok), valamint a kivetődés-kiforrásra figyelemmel. (A technikai eszközzállomány is fejlődött már, pl. hőkamerák, infra távhőmérők.)
5.1.a)	269.	a) <u>a</u> tűzoltást a TMMT alapján, <u>a keletkezett tűz típusának és méretének figyelembevételével</u> úgy kell szervezni, hogy az a riasztástól számítva a legrövidebb időn belül, de <u>a kivetődés várható időpontja előtt</u> végrehajtható legyen;	Kiegészítésre került a beavatkozás szervezéséről történő döntéshozatal szempontjainak sora az értekezés 1.3. fejezetében bemutatásra került különféle tűztípusok jellemzőinek és térbeli kiterjedésének figyelembevételével.
5.1.c)	271.	a <u>tartályokat</u> úgy kell megközelíteni, <u>illetőleg az eszközöket úgy kell telepíteni</u> , hogy biztosított legyen az oltóanyag hatékony belövése, terítése a teljes felületre.	A hatékony oltóanyag bejuttatás szempontjából az eszközök telepítési helyének helyes megválasztása a meghatározó - ez korábban nem szerepelt a szabályozásban.
6.1.6.	277.	A tűzoltás <u>habroham</u> csak akkor kezdhető meg, ha a szükséges mennyiségű oltóanyag, az oltóhab képzéséhez és kijuttatásához szükséges eszközök, erők és a személyzet egyidejűleg rendelkezésre állnak, <u>vagy az időközben kikerülő készletek igénybevételével</u> a habroham az előírt intenzitással és időtartamig megszakítás nélkül végrehajtható. Amennyiben a tűzoltás folyamatossága <u>biztosítható és a sikeres tűzoltásra való esély van, a szomszédos tartályok veszélyben vannak, akkor gondoskodni kell azok védelméről.</u>	A habroham időtartama megnövekedett az 1.9.1. és 1.9.2.3. alapján, azonban megkezdhető, ha a folyamatos oltóanyagellátás biztosítható - nem kell mindent a helyszínen készletezni. Belekerült a szomszédos tartályok védelmére vonatkozó kötelezés - ilyen korábban nem volt.
6.1.7.	277.	<u>Az oltás a fentiekől eltérően előbb is megkezdhető, ha azzal életveszély, jelentős kár keletkezése, vagy a tűzoltás körülményeinek nagyfokú <u>jelentős</u> romlása megelőzhető, de a teljes eloltásig a habroham lehetőségét biztosítani <u>előzhető meg.</u></u>	Kiegészült az "életveszéllyel", mint az azonnali tűzoltás-megkezdés további peremfeltétele.
6.1.9.	új	<u>Nagyteljesítményű habágyú alkalmazása esetén a sugár irányításakor törekedni kell úgynevezett lábnyom kialakítására a tűzfelület középső részén lévő oxigénhiányos, hűvösebb területen.</u>	Kutatási eredményeim alapján.
6.1.12.	281.	<u>Nyitott üszótetes tartályok körgyűrű-tűze esetén a beépített félstabil habbal oltó berendezésekkel, <u>kézi habsugarakkal</u> és - lehetőség szerint - magashól mentő gépjárművek felhasználásával kell beavatkozni. Az oltás befejezését, illetve annak elősegítését szükség szerint annak megkezdését kézi habsugáreszközökkel. <u>A tűz végleges eloltását kézi habsugarakkal is végezhetjük. Amennyiben a körgyűrű-tűz csupán részleges, az érintett körgyűrű-szakasz védő habfolyatokat kell végezni <u>elsőként meztáplálni.</u></u></u>	Pontosításra került a tartály típusa: "üszótetes" helyett "nyitott üszótetes" szerepel. Új elem a kézi eszközökkel történő (önálló) tűzoltás lehetősége a kutatási eredményeim alapján.
6.1.13.	új	<u>Tartályok tüzeinek oltásakor fokozott figyelmet kell fordítani a robbanás vagy üszótetes süllyedés következtében kialakult osztott tűzfelületre, a takarásban lévő tűz oltására. A takarásban lévő tűzfelülethez való hozzáférést szakemberrel való egyvezetés után tartálytöltéssel vagy leürítéssel elő kell segíteni.</u>	
6.1.14.	új	<u>Belső üszótetes tartályok tüzeinek oltásakor elsődlegesen a beépített habbal oltó berendezéseket kell alkalmazni. A tűzoltás ideje alatt a tartálytetőn vagy a körjárdán tartózkodni nem szabad.</u>	

Hatályos szabályok* helye	Korábbi szabályok** helye	Szövegszerű módosítások összefoglalása	Megjegyzés, magyarázat
6.1.16.	282.	A habtakarót kell biztosítani, hogy az megfelelően lefolytassa a keletkező gázokat, gőzöket és ezt a habtakarót a mászükség esetén a korábban használt, vagy azzal együttesen használható habanyaggal szükség szerint fel kell újítani A habtakarót mindaddig fenn kell tartani és pótolni, amíg a felhevült felületek visszagyulladását idézhetnek elő. A forró felületek visszahűlését műszeres vizsgálattal, hőkamerával kell ellenőrizni.	Pontosítás: nem kizárólag a "már használt, hanem "együttesen használható" habanyagot lehet alkalmazni. Új elem: visszahűtés ellenőrzése műszerrel, vagy hőkamerával.
6.1.17.	új	A habtakarás, valamint a habtakaró megújítása során fokozott figyelmet kell fordítani az oltóhab sztatikus feltöltődésének elkerülésére. Ennek érdekében a sugarakat úgy kell irányítani, hogy az oltóanyag a palást felületén végigfolyva jusson a folvadék felszínére.	
6.1.19.	új	A tartálytűz oltás késői szakaszában a tartálypalást külső vízhűtése a folyadékszint magasságában elegendő a felforrósodott tartályfal visszagyújtó hatásának, a falhatásnak a leküzdését.	Új elem: falhatásra és leküzdésére való utalás.
6.1.20.	új	A hűtést egyenletesen kell végezni, az egyenetlen hűtés a tartálypalást deformálódásához vezethet.	
7.	új	Beavatkozás biztonsági előírásai	Teljesen új fejezet
7.1.	új	A folyadékfelület be- vagy visszagyulladásának megelőzése miatt a habtakarásból eredő sztatikus feltöltődés elleni védelem érdekében, ha a habtakarás alkalmazásáról döntés született, akkor a) lehetőleg a beépített habfolyatókat kell alkalmazni a ráfolytatásos adagolás biztosítása érdekében; b) mobil habsugarak alkalmazása esetén azokat a tartálypalást belső falára kell irányítani a ráfolytatásos adagolás biztosítása érdekében, valamint c) nem szabad a habot közvetlenül a szénhidrogén termék felületére lőni.	Sztatikus feltöltődés veszélyének megelőzése és csökkentése érdekében új tartalom a habtakaró kialakítására.
7.1.1.	új	Ha sikerült egybefüggő habtakarót kialakítani, akkor: a) a habtakarót rendszeresen, a ráfolytatásos módszer alkalmazásával tartósítani kell; b) a tartály teljes leürítéséig folyamatos tűzoltói felügyeletet kell biztosítani; c) a hab természetes roncsolódása során kiváló víz termékbe történő süllyedése elektrosztatikus gyújtáshoz vezethet.	Sztatikus feltöltődés veszélyének megelőzése és csökkentése érdekében új tartalom a habtakaró tartósítására.
7.2.	új	A tűzoltás megkezdésekor nagy hőhatására kell felkészülni, ezért szükség esetén intézkedni kell hővédő ruhák használatára.	
7.3.	274.	Az oltásban résztvevők biztonsága érdekében, az azonnali visszavonulás lehetőségét minden esetben (kiforrás, kivétel) biztosítani kell.	Új megfogalmazás.
7.4.	új	Amennyiben a munkálatok előreláthatóan hosszabb ideig tartanak, a TV képezen megfelelő létszámú tartalékokat, és tegye meg a szükséges intézkedéseket (pihenőhely, melegedő, folyamatos orvosi biztosítás, illemhely, étkezés, védőital, üzemanyag-ellátás).	Új elem a tartalékképzés, pihenetetés, ellátás, stb. rögzítése.
7.5.	új	Kiforrásra hajlamos termékek tüze esetén a tartályt nem szabad kiejtani hagyni.	
7.6.	új	Körgyűrű-tűz oltás során az üszótetőre nem szabad személvzetet küldeni.	Új elem a kutatásainmal összefüggésben bevezetett kézi eszközökkel (felhathova) történő körgyűrűtűzzel összefüggésben.
7.7.	új	Tartálytűz esetén nem szabad az égő tartály felfogóterében mobil habgyűtő üzemeltetni, kerülni kell az ott tartózkodást és csak a legszükségesebb ideig szabad az erőknél ott munkát végezni.	

*5/2014. (II.27.) BM OKF utasítás; a Tűzoltás-taktikai Szabályzat X. fejezete

**1/2003. (I. 9.) BM rendelet a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési tevékenységének szabályairól

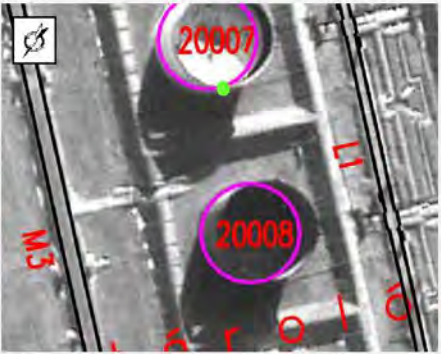
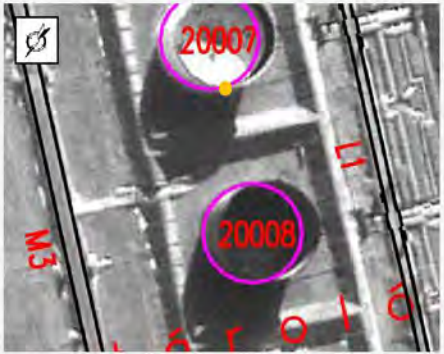
4. HŐMÉRSÉKLETMÉRÉSI PONTOK (3.1.5.2. FEJEZET)

	2005. április 26.	2005. május 19.
A	Típusa: Láng Elhelyezkedése: Palásttető magasságában, a folyadék- felszín fölé 0,4-0,5 méterre benyúlva	
	4/4* 	4/4* 
B	Típusa: Láng Elhelyezkedése: 10 centiméterrel a folyadék-felszín felett, sugárszerű elrendezésben	
	5/0* 	5/5* 

* kihelyezett/működő mérési pontok száma

● működő érzékelő

● üzemképtelen érzékelő

	2005. április 26.	2005. május 19.
C	Típusa: Tartálypalást Elhelyezkedése: Palásttető alatt 7-8 cm-el	
	4/4* 	10/5* 
D	Típusa: Légtér Elhelyezkedése: Szélirányba eső szomszédos tartály palástjának legkevébé veszélyeztetett pontján	
	1/1* 	1/0* 

* kihelyezett/működő mérési pontok száma

● működő érzékelő

● üzemképtelen érzékelő

	2005. április 26.	2005. május 19.
E	Típusa: Légtér Elhelyezkedése: Talajszinten (védőgödör földsánc legmagasabb pontján)	
	4/4* 	1/0* 

* kihelyezett/működő mérési pontok száma

● működő érzékelő

● üzemképtelen érzékelő

5. A HIVATKOZOTT JOGSZABÁLYOK ÉS SZABÁLYOZÓK JEGYZÉKE

- 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról
- 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról
- 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről
- 239/2011. (XI. 18.) Korm. rendelet Az önkormányzati és létesítményi tűzoltóságokra, valamint a hivatásos tűzoltóság, önkormányzati tűzoltóság és önkéntes tűzoltó egyesület fenntartásához való hozzájárulásra vonatkozó szabályokról
- 39/2011. (XI. 15.) BM rendelet a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési tevékenységének általános szabályairól
- 48/2011. (XII.15.) BM rendelet az önkormányzati tűzoltóság legkisebb létszámáról, létesítményei és felszerelései minimális mennyiségéről, minőségéről és a szolgálat ellátásáról
- 15/2010. (V. 12.) ÖM rendelet a tűzoltási, műszaki mentési tevékenységhez kapcsolódó tűzvédelmi technika alkalmazhatóságáról
- 11/1994. (III. 25.) IKM rendelet az éghető folyadékok és olvadékok tárolótartályairól (legutóbb a 1/2011. (I. 14.) NGM rendelettel módosított)
- 5/2014. (II.27.) BM OKF utasítás a Tűzoltás-taktikai Szabályzat kiadásáról
- 54/2014. (XII.5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról
- 2012. évi CLXVI. törvény a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről
- 65/2013. (III.8.) Korm. Rendelet 65/2013. (III.8.) Korm. rendelet a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről
- 1872. évi VIII. törvénycikk, az ipartörvény
- 57/2009.(X.30.) IRM-ÖM-PTNM együttes rendelet az egyes rendvédelmi szervek hivatásos állományú tagjai egészségi, pszichikai és fizikai alkalmasságáról, közalkalmazottai és köztisztviselői munkaköri egészségi alkalmasságáról, a szolgálat-, illetve keresőképtelenség megállapításáról, valamint az egészségügyi alapellátásról

- 9/2015. (III. 25.) BM rendelet a hivatásos katasztrófavédelmi szerveknél, az önkormányzati és létesítményi tűzoltóságoknál, az önkéntes tűzoltó egyesületeknél, valamint az ez irányú szakágazatokban foglalkoztatottak szakmai képzési követelményeiről és szakmai képzéseiről
- 1/2003. (I. 9.) BM rendelet a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési tevékenységének szabályairól
- 109/2000. számú BM OKF intézkedés a beavatkozáshoz szükséges erő-eszköz és oltóanyag számítás módjáról (2000. november 27.)
- NFPA 11 Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam
- 81/2011. számú BM OKF intézkedés
- MSZ EN 1568-1:2008 Tűzoltó anyagok. Habképző anyagok. 1. rész: Vízzel nem keveredő folyadékok felületére felvitt közepes habkiadósságú habok előírásai
- MSZ EN 1568-2:2008 Tűzoltó anyagok. Habképző anyagok. 2. rész: Vízzel nem keveredő folyadékok felületére felvitt nagy habkiadósságú habok előírásai
- MSZ EN 13565-2:2009 Beépített tűzoltó berendezések. Habbal oltó berendezések. 2. rész: Tervezés, kivitelezés és karbantartás

6. TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat: A merevtetős tartályok hazánkban jellemző méretei; készítette a szerző 2009.	24
2. táblázat: A nyitott úszótetős tartályok hazánkban jellemző méretei; készítette a szerző 2009.	26
3. táblázat: Az anyagkijutás előfordulási gyakorisága [32].....	32
4. táblázat: Tartálytűz-típusok kialakulásának a valószínűsége [32].....	32
5. táblázat: A körgyűrű és teljes felületű tartálytűzek gyakorisága. [32].....	33
6. táblázat: A legjellemzőbb tűztípusok térbeni kiterjedése; készítette a szerző 2015.	33
7. táblázat: A kísérlet során alkalmazott orosz kőolaj jellemzői [42].....	49
8. táblázat: Az adagolási intenzitás értékének megállapítása; készítette a szerző 2015.	83
9. táblázat: A tervezési módszerek legalacsonyabb és legmagasabb adagolási intenzitás értékei	84
10. táblázat: A tűzoltás tervezési időtartamának legkisebb értékei	85
11. táblázat: Mobil tartálytűzoltó központok;.....	101
12. táblázat: A szükséges éghetőanyag-mennyiség; készítette a szerző 2015.....	112
13. táblázat: A felhasznált éghető anyag minőségi jellemzőik	113
14. táblázat: Az RE–3 típusú érzékelő műszaki jellemzői, készítette a szerző 2014.....	134
15. táblázat: A mért hőszugárzás értékek (mértékegység: kW/m ²); készítette a szerző, 2015.	136
16. táblázat: Az IWS–100 infravörös kamera műszaki jellemzői; készítette a szerző, 2014.....	136
17. táblázat: A kiegészi sebesség mérés eredménye; készítette a szerző 2015.	150
18. táblázat: A szárazhab tűzoltási kísérletek szakaszai; készítette a szerző 2015.....	167
19. táblázat: A II és III. kísérleti szakasz során felhasznált középbenzin anyagjellemzői.....	167
20. táblázat: Az I. kísérleti szakasz; készítette a szerző 2015.	169
21. táblázat: A II. kísérleti szakasz tesztjei; készítette a szerző, 2015.	170
22. táblázat: A II. szakaszban végrehajtott kísérletek lefolyása; készítette a szerző, 2015.....	171
23. táblázat: Tűzoltási tesztek a III. kísérleti szakaszban; készítette a szerző 2015.	172
24. táblázat: A III. szakasz kísérleteinek lefolyása; készítette a szerző 2015.	174
25. táblázat: Tűzoltási tesztek a IV. kísérleti szakaszban; készítette a szerző, 2016.	175
26. táblázat: A IV. kísérleti szakaszban alkalmazott középbenzin anyagjellemzői.....	175
27. táblázat: A IV/2. tűzoltási kísérlet leírása; készítette a szerző, 2016.	177

7. ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra: Tartálytípusok; készítette a szerző 2009.	24
2. ábra: A tartálytűzek kezdeti tűztípusainak megoszlása; készítette a szerző 2015.	32
3. ábra: Teljes felületű tartálytűz lángterének hőképe [35]	34
4. ábra: A tartályból történő anyagkifolyások okai [11]	41
5. ábra: Boilover tűzterjedés 1,2 méter átmérőjű modellkísérlet során [43]	50
6. ábra: Hősugárzás alakulása a kivetődés során [44]	50
7. ábra: „Twin agent” kézi sugárcső 1963-ban és napjaink eszközei [51] [52] [53]	58
8. ábra: Közös-tengelyű por-hab kombinált ágyúfej: Alco MZVP12000 [55]	58
9. ábra: Hydro-Chem kézi sugárcső működése [57]	60
10. ábra: Rosenbauer RM80 ChemCore [61]	62
11. ábra: Alco APF 8-HR ágyú. Készítette: a szerző, 2013.	63
12. ábra: A kémiai ellenálló-képesség vizsgálat eredményei [66]	66
13. ábra: A DryFoam párolgás csökkentő hatása [66]	67
14. ábra: A kerozin lobbanáspontjának és gyulladási hőmérsékletének változása [71]	70
15. ábra: A hőfelszabadulás alakulása a kivetődés kísérletek során, különféle szárazhab rétegvastagságok esetén	72
16. ábra: A 80 ezer m ³ -es úszótetős tárolótartály félstabil habfolyatóinak habterülése. [74]	76
17. ábra: A tartálytűzoltó rendszerek felépítésének sematikus áttekintése [78]	78
18. ábra: A mobil tartálytűzoltás műszaki és logisztikai feltételrendszere;	80
19. ábra: Hazánkban alkalmazott nyomóömlő átmérők	89
20. ábra: HFS nagyteljesítményű mobil tűzi-víz ellátó rendszer	92
21. ábra: Mobil oltóközpont (Silvani MP20000) [83]	102
22. ábra: A tűzoltási kísérletek helyszíne Forrás: FER tűzoltóság	109
23. ábra: A tűzoltási kísérletek helyszíne	110
24. ábra: Az adagolási intenzitás és az oltási idő összefüggése [94]	122
25. ábra: Az oltóhab bejuttatása, „hídőállás” kialakítása a felszínen [95]	122
26. ábra: Az eszközök felállítási helyei 2005. április 26-án; készítette a szerző 2005.	124
27. ábra: A teljes felületű tartálytűz oltása; Forrás: FER Tűzoltóság	126
28. ábra: A tűzfelület alakulása a tűzoltás során; készítette: a szerző, 2015.	127
29. ábra: Pillanatfelvételek az infravörös kamera által rögzített filmből;	128
30. ábra: Hőmérsékleti adatok a földszíncoronáján és a szélirányba eső (20007. jelű) tartály körjárda korlátján	131
	216

31. ábra: A lánghőmérséklet alakulása a tartálypalást felső pereménél	131
32. ábra: A tartálypalást hőmérsékletének alakulása	132
33. ábra: A lánghőmérséklet alakulása a folyadékfelszín felett	132
34. ábra: A lánghőmérséklet alakulása a tartálytető magasságában, szélirányban; valamint a szél felé és oldalt eső szakaszokon	133
35. ábra: A tartálypalást hőmérsékletének alakulása a szélirány és az idő függvényében	133
36. ábra: A láng hőszugárzása a szél felőli (20.009. számú) tartályon [35]	135
37. ábra: A láng hőszugárzása a széliránnyal ellentétes (20.007. számú) tartályon [35]	135
38. ábra: A lángelhajlás mértéke; készítette a szerző 2015.	137
39. ábra: Példa IR felvétel a lángterről; készítette a szerző, 2005.	137
40. ábra: A lángtér középvonalának átlagos hőszugárzás kibocsátása és a lángmagasság/tartályátmérő arányszám összefüggése [35]	138
41. ábra: A lángtér hőmérséklete és az optimális habbejuttatási lángzóna (IR felvételek)	139
42. ábra: A körgyűrű-tűzoltási kísérletek helyszín	147
43. ábra: A kiegészi sebesség mérés eredménye; készítette a szerző 2015.	150
44. ábra: Tipikus habrendszer kialakítás beépített hablövellő ágyúkkal [108]	159
45. ábra: A „hideg” habterületi tesztek; készítette a szerző 2010.	162
46. ábra: A tűzoltási kísérletek; készítette a szerző 2010.	163
47. ábra: A tűzoltási és habterületi kísérletek; készítette a szerző 2010.	163
48. ábra: Infravörös mérések; készítette a szerző 2009.	164
49. ábra: A III/1. kísérlet tűzoltásának lefolyása; készítette a szerző, 2015.	173
50. ábra: A III/2. számú (sikertelen) tűzoltási kísérlet 5 cm rétegvastagságú szárazhabbal	173
51. ábra: A „hideg” szárazhab-területi próba; készítette a szerző, 2016.	176
52. ábra: A IV/2. tűzoltási kísérlet; készítette a szerző, 2016.	178

8. FÉNYKÉPEK JEGYZÉKE

1. fénykép: Földsáncsal határolt védőgödör; készítette a szerző 2009.	28
2. fénykép: Beton védőfallal kialakított védőgödör; készítette a szerző 2009.	29
3. fénykép: Tűzeset során károsodott védőfal [30]	29
4. fénykép: Alámosott védőfal [31]	29
5. fénykép: Védőgyűrűs tartály; készítette a szerző	30
6. fénykép: Teljes felületű tartálytűz;.....	34
7. fénykép: Lerobbant tartálytető;.....	35
8. fénykép: Körgyűrű-tűz	38
9. fénykép: Részlegesen elsüllyedt úszótető.....	39
10. fénykép: Háromdimenziós tűz oltása Hydro-Chem sugarakkal; Forrás: FER Tűzoltóság	59
11. fénykép: Oltókarra épített Hydro-Chem ágyú; Forrás: FER Tűzoltóság	59
12. fénykép: Hydro-Chem sugárcső működés közben;.....	60
13. fénykép: Ranger Hydro-Chem ágyú gépjárműre építve [57]	61
14. fénykép: Vogt Hydro-Chem ágyú	61
15. fénykép: DryFoam gyöngyök; készítette a szerző, 2016.....	65
16. fénykép: A szárazhab-kéreg.....	66
17. fénykép: A DryFoam szárazhab [66]	66
18. és 19. fénykép: LNG tűz intenzitásának csökkentése DryFoam alkalmazásával [68]	69
20. fénykép: Utánfutóra épített FireDos 10000-09S1-02 habbekeverő rendszer	97
21. fénykép: Ambassador ágyú.....	99
22. fénykép: Silvani MP18000 Mobil oltóközpont.....	103
23. fénykép: Silvani MP 20000 mobil oltóközpont tűzoltás közben	103
24. fénykép: A kísérleti tartály tömítőrése Forrás: FER tűzoltóság 2015.	146
25. fénykép: Tömítőréstűz oltási kísérlet; Forrás: FER tűzoltóság 2015.	152
26. fénykép: Középhab-sugár bevetése a körgyűrűtűz oltási kísérletek során	155
27. fénykép: Rögzített „hablövellő” ágyú beépítve [108]	159
28. fénykép: Habterjedési kísérlet nehézhabbal; Forrás: FER Tűzoltóság	162
29. fénykép: Habterjedési kísérlet középhabbal; Forrás: FER Tűzoltóság	162
30. fénykép: A kísérleti tartály	168

9. A SZERZŐ TÉMAKÖRBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉKE

LEKTORÁLT SZAKMAI FOLYÓIRATCIKKEK (ON-LINE IS)

Magyarországon megjelenő idegen nyelvű folyóiratban

1. Pimper László, Mészáros Zoltán, Koseki Hiroshi: Largescale diesel oilburns AARMS Academic and Applied Research in Military and Public Management Science Volume 13, Issue 2, 2014. pp. 329-336

Magyar nyelvű mértékadó folyóiratban

2. Pimper László: Oltóhab mozgásának vizsgálata folyadékfelületen Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle ISSN 1218-2958 2010. XVII. évfolyam 3. szám pp. 17-20.
3. Pimper László: Tűzveszélyesfolyadék-tároló tartályok és jellemző tűztípusaik Védelem Katasztrófavédelmi Szemle ISSN 1218-2958 2012. XIX. évfolyam 2. szám pp.21-25.
4. Pimper László: Hydro-Chem – ha rövid a porsugár Védelem Katasztrófavédelmi Szemle ISSN 1218-2958 2012. XIX. évfolyam 5. szám pp.19-22.
5. Pimper László: Tűzveszélyes folyadékot tároló tartályok felfogótér-tüzeinek oltása Védelem Katasztrófavédelmi Szemle ISSN 1218-2958 2012. XIX. évfolyam 3. szám pp.15-19.
6. Pimper László: DryFoam – tűzoltóhab víz nélkül Védelem Katasztrófavédelmi Szemle ISSN 1218-2958 2014. XXI. évfolyam 1. szám pp.61-63
7. Mórocz Árpád, Pimper László: Cseppfolyósított szénhidrogén gázok vasúti szállítása. VÉDELEM KATASZTRÓFAVÉDELMI SZEMLE 22. (5): pp. 9-12. (2015)
8. Mórocz Árpád, Pimper László: Vasúti balesetek – Mobil vészátfejtő cseppfolyósított szén-hidrogén gázokhoz. VÉDELEM KATASZTRÓFAVÉDELMI SZEMLE 22.(6): pp. 15-17. (2015)

NEM LEKTORÁLT SZAKMAI FOLYÓIRATCIKKEK

Magyar nyelvű cikk

9. Pimper László: Atmoszférikus tárolótartályok tüzeinek oltása – Mobil tartálytűzoltás és kísérletek a FER tűzoltóságnál. MOL MAGYAR OLAJ- és GÁZIPARI Részvénytársaság Szakmai Tudományos Közlemények ISSN 1217-2820 2005/2. szám. pp. 201-220
10. Pimper László: Tűzoltó gyakorló pálya a MOL Nyrt. Dunai Finomítójában I. Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle ISSN 1218-29582007. 4. szám pp. 43-44

11. Pimper László: Tűzoltó gyakorló pályája a MOL Nyrt. Dunai Finomítójában II. Védelem katasztrófa- és tűzvédelmi szemle ISSN 1218-2958 2007. 5. szám pp. 25-28
12. Pimper László: Ne végezze ember a gépeknek való munkát! Flórián Press Magyar Tűzbiztonsági Szakfolyóirat ISSN 1215-492x pp.372-373 20. évfolyam 9. szám, 2011. szeptember
13. Pimper László: Új táv(latok) a porraloltásban: a Hydro-Chem technológia Flórián Press Magyar Tűzbiztonsági Szakfolyóirat, ISSN 1215-492x 22. évfolyam 5. szám, 2013. május pp.188-193
14. Pimper László: Vizmentes tűzoltó hab alkalmazásának kutatása. VÉDELEM TUDOMÁNY: KATASZTRÓFAVÉDELMI ONLINE TUDOMÁNYOS FOLYÓIRAT I. (1): pp. 15-29. (2016). URL.: http://vedelemtudomany.hu/articles/02_Pimper.pdf letöltés: 2016.04.14.
15. Pimper László: Az olaj- és víztaszító tulajdonságú, üreges gyöngyökből álló, úszóképes tűzálló szárazhab tartálytűzoltására történő alkalmazása. VÉDELEM TUDOMÁNY: KATASZTRÓFAVÉDELMI ONLINE TUDOMÁNYOS FOLYÓIRAT I. (1): pp. 44-64. (2016). URL.: http://vedelemtudomany.hu/articles/02_Pimper.pdf letöltés: 2016.04.14.

NEMZETKÖZI SZAKMAI KONFERENCIA KIADVÁNYÁBAN MEGJELENT ELŐADÁS

Lektorált idegen nyelvű előadás

16. László Pimper: Tasks and objectives of the organization Lastfire - Researches and tests of FER Firebrigade. In: РИЗИК И БЕЗБЕДНОСНИ ИНЖЕЊЕРИНГ ЗБОРНИК РАДОВА 6. МЕЂУНАРОДНОГ НАУЧНОГ САВЕТОВАЊА КОПАОНИК 31. јануар - 05. фебруар, 2011. ISBN 978-86-84853-83-9 pp.324-337.

Nem lektorált idegen nyelvű előadás

17. László Pimper: The system of mobile tank fire-fighting equipment. In: Konferencia kiadvány: Olaj- és Vegyipari Tűzoltóságok 5. Nemzetközi Konferenciája; Budapest, 2009. november 17-18. Kiadó: FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft. Compact Disk ISBN 978-963-06-8639-6
18. László Pimper: The role of the mobile fire-water supply system in the fire-water supply of Duna Refinery. In: Konferencia kiadvány: Ipari Létesítményi Tűzoltóságok 6. Nemzetközi Konferenciája; Budapest, 2011. október 25-26. Kiadó: FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft. Compact Disk ISBN 978-963-08-2468-2

19. László Pimper: Tank-fire tests of FER Fire Brigade In: 1st International Professional Day of the National Association of Industrial Fire Brigades, Tiszaújváros, 2012. május 16. ISBN 978 -963-08-4023
20. László Pimper: Dry powder-foam dual agent firefighting: If the throw range of dry powder is too short... In: [sn] (szerk.) Ipari Létesítményi Tűzoltóságok 8. Nemzetközi Konferenciája. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2015.11.10-2015.11.11. Százhalombatta: FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft., 2015. pp. 1-11. (ISBN:978-963-12-4086-3)

HAZAI SZAKMAI KONFERENCIA KIADVÁNYBAN MEGJELENT

21. Pimper László: A mobil tartálytűzoltás alapvető kérdései – az oldatintenzitás Konferencia kiadvány: Olaj- és Vegyipari Tűzoltóságok 5. Nemzetközi Konferenciája Budapest, 2009. november 17-18. Kiadó: FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft. Compact Disk ISBN 978-963-06-8639-6
22. Pimper László: A beavatkozók hőhatás elleni védelme a tartálytűz-oltás során Konferencia kiadvány: Ipari Létesítményi Tűzoltóságok 6. Nemzetközi Konferenciája; Budapest, 2011. október 25-26. Kiadó: FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft. Compact Disk ISBN 978-963-08-2468-2
23. Pimper László: Nagyméretű atmoszférikus tárolótartályok tűzoltása. Konferencia kiadvány: Ipari Létesítményi Tűzoltóságok 7. Nemzetközi Konferenciája; Budapest, 2013. november 27-28. Kiadó: FER Tűzoltóság és Szolgáltató Kft. Compact Disk ISBN 978-963-08-7588-2