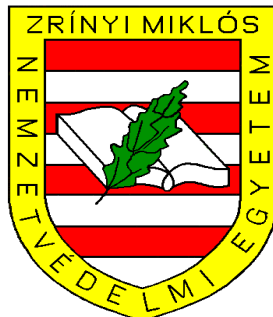


ZRÍNYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM
BOLYAI JÁNOS KATONAI MŰSZAKI KAR
KATONAI MŰSZAKI DOKTORI ISKOLA



Restás Ágoston ny. tűzoltó alezredes

**Az erdőtüzek légi felderítésének és oltásának
kutatás-fejlesztése**

Doktori (PhD) Értekezés

Témavezető:

Dr. Grósz Zoltán PhD.
egyetemi docens

Budapest, 2008.

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS.....	3
A TÉMA AKTUALITÁSA.....	3
A TÉMA KÖRÜLHATÁROLÁSA	5
A KUTATÁSOM FŐ CÉLKITŰZÉSEI:.....	5
KUTATÁSI MÓDSZEREK.....	6
1 AZ ERDŐTŰZEK TERMÉSZETE ÉS HAGYOMÁNYOS ESZKÖZÖKKEL TÖRTÉNŐ	8
OLTÁSÁNAK VIZSGÁLATA.....	8
1.1 MAGYARORSZÁG ERDŐSÉGEINEK NÉHÁNY JELLEMZŐ ADATA.....	8
1.2 AZ ERDŐTŰZEK KELETKEZÉSÉNEK OKAI ÉS TERJEDÉSÜKET BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK	9
1.3 AZ ERDŐTŰZEK TERMÉSZETÉNEK ÉS OLTÁSI FOLYAMATÁNAK VIZSGÁLATA.....	12
1.3.1 A Kárérték - Idő függvény vizsgálata.....	12
1.3.2 A tűz terjedési sebessége.....	15
1.3.3 A tűzvonal-intenzitás fogalmának bevezetése	17
1.3.4 A frontvonal oltási sebesség fogalmának bevezetése	18
1.3.5 A frontvonal oltási sebesség és a tűzintenzitás kapcsolata	20
1.3.6 A tűzoltás folyamatának elemzése.....	22
1.4 AZ ERDŐTŰZOLTÁS PROBLÉMÁINAK ÖSSZEGZÉSE	24
2 A LÉGI TÁMOGATÁS FELTÉTELRENDSZERÉNEK VIZSGÁLATA.....	27
2.1 A REPÜLŐGÉPEKKEL ÉS HELIKOPTEREKKEL VÉGREHAJTHATÓ FELADATOK.....	27
2.1.1 A légi felderítés	27
2.1.2 Légi irányítás	29
2.1.3 Logisztikai támogatás	31
2.1.4 Tűzoltás.....	32
2.2 A LÉGI TŰZOLTÁS ESZKÖZRENDSZERÉNEK VIZSGÁLATA	35
2.2.1 Az oltóanyag hordozó eszközei.....	35
2.2.2 Hazai eszközpark	37
2.2.3 Az oltóanyag kibocsátásának eszközei, mint segédeszközök	39
2.2.4 Az oltóanyag.....	42
2.3 METEOROLÓGIA, MINT A REPÜLÉST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐ.....	47
2.3.1 Általános repülési meteorológia	47
2.3.2 A légi tűzoltás és a mikrometeorológia.....	48
2.4 A LÉGI TŰZOLTÁS GAZDASÁGOSSÁGI VIZSGÁLATÁNAK ALAPJAI.....	50
2.4.1 Veszteségek és költségek	50
2.4.2 A gazdaságosság vizsgálatának alapesetei.....	51
2.4.3 Hagyományos eszközökkel el nem oltható erdőtűzek.....	52
2.4.4 Hagyományos eszközökkel oltható tüzek.....	52
2.4.5 A közös alkalmazás gazdaságosságának feltételei - komplex összehasonlító elemzés.....	55
2.4.6 Összehasonlító elemzés.....	57
2.5 A FEJEZET EREDMÉNYEINEK ÖSSZEGZÉSE	58
3 LÉGI FELDERÍTÉS.....	59
3.1 LÉGI FELDERÍTÉS A TŰZOLTÁS SORÁN	59
3.1.1 A légi felderítés szakmai szempontból hatékony	60
3.1.2 A légi felderítés nemzetgazdasági szinten hatékony.....	63
3.1.3 A légi felderítés költségei jelentősen csökkenthetők.....	64
3.2 PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK ALKALMAZÁSA.....	68
3.2.1 A pilóta nélküli repülőgéppel szemben támasztott követelmények.....	68
3.2.2 Pilóta nélküli repülőgépek készenlétebe helyezése	71
3.3 LÉGI FELDERÍTÉS A TÜZEK ÉSZLELÉSE CÉLJÁBÓL	74
3.3.1 A légi őrzővizsgálás szakmai szempontból hatékony.....	75
3.3.2 A légi őrzővizsgálás nemzetgazdasági szinten hatékony	76
3.3.3 A szűkös források felhasználása hatékony	78
3.3.4 A szűkös források vizsgálatának származtatott eredménye.....	84
3.4 A TŰZ ELOLTÁSA UTÁNI TERÜLET-MEGFIGYELÉS	88
3.5 A FEJEZET EREDMÉNYEINEK ÖSSZEGZÉSE	89

4	A LÉGI TŰZOLTÁS ELMÉLETI ALAPJAI.....	90
4.1	AZ OLTÓANYAG KIBOCSÁTÁSA ÉS DEFORMÁCIÓJA.....	90
4.2	A SZÓRÁSKÉP MODELLEZÉSE.....	92
4.2.1	<i>Parabola modell.....</i>	93
4.2.2	<i>A háromszög modell.....</i>	94
4.3	A KIBOCSÁTOTT OLTÓANYAG FELSZÍNEN TÖRTÉNŐ ELOSZLÁSA	97
4.4	A FELSZÍNI ELOSZLÁST MÓDOSÍTÓ TÉNYEZŐK VIZSGÁLATA	98
4.4.1	<i>A repülési magasság</i>	98
4.4.2	<i>A repülési sebesség</i>	102
4.4.3	<i>Az oltóanyag veszteségei.....</i>	104
4.4.4	<i>A szél hatása az ürtésre.....</i>	106
4.5	A HATÉKONY OLTÁS FELTÉTELE - A SZÜKSÉGES FELÜLETI ELOSZLÁS MEGHATÁROZÁSA	107
4.6	A FEJEZET EREDMÉNYEINEK ÖSSZEGZÉSE	108
5	A LÉGI TŰZOLTÁS TAKTIKÁJA.....	110
5.1	A LÉGI TŰZOLTÁS ALAP MANŐVEREI	110
5.1.1	<i>Egyenes vonalban végrehajtott oltóanyag kibocsátás.....</i>	110
5.1.2	<i>Rárepülés után kifordulással történő vízkibocsátás.....</i>	112
5.1.3	<i>Pontszerű oltás.....</i>	113
5.2	A REPÜLÉSI PARAMÉTEREK TŰZOLTÁS TAKTIKAI MEGHATÁROZÁSA	114
5.2.1	<i>A repülési magasság megválasztása a tűzoltás taktika függvényében</i>	114
5.2.2	<i>A repülési sebesség és magasság tűzoltás taktikai hatása</i>	116
5.2.3	<i>A kibocsátás hatékonysági indexe és javításának lehetősége.....</i>	117
5.2.4	<i>A veszteségek csökkentésének tűzoltás taktikai lehetősége</i>	118
5.3	A LÉGI TŰZOLTÁS GYAKORLATA	119
5.3.1	<i>Az oltás taktikája sík terület fölött.....</i>	120
5.3.2	<i>Az oltás taktikája hegyes terep fölött</i>	122
5.4	A FEJEZET EREDMÉNYEINEK ÖSSZEGZÉSE	124
	AZ ÉRTEKEZÉS EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA	126
	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	130
	AJÁNLÁSAIM.....	131
	FELHASZNÁLT IRODALOM	132
	KÉPEK, TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE	135
	PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE.....	137

BEVEZETÉS

A téma aktualitása

A szakirodalmak döntő többsége ma már a globális klímaváltozást tényként fogadja el. Egyes klímamodellek szerint az előre jelzett üvegházgáz-koncentrációk esetén az éghajlat fokokban kifejezhető változás előtt áll. Ennek egyik velejárója, hogy az időjárás szélsőséges jelenségei megszorodnak, így egyre inkább várható, hogy az özvízszerű esőzések, felhőszakadások egyes helyeken gyakoribbá válnak, míg más területeken a tartósan csapadékmentes időszakok kitolódnak [69]. A szárazabb időszakokban a vegetáció nedvességtartalma lecsökken, ezáltal a meggyulladás, égés feltétele jelentősen kedvezőbbé válik. Az erdőtüzek gyakoriságát, kockázatát előrejelző, meteorológiai adatokon alapuló indexeket a nemzetközi gyakorlat már régóta alkalmazza [7]. A regionális éghajlati forgatókönyveket és erdőtűz gyakorisági indexeket kombinálva azt kapjuk, hogy Magyarországon már 0,5 fokos melegedés is több mint 50% -kal növelheti az erdőtüzek gyakoriságát [41]. Számítások szerint 4 fokos melegedés esetén az erdőtüzek gyakoriságának akár 200 – 300% -os növekedése sem zárható ki [11].

A Magyar Tudományos Akadémia „A globális klímaváltozás hazai hatásai és az arra adandó válaszok” címmel egy 3 éves kutatási projektet indított [39]. Az eredményeket hazai konferenciákon és egyéb különböző publikációkban ismertették. A projektben a természeti és civilizációs katasztrófák elleni védelem problémakörét is vizsgálták, amelyben több neves katasztrófavédelmi szakember is jelentős, előremutató munkát végzett [8]. Az erdők feladatait a VII. Erdészeti Világkongresszuson - a magyar küldöttség javaslatára - termelési, környezetvédelmi és szociális-üdülési funkciókban határozták meg. A helyes erdőgazdálkodás ezért az erdő anyagi értékei mellett, azok eszmei, immateriális értékét is előtérbe helyezi. Az erdő minden különösebb fejlesztés nélkül önmagában is sok közjóléti értéket hordoz. Ezeket egyrészt tudatos emberi beavatkozással a közcélú igényeknek megfelelően fejleszteni, másrésztől annak tűz általi pusztulását megelőzni, vagy a pusztulás mértékének nagyságát csökkenteni szükséges [24].

Az erdővagyon pusztulása során nem csak a fatömeg értékének elvesztésével kell számolni, hanem egy teljes élő rendszer időleges vagy végleges kiesésével is. Az erdőtüzek során jelentős mennyiségű hamu és széndioxid is a levegőbe kerül, ami már megoldandó természetvédelmi, környezetszennyezési probléma is.

Nemzetgazdasági szinten az erdőtüzek által okozott veszteség mértékét tovább növeli az azok oltására fordított költség nagysága is. Sajnos kevésbé vizsgált terület, de megkérdőjelezhetetlen, hogy az időben elhúzódó oltási folyamat - a tűzoltók távolléte, a riasztási lehetőség tartós hiánya miatt - a társadalom magasabb potenciális veszélyeztetettségét jelenti [54].

A médián keresztül nap, mint nap látható, hogy a tűz pusztító hatása elleni védekezés nem csak hazánkban, de nemzetközi szinten is súlyos és megoldásra váró probléma. A vegetációtüzek, de különösen az erdőtüz elleni küzdelem fontossága a tudomány és technika mai lehetőségeit is a védekezés hatékonyságának növelésére kényszeríti. Ez magába foglalhatja az olyan újszerű eljárások kidolgozását, mint a távolsági érzékelésen alapuló tűzdetektálás [37] [75] [58], a robbantásos tűzoltás [21] [60], vagy a térinformatikai alapokon nyugvó döntéstámogatás [14] [61]. Ezek közé - a ma még nem mindennaposnak mondható módszerekhez - tartozik az értekezésem fókuszában álló légi tűzoltás és a légi felderítés módszereinek alkalmazása is.

A külföldi média nagyobb tüzesetekről történő tudósításai között szinte valamennyi esetben feltűnnek a levegőből készített fotók, filmek képsorai, amelyek óriási leégett, vagy még égő területeket mutatnak. A tűzoltások során bevetésre kerülő repülőgépek és helikopterek látványos manőverei is kedvenc témái a riportereknek. Mindezek bizonyítják a repülőgépek szükségszerű és hatékony nemzetközi alkalmazását, a légi felderítés és tűzoltás módszerének terjedését.

A globális klímaváltozás kihívására a szakemberek nemzetközi összefogással [26] [27], a határokon átnyúló erőforrás-koncentráció lehetőségével válaszolnak [35]. Erre a hazai gyakorlatban is találunk példát. A 2007-ben Görögországot sújtó kiterjedt erdő- és bozóttüzek eloltásában a Fővárosi Tűzoltóparancsnokság állományából is többen részt vettek. A fentiek alapján a jövőben a nemzetközi szerepvállalások további kölcsönös előtérbe kerülését várom.

A levegőből történő tűzoltás alkalmazására az elmúlt évek eseményeit tekintve hazánkban is találunk példákat. A katonai és civil pilóták korábbi tapasztalataikat felhasználva nyújtanak segítséget. Az eddigi tapasztalatok leírására, azok komolyabb elemzésére, a módszer elméleti alapokon történő vizsgálatára és a későbbi felhasználók részére történő átadás feltételeinek megteremtésére eddig még nem került sor. Ezért értekezésem tárgyaként olyan témát választottam, amely a jövőben minden bizonnyal

előtérbe kerül és átfogó vizsgálata előbb, vagy utóbb nélkülözhetetlenné válik. Az előbbieken felsoroltak miatt - megítélésem szerint – témaválasztásom aktuális és az értekezés hiánypótló alkotás.

A téma körülhatárolása

Kutatásaim kezdetén a légi tűzoltás problémakörének vizsgálatára fókuszáltam. Ehhez elengedhetetlen volt az erdőtüzek hagyományos oltásának szélesebb körű és problémát feltáró áttekintése is. Ennek során számomra bebizonyosodott, hogy a repülőgépek és helikopterek alkalmazása a légi tűzoltás szűken vett fogalmakörén túl akár sokkal szélesebb körű is lehet. Kutatásaimban ennek lehetőségeit is feltártam és az értekezésem témáját ennek megfelelően átértelmeztem, illetve bővítettem azt. A fentiek előrevetítik, hogy a légi tűzoltás elterjedésével annak tartalma természetes módon bővülni fog, esetleg átalakul. A repülőgépek és helikopterek alkalmazásának valamennyi lehetőségét számításba véve a továbbiakban a légi támogatás fogalmának bevezetését javasolom.

Kutatásaim során a légi tűzoltáson kívül a légi támogatás fogalmakörébe soroltam a légi felderítés, a logisztikai támogatás és a légi irányítás témáit is. A légi tűzoltás hatékony végrehajtásának nélkülözhetetlen eleme a pontos felderítés, a tűz frontvonalának folyamatos nyomon követése. Ezért a légi tűzoltás fogalmaköréhez a légi felderítés szorosan, elválaszthatatlanul hozzátartozik, együtt él vele. Az értekezés témakörének körülhatárolása során ezért a légi tűzoltást és a légi felderítést kutatási területemnek tekintettem, de a légi irányítás és logisztikai támogatás bemutatását – területi korlátok miatt - csak az értekezéshez szükséges helyes értelmezés szintjének eléréséig tartottam feladatommak.

A kutatásom fő célkitűzései:

- tanulmányozni az erdőtüzek oltásának jelenlegi rendszerét, összegezni azok hiányosságait és feltárni a légi támogatás alkalmazásával azok javításának lehetőségeit;
- megszerezni a légi tűzoltás nemzetközi és hazai eszközparkját, az oltáshoz alkalmazható eszközöket és oltóanyagfajtákat;
- tanulmányozni a légi felderítés tapasztalatait, abból következtetéseket levonni és felhasználni új, a tűzoltás során a gyakorlatban is használható repülőeszköz megalkotására;

-
- megvizsgálni a légi felderítés hatékonyságát a tüzek mielőbbi észlelése céljából és abból következtetéseket levonni;
 - megvizsgálni a légi tűzoltás nemzetközi tapasztalatait, rendszerezni az eddigi eredményeket, belőlük következtetéseket levonni;
 - a légi tűzoltás tapasztalatainak eredményeit felhasználni, a gyakorlatban hazai viszonyok között is alkalmazható funkcionális rendszerezést megalkotni;
 - megfogalmazni a hatékony alkalmazás gazdaságossági szempontú általános kritériumait.

Kutatási módszerek

A kitűzött kutatási céljaim elérése érdekében az alábbi, főbb kutatási módszereket alkalmaztam:

- tanulmányi tervemet úgy állítottam össze, hogy a kötelező és választott tantárgyak, kutatói szemináriumok a lehető legjobban támogassák tudományos célkitűzéseim elérését;
- tanulmányoztam a témával kapcsolatos hazai és nemzetközi elérhető szakirodalmak vonatkozó fejezeteit, a megjelent kiadványokat, tanulmányokat, kéziratokat, valamint a legfrissebb kutatások eredményeit;
- részt vettem hazai és nemzetközi szakmai fórumokon, tanulmányutakon és konferenciákon, ahol előadásokat is tartottam, emellett tapasztalatokat gyűjtöttem, eszmét cseréltem más kutatókkal, fejlesztőkkel és gyakorlati szakemberekkel;
- ismereteket gyűjtöttem más államok tapasztalatairól, elméleti és gyakorlati eredményeiről;
- konzultáltam potenciális hazai és nemzetközi felhasználókkal és alkalmazókkal, felmértem és összegeztem igényeiket és elképzeléseiket;
- konzultációkat folytattam a téma szűkebb szakterületeit képviselő kutatókkal, szakemberekkel;
- célirányos keresést folytattam könyvtárakban, valamint számítógépes hálózaton elérhető adatbázisokban;
- rendszereztem az eddigi pályafutásom alatt szerzett tudásomat, pilótaként és tűzoltóként szerzett tapasztalataimat;
- gyakorlati kísérleteket folytattam le, eredményeit a lehetőségek függvényében a gyakorlatba is átültettem és alkalmaztam.

Értekezésemet öt fő fejezetre tagoltam:

Az **első fejezetben** az erdőtüzek oltásának problémakörét vizsgálom, kialakulásuk lehetőségeit és a jelenlegi oltástaktika sajátosságait. Ezek során nemzetközi szinten már alkalmazott, de a hazai gyakorlat számára még új fogalmakat is bevezetek és használok. Az eredményeket összegzem és rávilágítok a megoldás repülőgépek és helikopterek alkalmazásával történő lehetőségeire.

A **második fejezetben** megvizsgálom a légi támogatás feltételrendszerét. Áttekintem a repülőgépekkel és helikopterekkel végrehajtható feladatokat, a levegőből történő tűzoltás eszközeit és feltételeit, különös tekintettel a gazdaságossági kritériumok megfogalmazására.

A **harmadik fejezetben** a légi felderítés lehetőségeit hipotézisek alapján elemzem, és hatékonyságát bizonyítom. Megalkotom a pilóta nélküli repülőgépek tűzoltásnál történő alkalmazásának követelményrendszerét, megvizsgálom és meghatározom a szakmai és gazdaságossági szempontú hatékony alkalmazás szélső értékeit.

A **negyedik fejezetben** a légi tűzoltás háttérével, elméleti alapjaival foglalkozok. Elemzem és rendszerezem a tűzoltást befolyásoló tényezőket, következtetéseket vonok le belőlük és meghatározom a hatékonyság kritériumait.

Az **ötödik fejezetben** a tűzoltás gyakorlati végrehajtását vizsgálom és egységes rendszerbe foglalom az alkalmazható manővereket, ezek alapján meghatározom a gyakorlati alkalmazás lehetőségeit.

Kutatásaim részeredményeit és eredményeit szakmai kiadványokban rendszeresen publikáltam, nemzetközi és hazai szakmai fórumokon és konferenciákon tartottam előadásokat az általam végzett munkáról és azok eredményeiről. Előadásaim és publikációim visszhangjait, reflexióit felhasználtam az eredményeim értékelése során.

Kutatói tevékenységem a disszertáció megírásával nem ér véget. Az eddigi munkám eredményeinek nemzetközi visszhangja alapján az erdőtüzek légi támogatásának témakörében meghívást kaptam két nemzetközi pályázatban történő részvételre is^{1:2}. Ezek – megítélésem alapján – kellően bizonyítják a kutatási eredményeim nemzetközi elismertségét és eredményét.

¹ Automatic and Easily Reconfigurable UAV System AERUS, FP7-ICT-2007-2; 224108, Konzorcium vezetője: Katalán Egyetem, Barcelona, Spanyolország.

² Biodiversity loss, environmental monitoring and risk assesment trough multiple sensors platform, BLIM Life+2007, Konzorcium vezetője : Torinói Egyetem, Torinó, Olaszország.

1 AZ ERDŐTÜZEK TERMÉSZETE ÉS HAGYOMÁNYOS ESZKÖZÖKKEL TÖRTÉNŐ OLTÁSÁNAK VIZSGÁLATA

1.1 Magyarország erdőségeinek néhány jellemző adata

Magyarország területét nem egyenletesen borítja erdőség. Az erdősült terület nagysága ma már eléri az ország területének 20%-át, amelyek döntő hányada a 400 métert meg nem haladó tengerszint fölötti magasságon helyezkedik el. Itt a csapadék nem éri el az erdők eltartásához szükséges min. évi 600 mm mennyiséget, így ezek fokozottan veszélyeztetett, nem természetesen erdősült tájak. Az élőfa készlet mintegy 310 millió m³-re tehető, az évi folyónövedék számítások alapján 15 millió m³. Évente országos szinten a vágás és erdősítés 113–115 ezer hektárnyi területet érint. A Magyar Tudományos Akadémia Magyarország agroökológiai potenciáljáról készített felmérése az erdőtelepítés kiterjesztésének lehetőségét tárja fel. A felmérés indokoltnak tartja 700 ezer hektár új erdő telepítését, amelynek megvalósulása esetén az ország elérné az optimálishoz közelinek tartott 26,2 %-os erdősültséget [24].

A keleti országrész kiterjedt erdőségei az Északi-középhegységben találhatóak, a Zempléni-hegységtől, a Bükk, Mátra, Börzsöny hegyek vonalában. A hegyvidék jellegzetessége a tagoltság és a gépjárművel történő erősen korlátozott, gyakran lehetetlen járhatóság. Domborzatilag a Kárpát-medencén belüli hegyekről van szó, így a Tisza vízgyűjtő területét tekintve ez nem jelentős forrásvidék, tűzoltó szempontból sokszor vízhiányos a terület. Az eredő patakok vízhozama csekély, amitől csupán az észak-keleti rész kivétel, a Sajó, a Hernád, a Bodrog folyók körzetében.

Az Alföld erdősége más típusú, mint a hegyvidéké, több helyütt inkább borókás, cserjés jellegű. Ennek ellenére gazdasági értékén felül jelentős természeti értéket is képvisel (pl. Óborókás, Kiskunsági Nemzeti Park). Az Alföld talajának homokos, löszös összetétele gyakori akadály a tűzoltójárművek tűz közelébe jutásának. Az utóbbi időszakban a Duna-Tisza közén jelentős talajvízszint süllyedést észleltek, ami szintén az erdőtűz növekvő kockázati szintjének, a kiszáradás jelének értékelhető [9].

A Dunántúl kiterjedt erdőségei a Pilis, a Vértes, a Bakony vonalban találhatóak. Jelentős még a Somogy erdősége és a Mecsek hegység körzete is, amely a tagoltság és a viszonylag nehezen elérhető vízforrások miatt szintén tűzoltás-taktikai problémákat okoz.

Különös jelentőségű, hogy kiemelt természeti értékeink, tájvédelmi körzeteink és nemzeti parkjaink jelentős része ugyancsak erdős területen található.

1.2 Az erdőtüzek keletkezésének okai és terjedésüket befolyásoló tényezők

Az erdőtüzek keletkezését, valamint a tüzek terjedését, következményeit számos tényező befolyásolja. Ezeket a tényezőket abiotikus, biotikus és gazdálkodási tényezők csoportjába lehet sorolni [2].

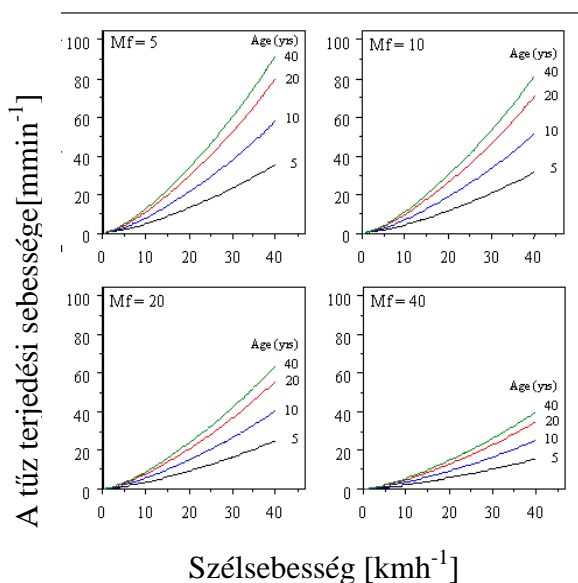
Abiotikus tényezők

Az abiotikus tényezők csoportjában a tűzkeletkezési okok között az *emberi közreműködés*, a gondatlanság és a szándékosság a legjelentősebb. A hazai és a nemzetközi adatok egybehangzóan az emberi közreműködést jelölik meg a leggyakrabban előforduló tűzkeletkezési okként. Ennek mértékét 80–90 % közé teszik, azonban saját kutatásaim alapján ez egy meghatározott időszakra és területre vonatkozóan akár kizárólagos, azaz 100 % is lehet³ [38]. Az emberi közreműködés bármikor felmerülhet, az az időjárási viszonyoktól többnyire független.

Az *éghajlati elemek* közül a villámlás, mint tűzkeletkezési ok kaphat szerepet. Nemzetközi becslések alapján ennek átlagos mértéke a keletkezett tüzek kb. 2%-ra, vagy inkább kevesebbre tehető [70]. Egyes országokban, ahol lakatlan területeken hatalmas erdőségeket találunk (Norvégia, Kanada, Oroszország), ez az érték akár 70-100 % is lehet [19], amelynek oka az emberi közreműködés teljes hiánya, vagy a gyéren lakott területeken a minimálisra csökkenése. Magyarországon a villámlás okozta erdőtűz-keletkezési ok nagyságrendjének vizsgálatára vonatkozó összefoglaló anyag még nem készült. Megítélésem alapján ez az ok országosan is esetleg század százalék nagyságrendű lehet, gyakorlatilag elhanyagolható. Saját kutatásaimban nem találok villámlás által okozott erdőtűz dokumentált adatával [58].

Az egyéb éghajlati elemek közül a csapadék, a levegő relatív nedvességtartalma és a légmozgás a tüzek terjedésében játszanak jelentős szerepet. A késő esti, éjszakai, valamint a hajnali páraicsapódások a tűz terjedési sebességét jelentősen csökkentik, esetleg az égés feltételét képesek meg is szüntetni. A tűz terjedési sebessége és a levegő relatív páratartalma között szintén szoros összefüggés figyelhető meg az 1. ábra alapján [12]. A relatív páratartalom (Mf) alacsony értékeinél az állomány korától [Age(ys)] függően bár, de minden esetben növekszik a tűz terjedési sebessége.

³KMFP-00025/2003 KPI pályázat: Integrált környezetvédelmi és tájfigyelő rendszer fejlesztése vegetációtüzek korai észlelésére címmel benyújtva a Szendrői Tűzoltóparancsnokság által. A továbbiakban Térfigyelő projekt



1. ábra. A tűz terjedési sebessége és a levegő relatív páratartalma közötti összefüggés.

Forrás: Catchpole.

A lehullott korábbi csapadék-mennyiség az élő növényzet, valamint a talajt takaró elhalt vegetáció nedvességtartalmára van hatással. A frissen lehullott, illetve hulló csapadék a vegetáció égésének alapvető feltételeit szüntetik meg. A nemzetközi gyakorlatban (Borneo–2002, Kalifornia–2003) számos alkalommal csupán a frissen hullott csapadék volt képes a kiterjedt erdő, vagy egyéb vegetációtüzeket sikeresen eloltani, amelyre sajnos hazánkban is van példa⁴.

A szél hatása rendkívül meghatározó.

Ennek egyrészt a friss csapadék elpárologtatásában, a felszín felszárításában, az elhalt növényzet mielőbbi kiszáradásában van jelentős szerepe, másrészt döntően befolyásolja a tűz terjedési sebességét és irányát. Szerepe az ún. röptüzek kialakulásában is megnyilvánulhat, számos tüzgócot létrehozva akár a beavatkozó egységek háta mögött is.

Az éghajlati elemekből számított tűzvesélyességi jelzőszám, index meghatározására (Kanada: FWI; Németország: Waldbrandgefahrendindex, stb.) többféle módszerrel már évtizedek óta folynak kísérletek, vagy kerülnek alkalmazásra [7]. Ezek az indexek az erdőtüzek megelőzésében és a hatékony oltáshoz történő előkészületekben segítik a döntéshozókat.

A *domborzat* a tűz terjedésére szintén alapvető befolyással bír. Az alsó része a felső részen lehullott és lecsorgó csapadék áztató hatását is élvezi, így az aljnövényzet, valamint az elhalt növényzet és talajtakaró nedvességtartalma potenciálisan mindig magasabb. A domboldalak felső része a szél szárító hatásának mindig jobban ki van téve. A napsugárzás hatása szintén jobban érvényesül a felső részen. Ez köszönhető egyrészt a szomszédos dombok árnyékoló hatásából eredően a felkelő és lenyugvó Nap sugárzási idejének, másrészt a völgyekben megrekedő ködös, párás légtömegeknek.

⁴ 1993 –ban a Kiskunsági Nemzeti Park területén lévő bugaci ősborkás közel 2000 hektáros tüze és a pilisvörösvári fenyveseknél mintegy 100 hektáron tomboló tűz gyakorlatilag az időjárás csapadékosságával szűnt meg.

Biotikus tényezők

A biotikus tényezők közül legjelentősebben a *fafaj* határozza meg az erdőtűz nagyságát és terjedési paramétereit. A fenyőfajok a bennük lévő gyanta és egyéb intenzíven égő alkotórészek miatt jelentősen kedvezőbb feltételeket biztosítanak a meggyulladásához és a tűz továbbterjedéséhez, mint a lombos fafajok. A fenyő akár alacsony hőmérsékleten is képes intenzíven égni. Az északi országokban nem ritka a téli időszakban bekövetkező fenyőerdőtűz sem [4]. Összességében megállapítható, hogy a fenyő fajok tűzveszélyessége jóval magasabb a lombos fajokénál.

Az *erdőállomány kora* szintén jelentős tényező. A fiatal erdőtelepítések jelentősen veszélyeztetettebbek, hiszen a rajtuk maradó leszáradt levelek ideális feltételeket biztosítanak a talaj közelében terjedő tűz átterjedésére. A tűz hatása a még lágyszárú fákban jelentősen súlyosabb károkat képes okozni, mint egy korosabb erdőben [42]. Az aljnövényzet és a talajt takaró, holt növényzet hatása: az aljnövényzet mennyisége és minősége alapvetően meghatározza az adott terület talajsztintű tűzterhelését. A sűrű növényzet nem csak a tűzterhelést növeli, de lehetetlenné, illetve célszerűtlenné is teheti az oltást. Az elhalt növényzet, az avartakaró képes sokáig a nedvességet magában tartani, de alkalmas lehet a felszín alatt is, szinte észrevétlenül a tűz továbbterjedését elősegíteni. Intenzív füstölése hátráltatja a beavatkozást.

Gazdálkodási viszonyok

A keletkezett károk nagyságát jelentősen befolyásolják az adott terület gazdálkodási viszonyai. Az elhanyagolt területeken a gyomnövényzet elszaporodása miatt nő egységnyi területre vonatkoztatott éghető anyag mennyisége, így a tűz talajsztintről korona szintre történő átterjedése valószínűbbé válik. A tapasztalatok azt igazolják, hogy a fenti problémák a magánkézbe került erdőterületeknél gyakoribbak [38] [42]. Az erdők tarvágása után szintén jellemző a terület elgazosodása, amely a fiatalosok teljes záródásáig fokozottabb tűzveszélyt jelent.

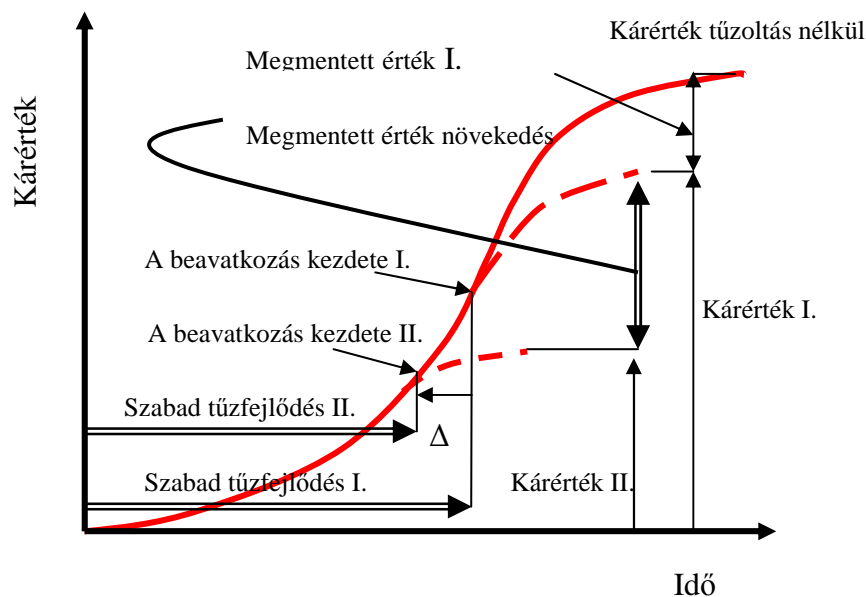
A tűz terjedésének lehetősége az állomány fajtaválasztásával, elegyítésével jelentősen befolyásolható. A fenyvesek közé lombos fajok telepítésével a keletkezett tüzek terjedése az egyéb terjedést befolyásoló tényezők függvényében csökkenthető, esetleg teljesen megakadályozható. A fentiek természetesen a művelt erdőterületekre vonatkoznak, azonban a művelésből kivont természetes erdők, természetvédelmi területek, nemzeti parkok sem nélkülözhetik az állapotuk megőrzéséhez leginkább megfelelő kezelést.

1.3 Az erdőtüzek természetének és oltási folyamatának vizsgálata

1.3.1 A Kárérték - Idő függvény vizsgálata

A tűz lefolyását az égés hőmérsékletének változásából származtatott, ún. Kárérték–Idő függvénnyel [5] vizsgálom. A függőleges tengely a kárérték nagyságát, a vízszintes az időt mutatja. Általános esetben a függvény vizsgálata zárt térre vonatkozik. Szabad tűzterjedést feltételezve a függvény először meredek emelkedést mutat, majd az éghető anyag fogyásával a görbe ellaposodik. Amennyiben az éghető anyag elfogy, a tűz önmagától, spontán elalszik, a görbe megszakad (2. ábra).

A tűzoltók beavatkozásának idejétől a görbe természetes folyama megtörik, majd megszakad. A görbe természetes végpontja és a tűzoltók oltásának eredményeképp létrejövő végpont közötti - függőleges tengely mentén mért - különbség adja a megmentett érték nagyságát. Korábbi beavatkozás, illetve ugyanazon beavatkozásnál a hatékonyság növekedése a kárérték csökkenését, illetve a megmentett érték növekedését eredményezi.



2. ábra. Kárérték–Idő függvény különböző riasztási időpontokra vonatkoztatva. Kárérték az oltás megkezdésének függvényében. Forrás: Bleszity nyomán a Szerzőtől.

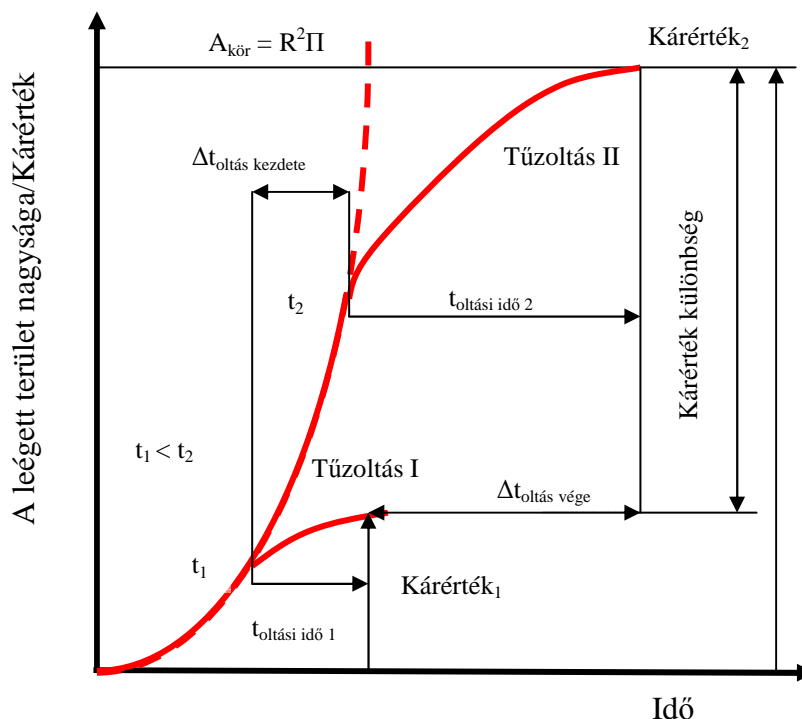
A fentiek értelmében egy beavatkozás, tűzoltás akkor nevezhető hatékonynak, ha a rendelkezésre álló erővel, eszközökkel a megmentett érték nagysága a lehető legnagyobb, illetve a keletkezett kárérték a lehető legkisebb⁵. A zárt térre vonatkoztatott Kárérték – Idő függvény értelmezését az erdőtűz vizsgálata céljából a 3. ábrán kiterjesztem nyílt térre [56].

⁵ A tűzoltás költségeit a vizsgálat céljából itt figyelmen kívül hagyva.

A függvény vizsgálatánál a következő feltételezéssel élök:

- az erdő kiterjedése sík területen végtelen, összetétele homogén;
- a meteorológiai feltételek állandóak, így a hőmérséklet, páratartalom, stb.;
- szélcsend uralkodik.

A Kárérték–Idő függvény egy exponenciálisan növekvő és a végtelenbe tartó görbét ad, melyet az $y = px^2$ formában írom fel. A leégett terület nagyságát, a görbe meredekségét két tényező határozza meg. Az egyik: „p” - a tűz időegységankénti terjedési sebessége, a másik: x^2 - a kör területének $A_{\text{kör}} = R^2\Pi$ számításából ered és a sugár második hatványával arányos. Az egységnyi idő alatt leégett terület nagysága a tűz terjedési sebességétől függ, amely négyzetesen változik. Feltételezve, hogy $\Delta p =$ állandó, minél gyorsabb a tűz terjedési sebessége, annál nagyobb a leégett terület nagysága. A tűz kiterjedésének növekedése megnöveli az oltáshoz szükséges erők és eszközök nagyságát is. A Riasztási és Segítségnyújtási Terv [79] alapján⁶ a távolabbi egységek időleges koncentrációjára, a riasztási fokozat emelésére van szükség. Az elriasztott erők csökkentik saját területük potenciális biztonságát is [54].



3. ábra. Kárérték–Idő függvény erdőtüzre vonatkoztatva. Forrás: Szerző.

⁶ 57/2005. (XI. 30.) BM rendelet a Riasztási és Segítségnyújtási Tervről, a hivatásos önkormányzati és az önkéntes tűzoltóságok működési területéről, valamint a tűzoltóságok vonulásaival kapcsolatos költségek megtérítéséről.

Mindkét görbén látható, hogy a hatékonyság legkönnyebben a beavatkozás mielőbbi megkezdésével érhető el. Az első görbe esetében (2. ábra), azaz zárt tereknél ezt a gyakorlat is igazolja, hiszen jogszabályok is kötelezően előírhatják automatikus tűzérzékelők felszerelését. Ezzel a tűz észlelése az embertől függetlenné, automatikussá válik és azonnal szakember, a tűzoltók tudomására jut. Ezáltal lehetővé válik, hogy a beavatkozás a lehető leggyorsabb, a tűzgörbe értelmezése alapján is a leghatékonyabb lehessen.

Erdőtüzek észlelésére a jelenlegi rendszer nem alkalmaz hasonló módszert. A tűzoltóságoknak állampolgári bejelentés alapján lehet tudomása a keletkezett erdőtüzekről. A bejelentés egyik feltétele, hogy az észlelő személy érdekelt legyen annak megtételében. A tűzkeletkezési okok feltárásánál megállapítottam, hogy az emberi közreműködés szinte kizárólagos. Szándékos gyújtogatás esetében viszont nem várható, hogy a tüzet okozó személy érdekelt legyen a jelzésben, hiszen éppen azért gyújtja meg az adott területet, hogy az leégjen. Nem szándékos tűzokozás esetén ez már elvárható lenne, azonban saját tapasztalataim alapján is az esetleges szankcionálás elkerülése érdekében ez elmarad.

A jelzés többnyire attól a nem tüzet okozó személyektől várható, akiknek egyrészt lehetősége van annak megtételére (pl. mobiltelefon), másrészt szubjektív megítélése alapján az esemény már eléri az „érzékenységi küszöbét”. Az érzékenységi küszöb országonként, társadalmi csoportonként is más és más, amelynek finomítására számos lehetőségünk van (pl. tűzgyújtási tilalom elrendelése; a média figyelemfelhívása a veszélyeztetett időszakokban). [51]

A tűzgörbe elemzéséből, valamint saját tapasztalataim alapján a következő problémákat állapítom meg:

1. A szubjektív értékítéleten alapuló észlelés jelentős késést okozhat a beavatkozás megkezdésében. A késői beavatkozás következménye, hogy – a tűzgörbéből is bizonyítva – a leégett terület nagysága időegységenként egyre jelentősebb, akár nemzetgazdasági szempontból is érezhető veszteséggel járhat.
2. A késői kiérkezés már hosszú frontvonal oltását igényli, amely a rendelkezésre álló erők hosszabb igénybevetését, így az oltás elhúzódása miatt további területek pusztulását jelenti; vagy ez utóbbi elkerülése érdekében a távolabbi egységek időleges koncentrálására, a riasztási fokozat emelésére van szükség.

3. Az elhúzódo beavatkozások, valamint az erők koncentrállása a tűzoltóság reagáló képességének csökkenését, az állampolgárok potenciálisan magasabb veszélyeztetettségét okozza.

1.3.2 A tűz terjedési sebessége

A tűz terjedését meghatározó számos tényező bonyolult egymásra hatása miatt a tűz frontvonala szinte valamennyi esetben egy szabálytalan, önmagába visszatérő görbét ad. Ennek leírására a nemzetközi szakirodalom többféle módszert⁷ ismertet, illetve a gyakorlat alkalmaz [22] [23] [73]. Magyarországon a Szendrői Tűzoltóparancsnokság és az Aggteleki Nemzeti Park együttműködésében történtek erőfeszítések ennek hazai gyakorlatba történő átültetésére⁸.

A terjedési sebesség számszerűsítésére számos modellt dolgoztak ki [65] [67] [75]. Ezek mindegyike az éghető anyag, vagy biomassza mennyiségét, nedvességtartalmát, a terepviszonyokat, valamint az időjárás paramétereit veszik figyelembe. A gyakorlatban leginkább az un. Rothermel modellt terjedt el, amelynek formája az alábbi [65]:

$$v_t = I_r \zeta \frac{1 + \Phi_w + \Phi_s}{q_b \varepsilon Q_{ig}} \quad (1.1)$$

v_t - a tűz terjedési sebessége [ms^{-1}];

I_r - reakció intenzitás [Wm^{-2}];

ζ - az égés során felszabaduló energia azon hányada, ami a biomassza hőmérsékletének gyulladási hőmérsékletig történő emelését szolgálja. Elméleti értéke 0 – 100 %, gyakorlatban ez kb. 1 – 20 % érték közötti [-];

Φ_w – a szél irányának és sebességének korrekciós tényezője táblázatból [-];

Φ_s - lejtő mértékének korrekciós tényezője táblázatból [-];

q_b - a biomassza egységnyi térfogatra eső tömege [kgm^{-3}];

ε - effektív biomassza felhevülési arány. Kifejezi, hogy a biomassza darab mekkora része hevült fel a gyulladási hőmérsékletre ($320\text{ }^{\circ}\text{C}$) [-];

Q_{ig} - a biomassza gyulladáspontra hevítéséhez szükséges energia [Jkg^{-1}].

⁷ PI, CFBP, FFBT, BEHAVE, FERSITE.

⁸ GVOP-3.1.1.2004.-05-0536/3.0 A Szendrői Tűzoltóság térinformatikai fejlesztése című projekt. A továbbiakban TűzTér projekt.

A magyar szakirodalom inkább tapasztalati úton nyert adatokat ismertet és kategorizál, mind a felszíni, vagy aljnövényzet égése, mind a koronatűz égése esetén. A szél tűzterjedésre gyakorolt hatását az 1. táblázat értékei alapján mutatom be.

Az erdőszült terület zsúfoltsága	A szél sebessége 2 m magasságban (msec ⁻¹)					
	0	1 - 3	4 - 8	9 - 13	14 - 20	21 - 28
	Az égés egyenes vonalú terjedési sebessége (mperc ⁻¹)					
Gyér	3	39	70	150	280	340
Közepes	11	45	170	370	710	1100
Erős	17	70	280	600	1100	1700

1. táblázat. A tűz terjedési sebessége különböző viszonyok esetén. Forrás: Bleszity.

A tűz felszíni terjedésének mértékére Bleszity nyomán [5] a következő besorolást alkalmazzuk:

- gyenge, ha a tűz terjedési sebessége percenként az 1 métert nem haladja meg ($v_t < 1 \text{ mperc}^{-1}$) és a lángmagasság sem több 0,5 méternél ($H_L < 0,5 \text{ m}$);
- közepes, ha a terjedési sebesség percenként 1–3 méter ($1 \text{ mperc}^{-1} < v_t < 3 \text{ mperc}^{-1}$), és a lángmagasság értéke 0,5 – 1,5 méter ($0,5 \text{ m} < H_L < 1,5 \text{ m}$) közötti;
- erős, ha a terjedési sebesség a 3 métert ($3 \text{ mperc}^{-1} < v_t$), illetve a lángmagasság a 1,5 métert ($1,5 \text{ m} < H_L$) meghaladja.

A koronaszintre megadott terjedési értékek:

- gyenge, ha a tűz terjedési sebessége nem éri el percenként a 3 métert ($v_t < 3 \text{ mperc}^{-1}$);
- közepes, ha a tűz terjedési sebessége percenként 3 – 10 méter közötti ($3 \text{ mperc}^{-1} < v_t < 10 \text{ mperc}^{-1}$);
- erős, ha a tűz terjedési sebessége túllépi a percenkénti 10 métert ($10 \text{ mperc}^{-1} < v_t$).

1.3.3 A tűzvonal-intenzitás fogalmának bevezetése

A hősugárzással összefüggő jellemző az ún. tűzvonal-intenzitás, amelyet az éghető anyag mennyiségi és minőségi jellemzői határoznak meg. A mennyiségi jellemzőt a tűzterhelés mértéke, az egységnyi területen lévő adott éghető anyag mennyisége, míg a minőségi jellemzőt az egységnyi anyag elégetése során felszabaduló hőmennyiség, az égéshő adja. A tűzvonal intenzitást a Byram formulával írjuk le [45], amely meghatározza, hogy a tűz frontvonalának egységnyi távolságán adott terjedési sebesség mellett milyen intenzitású az égés.

$$I = v_t HW \quad (1.2)$$

I - tűzvonal intenzitás [Wm^{-1}],

H - a felszabaduló hőmennyiség [Jkg^{-1}],

W - az égő biomassza egységnyi felületen mérhető tömege [kgm^{-2}],

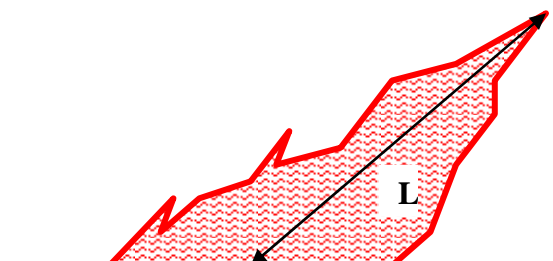
v_t - a tűz terjedési sebessége [ms^{-1}],

A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a felszabaduló hőmennyiség akár állandónak is vehető ($H = 1,8 \times 10^7 \text{ Jkg}^{-1}$), mivel a tűz terjedési sebessége inkább meghatározó, mint az égő biomassza mennyisége [13].

A tűzvonal intenzitás használata széleskörűen elterjedt, mivel gyakorlati alkalmazása viszonylag egyszerű. A tűzvonal intenzitás mértéke és az égő frontvonal lánghosszúsága között szoros kapcsolat fedezhető fel, amely az alábbi empirikus összefüggéssel adható meg [1]:

$$I = 300L^2 \quad (1.3)$$

L - a láng csúcától az égő frontvonal középvonaláig mérhető távolság [m].



4. ábra. A tűzvonal intenzitás becsléséhez vett lánghosszúság mérésének értelmezése.

Forrás: Szerző.

A tűzvonal intenzitás mértékéből számos tényező a gyakorlatban használható pontossággal meghatározható. Ilyenek pl. a koronatűzre való átterjedés veszélye, a tűz növényzetre gyakorolt későbbi letális hatása, a különböző oltási módszerek hatékonysága, stb. [45].

1.3.4 A frontvonal oltási sebesség fogalmának bevezetése

A következtetéseim levezetéséhez és megfogalmazásaihoz az alábbi idealizáló és egyszerűsítő feltételeket alkalmazom:

- a vegetációt homogén éghető környezetnek tekintem, a tűzvonal-intenzitás időben állandó;
- a tűz pontszerű forrásból terjed tovább;
- a vizsgált terület vízszintes, sík;
- nincs szél és az egyéb meteorológiai körülmények a vizsgálat ideje alatt változatlanok;
- az égést nem befolyásolja egyéb tényező.

Pontszerű gyújtóforrást, „ v_t ” tűzterjedési sebességet, „ t_{szabad} ” szabad tűzterjedési időt figyelembe véve, valamint egyéb befolyásoló tényezőt figyelmen kívül hagyva, az „ A_t ” leégett terület a következő formában adható meg

$$A_t = (v_t t_{szabad})^2 \Pi \quad (1.4)$$

Egységnyi időszakok elmúltával a leégett területek körvonalai a tűz terjedési sebességével arányosan, az 5. ábrán látható módon koncentrikus körökként rajzolhatók meg. A „ K_{front} ” tűz frontvonalát az alábbi képlet alapján számolhatjuk:

$$K_{front} = 2\Pi v_t t_{szabad} \quad (1.5)$$

A „ ΔK_{front} ” frontvonal változásának formája:

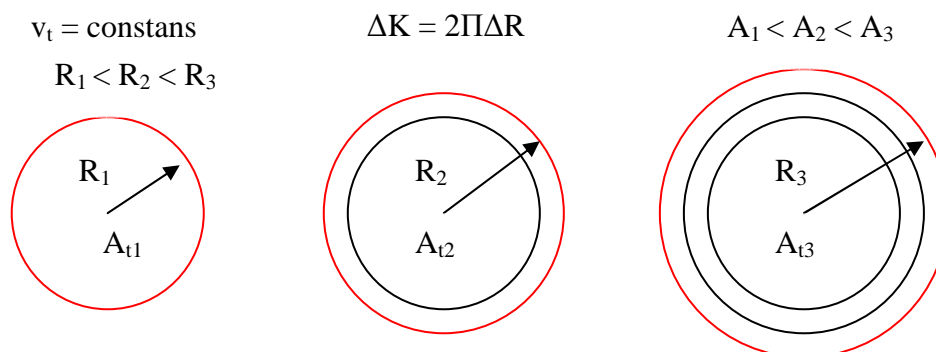
$$\Delta K_{front} = 2\Delta t v_t \Pi \quad (1.6)$$

A fenti képletben a „ ΔR ” sugárváltozás mértékét a következő formában írrom fel:

$$\Delta R = v_t \Delta t \quad (1.7)$$

Tapasztalataim alapján az erdőtüzek oltásának egyik jellemzője, hogy bármekkora terület ég is, leginkább a tűz frontvonalának oltására koncentrálunk, amelyet a kiterjedés nagyságához viszonyítva vonali tűzoltásnak tekintem.

A tűzoltás egyik mutatószáma a tűzoltók által egységnyi idő alatt eloltott frontvonal szakasz hosszúsága.



5. ábra. A tűz terjedése ideális körülmények között.
 Forrás: Szerző.

A tűzoltók egy adott eszközzel, meghatározott idő alatt történő tűzoltási képességének jellemzésére, azaz, hogy mekkora hosszú frontvonalat képesek eloltani, bevezetem a *frontvonal oltási sebesség* fogalmát, amelyet a továbbiakban „ v_{folt} ” jelölöm. Ez valójában a tűzoltók fizikai tevékenységének eredményét mutatja.

$$v_{\text{folt}} = \frac{L_{\text{olt}}}{t_{\text{olt}}} \quad (1.8)$$

v_{folt} - a tűzoltó frontvonal oltási sebessége [ms^{-1} ; a gyakorlatban alkalmazható: mperc^{-1}];

L_{olt} - az eloltott frontvonal hossza [m];

t_{olt} - az oltás ideje[s; a gyakorlatban alkalmazható: perc].

Az (1.6) képlet alkalmazásával a tűz eloltásához teljesülnie kell az alábbi feltételnek:

$$v_{\text{folt}} > \frac{\Delta K_{\text{front}}}{t_{\text{olt}}} \quad (1.9)$$

A beavatkozás alapvető módja a kézi szerszámok alkalmazása, amelyet számos tényező befolyásol, pl. a személytől és az égéstől függő jellemzők, a külső-, és munkakörülmények [66].

A frontvonal oltási sebesség maximális értékét a tűzoltók azon fizikai teljesítőképessége alapján határozom meg, amely többségében haladásra és csupán a hatékony oltás még elfogadhatóan minimális értékének teljesítésére fordítódik. Saját tapasztalataim és méréseim alapján ennek értéke legfeljebb az 1 ms^{-1} –t érheti el, ami

maximum 3600 m megtételét jelentené óránként. Ez azonban csak pillanatnyi sebesség, amit csupán rövid ideig és rövid szakaszokon képes elérni a tűzoltó.

A frontvonal oltási sebesség minimális értékét akkor kapom, ha a tűzoltó gyakorlatilag már nem képes a frontvonal mentén előrehaladó mozgást végezni, tovább haladni, mivel a tűz terjedési sebessége eléri az oltási sebesség értékét. Ekkor a tűzoltó mozgása sugár irányú, fizikai munkája nem csökkenti a frontvonal hosszát, a tűz mellett haladva, kíséri azt. Szakmai szempontból „állóháború” alakul ki.

$$v_{folt\ min} = v_t ; v_{folt} = 0 \quad (1.10)$$

A tűz eloltásának ideje kiszámítható az oltás megkezdésének időpontjában mérhető frontvonal, valamint a frontvonal oltási sebesség és frontvonal-változás különbségének hányadosából:

$$t_{elolt} = \frac{L_{front}}{v_{folt} - \frac{\Delta K_{front}}{t_{olt}}} \quad (1.11)$$

t_{elolt} = a tűz eloltásának ideje [s; perc],

L_{front} = a tűz frontvonalának hossza az oltás megkezdésének időpontjában [m].

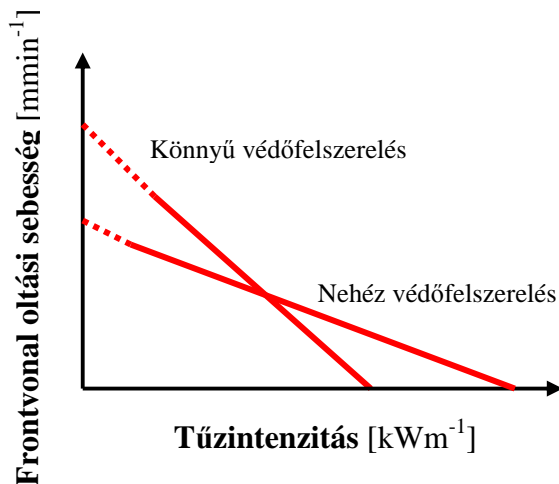
A fentiekből az alábbi következtetéseket vonom le:

1. Amennyiben a frontvonal oltási sebesség nem éri el a tűz frontvonalának változását, úgy a tűz az adott egységgel változatlan feltételek mellett nem oltható el.
2. Amennyiben a frontvonal oltási sebesség és a tűz frontvonalának változása azonos, akkor a frontvonal változatlan hossza ellenére is nő a leégett terület nagysága, a tűz nem oltható el.
3. Amennyiben a frontvonal oltási sebesség nagyobb, mint a tűz frontvonalának változása, úgy a tűz eloltható.

1.3.5 A frontvonal oltási sebesség és a tűzintenzitás kapcsolata

A frontvonal oltási sebességet a tűzvonal-intenzitás alapvetően befolyásolja. Minél magasabb az utóbbi értéke, annál alacsonyabb egy adott módszer oltási sebessége. A frontvonal oltási sebesség tűzintenzitáshoz viszonyított minimális értékét az oltás biztonságos végrehajtásához szükséges szint jelenti. Ezt meghatározott ideig jelentősen

befolyásolhatja, a sebesség értékét növelheti a magasabb hőszigetelés elleni védelemre tervezett védőfelszerelés használata. Az ilyen védőruhák alkalmazásának előnyei azonban saját tapasztalataim alapján is csak viszonylag rövid ideig érvényesíthetők, hiszen a használatuk létjogosultságát indokoló nagyságú tüzek oltásánál a fokozott fizikai igénybevétel csupán rövid ideig képes a hatékony oltási sebesség fenntartására (6. ábra).



6. ábra. Az oltási teljesítmény változása a tűzintenzitás függvényében. Forrás: Szerző.

A tűzvonal-intenzitás mértéke szárazfű-tűz, tarlótűz esetén néhány száz kWm^{-1} , míg fenyvesek koronatüzénél ez az érték a $3000 - 8000 \text{ kWm}^{-1}$ -t is elérheti. Kézi szerszámokkal a tűzoltás 500 kWm^{-1} értékig végezhető biztonsággal. A védőruhától függően esetleg ez az érték időlegesen 700 kWm^{-1} értékig tolható ki. Nehéz eszközökkel, tűzoltó járművekkel, támadó taktika esetén $1700 - 2000 \text{ kWm}^{-1}$ értékig lehet hatékony oltást végezni. [44]

A tűzterjedési sebesség és a tűzvonal-intenzitás mértéke az (1.2) képlet alapján egymással szoros összefüggést mutat. A tűzterhelés növekedésével az egységnyi területen felszabaduló hőmennyiség is növekszik, ami a hőszigetelés által a még nem égő anyagot a gyulladási hőmérsékletre rövidebb idő alatt hevíti fel, így a tűz terjedési sebessége ennek hatására is gyorsabb lesz.

A frontvonal oltási sebesség minimális és maximális értékének meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy a tűzoltók az adott tüzet annak jellegétől függően csapatmunkában, rajjal oltják. Több tűzoltó együttes munkája nagyobb hatékonyságú, mint a külön - külön végzett munka. Saját tapasztalataim alapján a tűzoltók csoportos munkavégzésének egymásra gyakorolt hatása így egy nem lineárisan növekvő görbét ad. A függvény meredeksége az egyre növekvő számú tűzoltó egységek, rajok belépésével csökken, várhatóan egy maximált értékhez tart. Ez azt jelenti, hogy a rajok egymásra gyakorolt teljesítménynövelő hatása hatékonyan nem érvényesíthető azok tetszőleges számú növelésével.

A növekvő tűzintenzitással kapcsolatban a következő problémákat rögzítem:

1. A tűzintenzitás növekedésével a frontvonal oltási sebessége lecsökken, a hagyományos földi eszközök alkalmazásának lehetőségei szűkülnek.
2. A tűzintenzitás mértéke lehet olyan magas is, hogy nincs lehetőség földi eszközökkel a támadó jellegű, aktív tűzoltásra. Amennyiben a tűz intenzitása kéziszerszámokkal történő oltás esetén meghaladja az 500 kWm^{-1} értéket, nehéz gépek alkalmazása és támadó taktika esetén a 2000 kWm^{-1} értéket, úgy a tűz az adott feltételek megléte esetén nem oltható el.

1.3.6 A tűzoltás folyamatának elemzése

A tűzoltás folyamatát az *1/2003. (I. 9.) BM Rendelet a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési tevékenységének szabályairól* (a továbbiakban: Tűzoltási Szabályzat) [80] ide vonatkozó pontjai alapján⁹ vezetem le. Ennek alapján a tűzoltóság számára az első információ a tűzjelzés, amely a bejelentő személy által valósul meg. Jelzés nélkül a tűzoltóság számára nincs tűz! A tűzoltóságnak az erdőtűzről csak a tüzet észlelő személy bejelentése alapján van tudomása¹⁰! A jelentő személy szubjektív megítélése jelentősen befolyásolja a jelzés időpontját. A jelzés a tűzoltóságtól független, a bejelentés és a tűz keletkezési, illetve észlelési időpontja között gyakran csak a jelentő személy szubjektív megítélése a kapcsolat. Ezt *passzív észlelésnek* nevezem [59].

A bejelentést követően a tűzoltóság a működési rendjének megfelelően, a lehető legrövidebb idő alatt a tűz helyszínére, illetve annak közelébe *vonul*. Ez az időtartam leginkább a tűzoltóságok *diszlokációjával* lenne csökkenthető¹¹, azonban a vizsgálat szempontjából ezt objektíven adottnak, a körülményekhez képest minimálisnak tekintem. A tűz közvetlen megközelítése gyalogosan már idővesztést okozhat abban az esetben, ha van olyan járható út, amelyen ez terepjárával gyorsabban megtehető lenne. Ez technikai eszköz, a terepjáró függvénye.

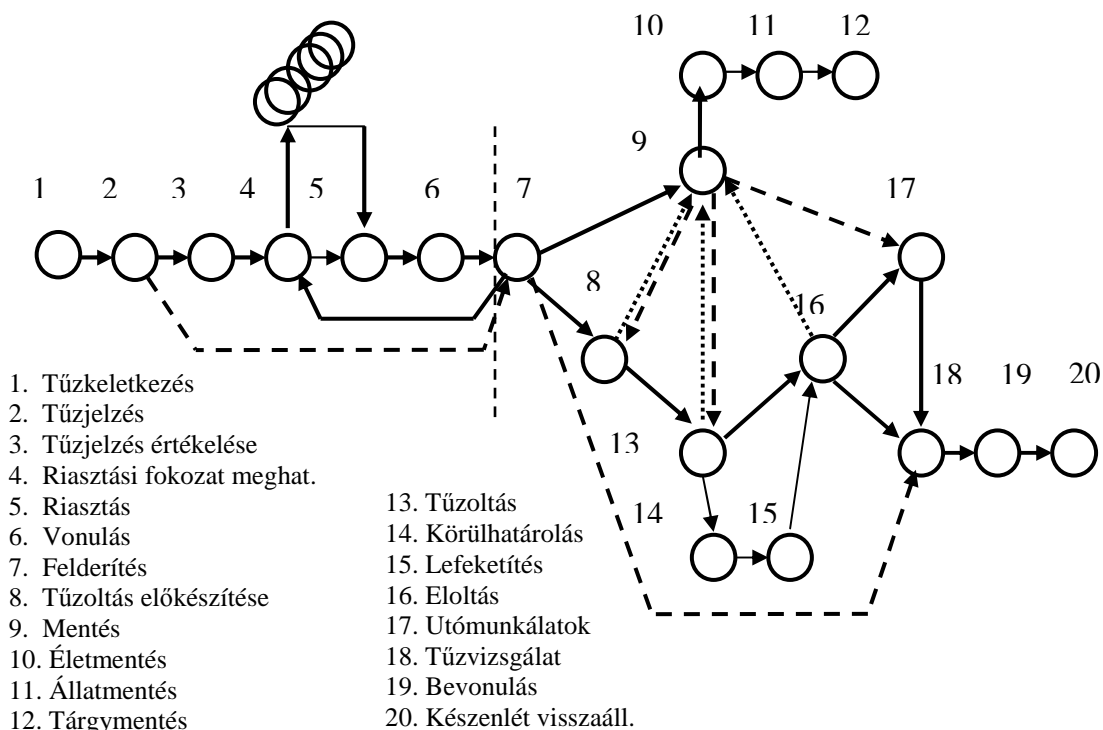
A tűz helyszínén az első feladat a *felderítés*. A felderítés nem más, mint információgyűjtés, amely képes kielégíteni a hatékony tűzoltás feltételeit. A felderítés hatékonyságát a tűzoltás eredményességén lehet lemérni. Ehhez megfelelő mennyiségű és minőségű információra van szükség. Az első feladat a tűz kiterjedésének a megállapítása.

⁹ Tűzoltási Szabályzat 50 -126 pontok.

¹⁰ Az erdőtűzek jelző személytől független, gyors észlelésére Magyarországon a Szendrői Tűzoltóparancsnokságon a Térfigyelő projekt keretében folytak kísérletek.

¹¹ A diszlokáció problémakörének vizsgálata nem tárgya az értekezésnek.

Egy csupán 300 méter sugarú leégett terület közel 2000 méter lejárását jelenti. Figyelembe véve a domborzati viszonyokat, a növényzet valamint a felszerelés gátló hatását, a gyalogos felderítés időben jelentősen elhúzódhat.



7. ábra. A tűzoltás folyamata a Tűzoltási Szabályzat pontjai alapján. Forrás: Szerző.

A beavatkozás során a felderítést a tűz terjedésének figyelemmel kísérése és az oltás hatékonyságának fenntartása érdekében folyamatosan kell végezni, amely különösen fontos nagy kiterjedésű, elhúzódó oltások során. A tűzoltásvezető a tűz alakulásáról a rádióon kapott visszajelzések alapján kap információt. Ez az információ esetenként nem objektív, a jelentő személy saját helyzetének szubjektív megítélésén alapszik. A tűzoltásvezető döntéseit ez hátrányosan befolyásolja, magában hordozva a rossz döntés lehetőségét [59].

A tűzoltás folyamatának elemzéséből az alábbi következtetéseket vonom le:

1. A tűzjelzés idejéig eltelt idő nem függ a tűzoltóságtól, passzív észlelés történik, amely a beavatkozás indokolatlan késését okozza és nagyobb erő eszközt igényel..
2. A riasztástól a helyszínre érkezésig tartó idő már ésszerűen nem csökkenthető.
3. A gyalogos felderítés időben elhúzódik, a hatékony beavatkozás megkezdésének késését okozza.

-
4. A felderítést a tűz oltása során folyamatosan kell végezni.
 5. A tűzoltóságnak a tüzek eloltása után is van feladata, a területet figyelemmel kell kísérni a visszagyulladás megelőzése céljából.

1.4 Az erdőtűzoltás problémáinak összegzése

Magyarország területének egyötödét borítja erdőség, amelynek aránya a jövőben várhatóan tovább növekszik. A globális klímaváltozás hatásai hazánkat, így erdőségeinket sem kímélik. Az időjárás szélsőséges jelenségeinek egyik megnyilvánulása a száraz időszakok kitolódása, mértékének súlyosabbá válása. A veszélyeztetett időszakokban különösen fontos, hogy a védekezésért felelős szervek, szervezetek legyenek felkészültek és a hatékony tűzoltás feltételrendszere is rendelkezésre álljon. Ez azt igényli, hogy a jelenlegi rendszer statikus (diszlokáció) és dinamikus részei (oltástaktika) felülvizsgálatra kerüljenek, a már szakmai szempontból sem tartható és indokolatlan, nemzetgazdasági szempontból is hatékonyságcsökkentő elemek korszerűsödjenek, eddig csak ritkán, de hatékonyan alkalmazott módszereket dolgozzunk ki és terjesszünk el, valamint újszerű, akár innovatív megoldásokat is alkalmazzunk.

A problémák feltárása és helyes értelmezése, valamint a szakszerű megoldások iránymutatása érdekében a tűzoltást alapvetően meghatározó elemzéseket ebben a fejezetben elvégeztem. Ez magában foglalta a tűzgörbe elemzését, a frontvonal oltási sebesség, valamint a tűzvonál-intenzitás fogalmainak bevezetését és vizsgálatát, a tűzoltást korlátozó tényezők feltárását, valamint a tűzoltás folyamatának értelmezését.

A fentiek alapján a következőkben összegzett problémákat állapítottam meg, és következtetéseket vontam le:

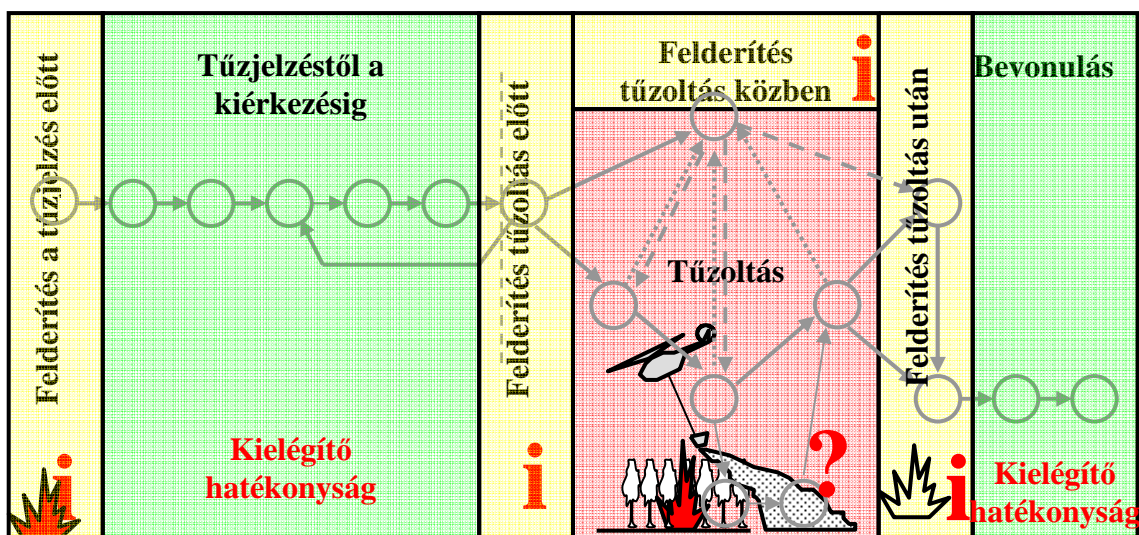
1. A tűzgörbe általános formájából megalkottam és értelmeztem az erdőtűzre vonatkozó kiterjesztését. Ez alapján bizonyítottam, hogy a beavatkozás annál hatékonyabb, azaz a kárérték annál kisebb és a megmentett érték annál nagyobb, minél korábban kezdődik meg a beavatkozás.
2. Bizonyítottam, hogy a beavatkozás megkezdésének késése az oltási idő elhúzódását okozza, amely további egységek segítségének igénybevételét indukálhatja. A késés és az elhúzódó oltás a kárérték indokolatlan növekedését és az állampolgárok potenciálisan magasabb veszélyeztetettségét eredményezi.

3. Saját tapasztalataim alapján, valamint a tűzoltás folyamatának elemzéséből megállapítottam, hogy jelenleg a tűzoltóság az erdőtüzeket csak passzív módon észleli, ma már indokolatlannak minősíthető késését okozva a beavatkozások megkezdésének. Ha nincs bejelentés, a tűzoltóság számára nincs is tűz.
4. Az erők és eszközök hatékony elosztása és alkalmazása gyors és pontos felderítést követel. Megállapítottam, hogy jelenleg a felderítés többnyire gyalogosan, a terület körbejárásával történik, az elhúzódó információgyűjtéssel indokolatlan késést okozva a hatékony döntéshozatalban.
5. Az aktív tűzoltás befejezésével a feladatok, így a felderítés igénye sem szűnik meg. A visszagyulladás megelőzésére, mielőbbi észlelésére esetenként indokolt a terület megfigyelés alá vonása, figyelő szolgálat szervezése.
6. Megalkottam és bevezettem a frontvonal oltási sebesség fogalmát, amelynek alkalmazásával bizonyítottam, hogy annak értéke meg kell, hogy haladja a tűz frontvonalának növekedési mértékét, különben a tűz a hagyományos eszközökkel már nem oltható el.
7. A nemzetközi szakirodalomban már alkalmazott tűzvonal-intenzitás fogalmának átvételével, magyarországi bevezetésével, és vizsgálatából megállapítottam, hogy a növekvő tűzvonal-intenzitás csökkenti a frontvonal oltási sebességet, meghatározott értéken felül objektíven lehetetlenné teszi a földi erők és eszközök támadó jellegű oltásának végrehajtását.

A problémák végső konklúziója:

1. A fentiek két nagy probléma köré csoportosulnak. Az egyiket az információ hiánya okozza, a másikat a meglévő erőforrások korlátozott alkalmazási lehetősége.
2. Az információ teljes, és indokolatlan hiányát mutatom ki a tűz keletkezésétől, annak bejelentéséig tartó időpontig. A kielégítően hatékony döntéshozatalhoz szükséges információ teljes, vagy részleges, de mindenképpen hatékonyabbá tehető hiányát mutatom ki a tűzoltás megkezdése előtt, valamint annak folyamata során. A tűzoltást követően a visszagyulladás megelőzését szolgáló megfigyelés, információgyűjtés igényli a jelenlegi hatékonyság növelését.

3. A jelenleg általánosan alkalmazott erőforrások korlátozott lehetősége újak bevezetésére, vagy már kipróbált, de ritkán, nem általánosan alkalmazott lehetőségek vizsgálatára, alkalmazásuk hatékonyabbá tételére ösztönöz.



8. ábra.

A tűzoltás folyamata és a problémák végső konklúziójának összevetése. Forrás: Szerző.

A 8. ábrán a tűzoltás folyamatára vetítve különböző színekkel értelmezve mutatom be a problémák két fő csoportját.

A sárga színárnyalattal jelzett rész az információ hiányára visszavezethető problémás pontokat mutatja. Ez magában foglalja a tűz keletkezésétől a bejelentésig eltelt időt, valamint a tényleges tűzoltás során a beavatkozás megkezdése előtti, a tűzoltás közbeni -, és utáni felderítést.

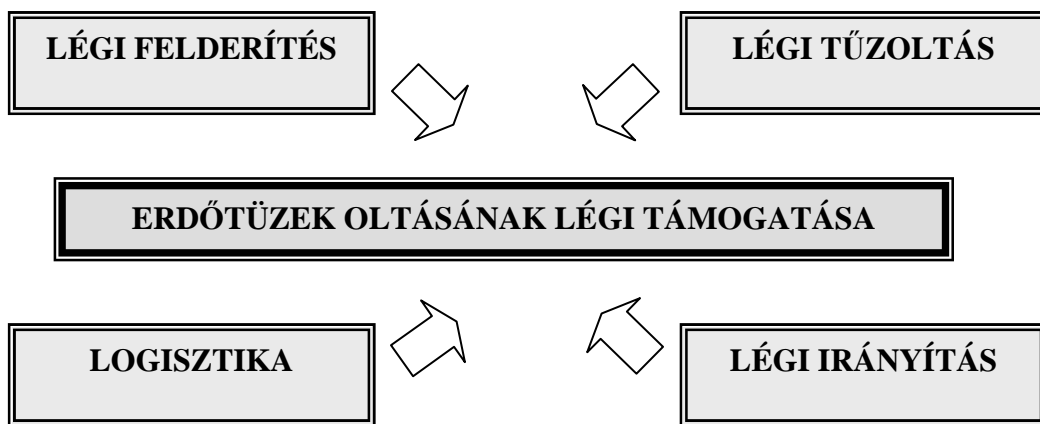
A piros színárnyalattal jelzett rész a korlátozott erőforrásokra visszavezethető pontokat mutatja, amely a konkrét beavatkozási tevékenységre, az aktív tűzoltásra vonatkozik.

Az értekezésem további részében a fenti probléma-csoportokat a légi támogatás lehetőségeinek feltárásával, a vizsgálatokból és elemzésekből levonható következtetések felhasználásával, új módszerek és eszközök megalkotásával, valamint a gyakorlati alkalmazás rendszerbe foglalt bemutatásával fogom megoldani.

2 A LÉGI TÁMOGATÁS FELTÉTELRENDSZERÉNEK VIZSGÁLATA

2.1 A repülőgépekkel és helikopterekkel végrehajtható feladatok

A légi támogatás fogalma alatt a nemzetközi gyakorlat nem csupán a konkrét légi tűzoltás tevékenysége, hanem a tűzoltást elősegítő, támogató, biztosító feladatok ellátását végző repülőgépek alkalmazása is értendő. Ez utóbbi lehet tűzfelderítés, légi irányítás és logisztikai támogatás is [20] [72] [57].



9. ábra. Az erdőtüzek oltásának légi támogatási lehetőségei. Forrás: Szerző.

Az értekezés terjedelmi korlátai miatt a légi irányítás és logisztikai támogatás speciális szakfeladatainak részletesebb elemzésére nincs mód, a vázlatos áttekintését azonban nélkülözhetetlennek tartom.

2.1.1 A légi felderítés

A felderítés általános esetben az életmentéssel és a tűzoltással kapcsolatos feladatok meghatározásához, azok biztonságos és hatékony végrehajtásához szükséges adatgyűjtés és tájékozódás, amely a tűzjelzéstől az utómunkálatok befejezéséig tart¹². A tűzoltóság számára az első információ a tűzjelzés, amely erdőtüzek esetén a tűzoltóságtól függetlenül, jelenleg passzív módon, az észlelő személy bejelentése által valósul meg.

Amennyiben a tűzoltóság a tüzek észlelése céljából saját maga is erőfeszítéseket tesz, úgy a tűzjelzés saját felderítés alapján, aktív módon is megvalósulhat. A tüzek kialakulásának mielőbbi észlelését szolgáló erőfeszítések időszaka így megelőzheti, megelőzi a tűz keletkezésének idejét is [52].

¹² Tűzoltási Szabályzat 81 – 85 pontok.

Saját tapasztalataim alapján a tűz eloltása után számos esetben szükség van a terület megfigyelésére, a még rejtetten parázsló részek által okozott visszagyulladás megelőzésére. Ez a feladat az utómunkálatok része, amelyet abból a célból hajtunk végre, hogy a terület teljes biztonsággal elhagyható legyen. Kiterjedt területek esetében azok egyidejű átlátásával ez a feladat hatékonyabbá tehető.

A fentiek alapján a felderítés fogalmát logikailag a tűzmentes időszak figyelésének idejére is kiterjesztem, így az magában foglalja az erdőtüzek észlelésére, detektálására vonatkozó felderítést, a tűzoltás megkezdése előtti felderítést, a tűzoltás során a folyamatos információszerzést, valamint az utómunkálatok keretében történő megfigyelés biztosítását is. Repülőgépekkel a tüzek észlelése, utómunkálatok esetében a visszagyulladások megelőzése az adott terület fölötti repülések végrehajtásával, órjáratozással oldható meg.

A felderítésnek általános esetben alkalmasnak kell lennie¹³:

- az adott és a várható helyzet felmérésére;
- a helyes megoldás megválasztására és a szükséges feladatok meghatározására;
- a tűzoltás egyes szakaszai során felmerülő speciális feladatok megoldására;
- a beavatkozók biztonsága érdekében a szükséges óvintézkedések meghozatalára.

A felderítés segít a tűzoltásvezetőnek abban, hogy döntéseivel az oltási módszerek közül azt tudja alkalmazni, amellyel emberéletet, testi épséget nem veszélyeztet, és a tűzoltás a legrövidebb idő alatt, a legkisebb kárral, a legkevesebb erővel, eszközzel, a leggazdaságosabban végezhető el.

Az erdőtüzek felderítése során kiemelten az alábbiakat kell vizsgálni [32]:

- a tűz kiterjedésének nagyságát, a tűz által veszélyeztetett lakott területeket;
- a lakott területekről az emberek kimenekítési lehetőségeit;
- a terjedés irányát, a veszélyeztetett terület állapotát, jellegét;
- a helyszínen meglévő lakott, vagy ipari objektumok helyzetét;
- a tűz megállíthatóságának, körülhatárolásának zónáit;
- a vízellátás és megközelítés útvonalát;
- az erdőterületen átvezetett villamos vezeték hálózatot, annak veszélyeztetettségét;

¹³ Tűzoltási Szabályzat 83. pontja.

- az uralkodó szélirányt;
- a menekülési és menekítési útvonalakat.



1. kép. Az első szervezett szerű légi őrjáratok híradása.
Forrás: Internet.

A fentiek egy meglehetősen komplex kép kialakítását, nagy területről, rövid idő alatt, sok és szerteágazó információ megszerzését követelik meg a tűzoltás irányításába bevont személyektől. A levegőből történő felderítés képes ezt a komplex igényt kielégíteni, amire az is bizonyíték, hogy már a repülés kezdetén történtek erőfeszítések repülőgépek ilyen célú speciális alkalmazására. Az első írásos emlék 1918-ból való, amikor is Kanada ritkán lakott területei fölött rendszeres légi őrjáratok segítségével derítették fel a kialakult erdőtüzeket (1. kép).

Az értekezésem következő fejezetében a döntéshozók komplex igényeit kielégítő információk megszerzését vizsgálom a légi felderítés lehetőségeinek

feltárásával, vizsgálatával - elsőként a tűzoltás során történő támogatás, majd a tüzek észlelése céljából végzett, valamint utómunkálatok alatti őrjáratok bemutatásával -, valamint új technikai lehetőség megalkotásával.

2.1.2 Légi irányítás

Az erdőtüzek légi tűzoltása szinte mindig több repülőgép egyidejű alkalmazását igényli. Ilyenkor elengedhetetlen feltétel, hogy a légi eszközök irányítása, tevékenységük koordinálása a hatékony tűzoltás érdekében szakszerű módon történjen. Ennek gyakorlati megvalósulási lehetősége az, amikor a levegőben egy meghatározott, de általában nagyobb magasságon őrjáratok repülőgép, vagy helikopter az adott területet, tűzvonalat folyamatosan figyeli¹⁴. [77]

Az adott helyzettől függően a fedélzeten lévő szakember a repülőgépeket a megfelelően megválasztott célterület fölé irányítja. Ez történhet a tűz direkt oltása vagy egyéb célból is. Az adott célterület kiválasztását többféleképpen végezheti a légijármű fedélzeten lévő szakember.

¹⁴ Magyarországi példák: 1993 -ban Bócsa, 2000-ben Ágasegyháza térségében égő tüzeknél történt őrjáratok.

A célterületet meghatározhatja:

- önálló helyzetmegítélése alapján;
- az oltást végző repülőgépek által nyújtott kiegészítő információk segítségével;
- a földön lévő irányítási pont által adott információkkal összehangoltan;
- alkalomszerű támogatásként kellően hatékony kommunikáció esetén a földi egységek kérelmére (pl. füstgyertya célt jelölő alkalmazásával);
- esetleg a védelmi vonalak kiépítése érdekében előre kiszámítva.

A levegőből történő irányítás kiterjed az egész terület fölötti repülések koordinálására, valamint lehetőség szerint a földi erők tevékenységének irányítására, összehangolására is. Az előbbi magában foglalja a célterületre történő rárepülések, és az onnan történő elrepülések koordinálását, valamint a fel-, leszálló körzet repüléseinek összehangolását.

Annak ellenére, hogy a légi felderítéshez és esetenként az irányításhoz folyamatos repülés szükséges, költségei a légi tűzoltásra bevetett eszközzel összehasonlítva jelentősen kisebb is lehet. Ezt azzal magyarázom, hogy a feladat ellátásához kis teljesítményű, könnyű, esetleg ultrakönnnyű repülő is hatékonyan alkalmazható, aminek a költségei minimálisak.

Ahhoz, hogy a levegőből történő felderítés a tűzoltást a leghatékonyabban tudja szolgálni, az is szükséges, hogy a felderítést végző, szükség és lehetőség szerint a fedélzeten tartózkodó tűzoltó erre a feladatra alkalmas legyen. A megfelelő térbeli tájékozódási és légi-navigációs készség, valamint a lehetőségekhez képest kielégítő helyismeret itt elengedhetetlen. A feladatot végrehajtó személynek a repülés biztonságát nem veszélyeztető egészségi állapottal kell rendelkeznie.

A saját tapasztalataim alapján a nemzetközi gyakorlatban elterjedt a bevetésben résztvevő tűzoltó gépjárművek utasfülkéjének a tetején jól látható módon feltüntetett sorszámozás. A felderítést végző ill. a tűzoltásvezető rendelkezik a beazonosító számok jegyzékével és így egyszerűen, félreértés nélkül tudja a járművek mozgását koordinálni. A számozásos jelölés bevezetését javaslom minden olyan gépjárműfecskendőn és résztvevő különleges szeren – országosan is –, amelyek számításba jöhetnek egy-egy ilyen jellegű beavatkozásnál.

A légi támogatást korábban már alkalmazó hazai szakemberek véleménye¹⁵ és saját tapasztalataim alapján a fedélzetén lévő személy a következő problémákkal találkozhat:

- a repülés rádióforgalmi csatornáival nem lehet közvetlen összeköttetést biztosítani a tűzoltás irányítását végzőkkel, nincs közösen elérhető csatorna;
- a légi tájékozódás alapjaiban eltér a földi beavatkozókat segítő módszertől. A repülés során a levegőből jól látható, olyan, többnyire kiemelkedő, a környezetétől elütő tájékozódási pontok a mérvadóak, amit sokszor a földi beavatkozók részére a fák lombkoronája, vagy a domborzat egyáltalán nem tesz láthatóvá;
- a földi beavatkozók számára a lombzat alatt még az égtájak meghatározása is nehézségekbe ütközhet;
- a levegőből a földi egységek megkülönböztetése nehézkes, nincsenek egymástól fölülről elkülöníthető jelzések;
- a pilótáknak és a tűzoltás irányításába bevont személyeknek csak a közös, éles bevetések alapján vannak ismereteik a másik szakterület igényeiről és lehetőségeiről.

A témakör lehatárolása miatt a légi irányítás speciális szakfeladatának részletesebb elemzése nem tárgya az értekezésnek.

2.1.3 Logisztikai támogatás

A logisztikai lehetőségek nem korlátozódnak csak a tűzoltási feladathoz. Az időben elhúzódó tűzoltási feladat biztosításához elengedhetetlen bizonyos szállítási feladatok végrehajtása. Így az erdők tűzoltása – mint időben elhúzódó tűzoltási feladat – esetenként olyan logisztikai háttérrel követelhet, amelyet csak légi járművek, hazai viszonylatban jellemzően helikopterek alkalmazásával valósíthatók meg. A kiterjedt tűzvonalon oltást végzők vagy figyelmet végrehajtók ellátása, biztosítása igényelheti repülőeszköz alkalmazását is.

A nemzetközi gyakorlatban az erdei tűzoltók helyszínre juttatásában gyakran szerepet kapnak a légi járművek. Ez lehet egy különleges desszantolási feladat, amelynek során ejtőernyő segítségével juttatják a speciálisan felszerelt tűzoltókat a legkritikusabb helyszínekre (2. kép). Amennyiben lehetőség van a kiválasztott oltási célpont közelében leszállás végrehajtására, akkor célszerű azt alkalmazni. Ez utóbbira már magyarországi

¹⁵ A tűzoltás irányításába bevont személyekkel, parancsnokokkal, pilótákkal történt eszmecsere alapján.

példák is vannak¹⁶. Ez a szállítási mód már természetesen egy szélsőséges megoldás, de alkalmazásakor az egyéb lehetőségek már objektív okokból (pl. Alföld – homokos terület) nyilvánvalóan lehetetlenné váltak. (A tűzvonal lehet olykor több tíz kilométer hosszú is!).



2. kép. Ejtőernyős tűzoltó.
Forrás: Internet.

A fokozottan igénybe vett állomány ellátására, váltására szintén lehetőséget nyújt a légi biztosítás. Ez meglehetősen drága, ám az állomány elemi szükségleteinek kielégítése és szükség szerinti váltása nem mindig anyagi megfontolás tárgya. Egymástól elszigetelt területeken dolgozók gépjárművel történő elérési lehetősége a terepviszonyok függvényében akár lehetetlenné is válhat.

Sürgős esetekben, mint pl. az állomány *veszélyzónából való kimentése* (a szél hatására megváltozó terjedési irány, röptüzek okozta bekerítés) valamint *egészségügyi ellátása* (baleset, égési sérülés, füstmérgezés, stb.) légi úton biztosítható a leggyorsabban [34]. Az olyan szituációkban, amikor a forgószárnyas légi jármű nem tud az adott terepen leszállni, csupán függeszkedve képes a tisztásra menekültek segítségére sietni, szükséges lehet a különleges feladatokra felkészült és már ma is rendelkezésre álló csoport (Különleges Mentési Csoport) igénybevétele [18]. A fenti feladatok hatékony ellátása érdekében javaslom, hogy részükre az alkalmazás erdőtűzre vonatkozó speciális feltételei kerüljenek kidolgozásra és különleges helyzetek magas kockázata esetén folyamatosan álljanak készenlétben.

Az értekezés terjedelmi korlátai miatt a logisztikai támogatás speciális szakfeladatának részletesebb elemzésére nincs mód.

2.1.4 Tűzoltás

A légi tűzoltás kezdetleges formája már a repülés korszakának legelején megjelent. Az első légi tűzoltást 1918 –ban [29] ¹⁷, az első dokumentált légi erdőtűz oltást 1930 –ban¹⁸ hajtották végre, mindkettőt az Egyesült Államokban. A légi tűzoltás

¹⁶ Egyes elszigetelt tűzócokhoz a tűzoltók helikopterrel történő szállítása valósult meg 1993 –ban Bócsa, 2000 –ben Ágasegyháza, 2007 –ben Kiskunlacháza körzetében tomboló erdőtűzeknél.

¹⁷ Fire Engineering, 1957. májusi száma alapján.

¹⁸ Pioneers of Aerial Fire Fighting, http://www.uss-hornet.org/posters/aerial_firefighters/

hatékonyságának növelésére már az 1950 –es években megkezdődtek a rendszeres kísérletek (3. kép). Ez a gyakorlat által bizonyította, hogy a repülőgépek alkalmazásával hatékony eszközre találtak az erdőtüzek oltásáért felelős szakemberek.



3. kép. Légi tűzoltás kísérlet. Forrás: Internet.

A légi tűzoltás fogalma alatt a tűz frontvonalára gyakorolt tevékenység célja és formája alapján a következő tűzoltási módok alkalmazhatók: [68] [76]:

- előhűtés;
- pontszerű oltás;
- vonalszerű oltás;
- gyulladás megelőzés, égésslassítás.

Az előhűtés

Előhűtés alkalmával az egységnyi felületre kijuttatott vízmennyiség nem éri el az oltáshoz szükséges mértéket. A kiürített oltóanyag elsősorban nagy hőelvonó képességével járul hozzá a lánghőmérséklet csökkentéséhez és így a tűz frontjában még nem égő anyag meggyulladásának késleltetéséhez, az égés lelassulásához vezet. Az előhűtés alkalmazásával egyrészt kedvezőbb feltételeket lehet biztosítani a következő repülőgép oltási hatékonyságának növeléséhez, másrészt az alacsonyabb tűzvonal-intenzitás lehetőséget adhat a hagyományos eszközökkel történő oltás sikeresebb alkalmazásához. Az oltóanyag nagyobb területen történő felhasználásával kiterjedtebb frontvonal égésének intenzitását lehet csökkenteni.

Az előhűtés a láng hőmérsékletének csökkentésével járul hozzá az oltás eredményességéhez. Ilyenkor a repülőgép a tűzvonal fölött, vagy a szélviszonyoktól függően közvetlenül előtte repül el és bocsátja ki az oltóanyagot, amely ebben az esetben célszerűen vizet jelent.

A pontszerű oltás

A pontszerű oltás csak helikopterrel végezhető, amely során egyhelyben függeszkedve, pontszerűen, vagy minimális sebességgel a tűz fölött elrepülve történik az oltóanyag kiürítése. Alkalmazása kisebb tüzek, a szél hatására létrejövő kezdeti újabb tűzgócok vagy utómunkálatok elősegítése céljából történik.

Ezzel az oltási móddal csak viszonylag kis terület védelme biztosítható, ennek ellenére ez a megoldás is gyakran kerül alkalmazásra. Ennek oka, hogy a kezdeti tüzek gyors eloltásával hatékonyan előzhető meg a nagyobbak kialakulása. Ezért a már eloltott tűzfrontok visszagyulladt szakaszainál és a röptüzek okozta gócok elfojtásánál ennek az oltási módnak kiemelt szerepe van.

A vonalszerű oltás

A vonalszerű oltás a tűzvonal közvetlen támadását, vagy a már kialakított földi védelmi vonalak megerősítését szolgálja. A nedves vonal létrehozása segíti a földi gyalogos egységek beavatkozását. Egyaránt alkalmazható zárt lombosított területen a tűz vonalában vagy az erdőben lévő nyiladékok, hasadékok irányában. A nyiladék vonala a kisebb éghető anyag mennyiség miatt kisebb felületi tűzterhelést, alacsonyabb tűzvonal-intenzitást okoz, így az oltás hatékonysága magasabb lesz. A vonalszerű oltás alapvető szempontja, hogy mekkora az egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyisége.

A gyulladás megelőzés, égésslassítás (védekezés)

A gyulladás megelőzés, égésslassítás a tűz frontvonala és a védelmi vonal közötti területen történik. Ekkor a már kialakított földi védelmi vonalak, vagy a kellően nedves vonal szab majd végső gátat a tűzterjedésnek. Az égés intenzitásának a kellő mértékűre csökkenését a védelmi vonalon belül, a növénytakaróra kijuttatott oltóvíz biztosítja. A hatékonyság növelése érdekében ilyenkor előnyös lehet akár habképző anyagot is keverni az oltóvízbe. Így a tűzfront kellően lelassulva, alacsony tűzvonal intenzitással tudja majd elérni a védelmi vonalat. Külön figyelmet kell fordítani arra, hogy a víz ne tudjon természetes módon felszáradni.

Ennek az oltási módnak az alkalmazásánál bizonyos előszámvetést lehet végezni, amit alapvetően a tűz terjedési sebessége határoz meg. Nem elhanyagolható szempont, hogy a repülési manőver végrehajtásánál ebben az esetben van a legkevesebb zavaró tényező, így a célra repülést a legpontosabban lehet végrehajtani.

A fenti oltási módok alkalmazása általában vegyesen történik, különböző típusú repülőgépek és helikopterek használatával. A légi tűzoltás szinte soha sem elegendő egy erdőtűz megfékezésére, de mindig kiváló segítséget nyújthat a földi csapatok munkájához a védelmi vonalak erősítésénél és a magas tűzvonal-intenzitású részek „lecsendesítésénél”, a terjedés lassításánál.

2.2 A légi tűzoltás eszközrendszerének vizsgálata

A légi tűzoltás eszközrendszerének vizsgálata során áttekintem az alkalmazott nemzetközi és hazai repülőgép típusokat, mint az oltóanyag hordozó eszközeit; a kibocsátás eszközeit, mint segédeszközöket; valamint az oltóanyag fajtáit.

2.2.1 Az oltóanyag hordozó eszközei

A merevszárnyú repülőgépek

Már a légi tűzoltás alkalmazásának kezdeti szakaszában többféle repülőgépet használtak. Speciálisan légi tűzoltásra tervezett és alkalmazott repülőgépek gyártása csak az utóbbi egy – két évtizedben valósult meg¹⁹. Korábban kizárólagosan, ma még mindig általánosan az a gyakorlat, hogy az öregebb repülőgép típusokat átalakítják, vagy az egyéb feladatokra már hatékonyan nem alkalmazható légi járműveket speciálisan felszerelik, hogy alkalmassá tegyék azokat a légi tűzoltás végrehajtására.

A kategória A szállítható oltóanyag mennyisége meghaladja a 3000 gallont			B kategória A szállítható oltóanyag mennyisége 1800-2999 gallon közötti		
Repülőgép típusa	Oltóanyag [gallon]	Oltóanyag [liter]	Repülőgép típusa	Oltóanyag [gallon]	Oltóanyag [liter]
Il-76	11000	41635	DC-6	2450	9274
Martin Mars	7200	27252	P2V	2700	10220
KC-97	4500	17033	SP2H	2000	7570
C-130	3000	11355	PB4Y2	2000	7570
P3 Orion	3000	11355	DC-4/C54	2000	7570
DC-7	3000	11355	DC-4 Super	2200	8327
C kategória A szállítható oltóanyag mennyisége 600-1799 gallon közötti			D kategória A szállítható oltóanyag mennyisége 100-599 gallon közötti		
Repülőgép típusa	Oltóanyag [gallon]	Oltóanyag [liter]	Repülőgép típusa	Oltóanyag [gallon]	Oltóanyag [liter]
B-26	1200	4542	Turbine Thrush	350	1326
Albatross	1500	5678	G-164 Ag Cat	300	1136
Super PBV	1400	5299	PZL M-18	400	1515
CL215	1400	5299	DHC-2 Beaver	108	409
CL415	1600	6056	Megjegyzés: 1 gallon (USA)=3,785 liter		
PV-2	1200	4542			
AT802	800	3028			
S2T	1200	4542			
S2	800	3028			
A26	925	3500			
DHC-6 TO	600	2271			

2. táblázat. A leggyakrabban alkalmazott merevszárnyú repülőgép típusok. Forrás: Chromek.

¹⁹ Az első speciálisan tűzoltási feladatra tervezett és gyártott repülőgép a Canadair CL-215 típus nevezhető.

A fentiek magyarázatát abban találom, hogy az erdőtüzek kialakulása az év egy viszonylag rövid, meghatározott időszakára jellemző, amely korábban nem tette volna, illetve a legtöbb országban még ma sem teszi gazdaságossá a csak erre a feladatrendszer végrehajtására tervezett és kialakított repülőgépek folyamatos fenntartását, üzemeltetését.

Az utóbbi időszakban a globális klímaváltozás és annak hatásai nemzetközi szinten is az erdőterületek felértékelődését, az erdőtüzek elleni védekezés fontosságának előtérbe kerülését okozza. A tüzek elleni védekezésre egyre nagyobb összegek állnak rendelkezésre, amelyek így már speciális és jelentősen korszerűbb eszközök tervezését, gyártását és alkalmazását is lehetővé teszi. Ennek megnyilvánulási formájaként értékelem, hogy ma már a világpiacon többféle, speciálisan légi tűzoltási feladatokra tervezett repülőgépet (CL-415, BE-205) és helikoptert (M-64) is lehet vásárolni.

A merevszárnyú repülőgépek sajátosságai közé tartozik, hogy típustól függően magasabb fokú földi kiszolgálást és repülőteret is igényelnek. Ezek alól a speciálisan légi tűzoltásra, valamint mezőgazdasági feladatok végrehajtására tervezett repülőgépek kivételek lehetnek. A nagy tömegű, nagy sebességű légi járművek szállítási kapacitása is jelentősen nagyobb, így alkalmazásukra kiterjedt erdőtüzeknél, magyarországi viszonyok között nem értelmezhető körülmények között kerül sor. A leggyakrabban alkalmazott típusok a szállítható oltóanyag mennyiség feltüntetésével a 2. táblázatban láthatók.

Forgószárnyas repülőgépek – helikopterek

A helikopterek alkalmazásának sajátossága, hogy a helyből történő le-, és felszállás lehetősége helyzeti előnyt jelent számukra. További sajátosság, hogy a külső függesztményként alkalmazott tartályok felszerelése és használata minimális nehézséget okoz. A tartályok tartókötele változó hosszúságú lehet, amely az alacsony magasságon történő repüléseket lehetetlenné, vagy kockázatosabbá teszi. A külső tartályok alkalmazása esetén a tapasztalatok azt mutatják²⁰, hogy a helikopterek egy – egy fordulója, un. ciklusideje jelentősen megnövekedik [34] [77]. A külső tartályban történő vízszállítás jelentős szállítási veszteséget is okoz [34].

A nagyobb tartályok feltöltése a tűz frontja közelében nehézségekbe ütközhet, vagy logisztikai problémákat okozhat. A távolabbról történő helikopteres vízszállítás esetén romlik a fajlagos hatékonyság, növekszik a szállítási veszteség, valamint a ciklusidő is.

²⁰ Ágasegyháza 2000; Kunfehértó 2007.

A helikopterek belső tartállyal történő felszerelése a fenti problémák jelentős részét csökkenti, vagy megoldja, illetve egyesíti a helyből fel-, és leszállás előnyeit a könnyű repülőgépek gyors alkalmazásával²¹ [34]. A függés üzemmódban történő oltóvíz kibocsátás mind külső függesztmény, mind belső tartály esetén pontos célzást, így kisméretű, kezdődő tüzeknél hatékony alkalmazást jelent.

Nehéz szállító helikopterek			Közepes szállító helikopterek		
	Típus	Oltóanyag [l]		Típus	Oltóanyag [l]
1.	Mi-6	12000	1.	UH-1 IROQUOIS	2250
2.	Mi-10	10000	2.	H-60 (S-70A)	3600
3.	Mi-26	20000	3.	AS 532 COUGA	4500
4.	CH-53 STALION	9000	4.	AS 322 PUMA	4500
5.	CH-54 Thare	9000	5.	SA 321 FRÉLON	5000
Könnyű helikopterek			6.	SA 330 PUMA	3200
			7.	Mi- 8/17/171	4000
			8.	W-3 SOKÓL	2100
			9.	B 412	2000
	Típus	Oltóanyag [l]	10.	Ka-32 HELIX	5000
1.	AS 550 Fennec	1160	11.	AB 412 Griffon	1820
2.	AS 555 Ecureuil 2	1140	12.	EH 101	5400
3.	AS 565 Panther	1650			
4.	SA 316/319	750			
5.	Bk 117	700			
6.	Ka-26	1100			
7.	K-MAX	2722			

3. táblázat. Légi tűzoltásra gyakrabban alkalmazott helikopter típusok. Forrás: Chromek.

2.2.2 Hazai eszközpark

A légi tűzoltásra eddig alkalmazott hazai eszközpark általános repülési feladatok végrehajtására készült repülőgépekből és helikopterekből áll, amelyeket ideiglenesen alakítanak át, vagy speciálisan szerelnek fel.



4. kép. Lengyel PZL M-18 Dromedár a földön és tűzoltás közben. Forrás: Internet.

²¹ Belső tartályos helikopteres tűzoltást alkalmazó pilóták tapasztalata alapján. Imreh Lajos, Forgószárny Kft.



5. kép. ZLIN Z-137 Smelák tűzoltás és kiszolgálás közben. Forrás: Internet.

Speciálisan légi tűzoltásra tervezett, vagy arra a célra átalakított és csak ilyen céllal fenntartott légi jármű nincs Magyarországon és megítélésem szerint nincs is rá szükség. A repülőgépek közül a *PZL M-18 Dromedar* (4. kép) és a *ZLIN Z-137 Turbo Smelak* (5. kép) típusok kerültek eddig alkalmazásra. Mindkettőt mezőgazdasági feladatok ellátására tervezték, így robusztus kivitelűek, kicsi a fel- és leszállóhely igényük, gyors és viszonylag egyszerű a kiszolgálásuk, valamint alkalmasak ideiglenesen repülőtérnek kijelölt mezőről fel-, és leszállást végrehajtani. A fenti tulajdonságok kisebb átalakítással alkalmassá teszik őket légi tűzoltási feladatok ellátására is.

A forgószárnyas repülőgépek közül a *MI-8T*, *MI-17* típusú közepes, és *Mi-2* típusú könnyű szállító helikoptereket alkalmaztak (6. kép). A közepes szállító helikopterek valamennyi esetben külső függesztményként Bambi Bucket tartályt használtak. A könnyű helikopterek esetében mind a kisebb méretű Bambi Bucket, mind speciális kialakítású belső tartály alkalmazására van tapasztalat.



6. kép. MI-8T külső függesztményrel és MI-2 belsőtartályos helikopterek. Forrás: Internet.

A MI-8T és MI-17 típusú helikopterek a Magyar Honvédség szolgálatában állnak és együttműködési megállapodás alapján vehetők igénybe. A Magyarországon

rendelkezésre álló Bambi Bucket tartályok kapacitása miatt jelenleg legfeljebb 2500 liter oltóvíz szállítására és pontos célba juttatására alkalmasak. A helikopterek alkalmazásának jelentős gátja a magas fajlagos költség. A MI-2 típusú helikopterek külső függesztményként 500 liter oltóvíz szállítására alkalmasak külső függesztésű tartállyal, valamint egy speciálisan kialakított 1000 literes belső tartállyal lehetnek felszerelve.

2.2.3 Az oltóanyag kibocsátásának eszközei, mint segédeszközök

Belső tartályok

A belső tartályok lehetnek a repülőgép természetes tartozékai (mezőgazdasági célú repülőgépek), vagy speciálisan kialakított és ideiglenesen beszerelt edények. A merevszárnyú repülőgépek belső tartályosak. A helikopterek különösebb átalakítás nélkül alkalmasak külső függesztmény szállítására, de egyre gyakoribb a belső tartályos változat kialakítása is. Ez utóbbira találhatunk magyar példát is [33] [34].

A belső tartályok csatlakozási lehetősége gyors feltöltést tesz lehetővé, a nemzetközi gyakorlatban a vízre is leszállni képes típusok esetében (pl. CL-415) egy speciális nyílás segítségével akár a vízben történő siklás, átstartolás ideje alatt is. A túltöltés elleni védekezésként valamennyi tartály túlfolyó nyílással rendelkezik. A tartályok nyitását a repülőgép személyzete a kívánt célterület fölé repülve végzi el.



7. kép. CL-415 belső tartálya és kiömlő nyílása: Forrás: Internet.

Egy magyar fejlesztés előnyei

A légi tűzoltás hatékonyságának növelése érdekében került kifejlesztésre egy speciális belső tartály, amely Mi-2 típusú helikopteren kerül alkalmazásra (6. kép). A fejlesztés célja a külső tartály alkalmazása során felmerülő problémák megoldása volt²².

²² Forgószárny Kft.

A Bambi Bucket alkalmazásakor jelentős nehézséget okoz a tartályok feltöltéséhez megfelelő vízforrások biztosítása. Amennyiben a bevetés közelében nyílt vízfelület nem áll rendelkezésre, úgy a külső tartály feltöltéséhez a helyszínrre kell szállítani egy megfelelő méretű konténert (medencét), amelybe valamilyen módszerrel (tartálykocsi, szivattyú, tűzcsap) folyamatosan vizet kell juttatni. A folyamat gazdaságtalan, hiszen a vizet kétszer kell mozgatni, ráadásul a megfelelő töltőmedencéről is gondoskodni kell.

További probléma, hogy a tartály a helikopterhez rögzített kötéllel himbálózva, a felvett víz jelentős részét még azelőtt elveszíti, hogy azzal az oltás helyére érne vele. Tapasztalatok alapján a külső tartállyal történő oltóanyag kibocsátás több alkalommal is pontatlan volt, amelyet alapvetően a rögzítő kötéll hossza miatti kényyszerűen nagyobb repülési és dobási magasság megválasztásával magyarázták.

Az új módszer lényege az, hogy a helikopter belsejében egy speciálisan oda tervezett tartály kap helyet, amelyet közvetlenül egy tömlő segítségével egy gépjárműfecskendő tölthet fel vízzel. A módszer előnye a nyílt vízfelszíntől való függetlenség, a gyors feltöltés eredményeként a lerövidülő ciklusidők, valamint a zárt rendszernek köszönhetően a szállítási veszteség nélkül rendelkezésre álló oltóvíz. Mivel az új fejlesztés eredményeként a teher a gép belsejében helyezkedik el, ezért a helikopter sebessége, manőverezhetősége, és így az oltóvíz célba juttatásának pontossága, valamint az egyes fordulókörök gyakorisága jelentősen megnő, ami az oltás eredményességét jelentősen javítja. A tartályos technológia alkalmazásával mért tapasztalati adatok [33]:

- ciklusidő: 2-3 perc, a tartály feltöltésének ideje: kb. 20-30 másodperc;
- óránkénti felszállások száma: 12-15, kb. 320 liter üzemanyag felhasználásával;
- oltóanyag szállítási veszteség: 0%, a célba juttatás eredményessége $\approx 100\%$.

A belső tartályos tűzoltás tapasztalatai alapján javaslom, hogy legyen vizsgálat tárgya a technológia Mi-8T, Mi-17 típusú helikoptereknél történő alkalmazási lehetősége, valamint kedvező vizsgálati eredmény esetén kerüljön kidolgozásra annak bevezetése.

Külső függesztmény

A külső függesztményként alkalmazott kibocsátó eszközök rugalmas oldalfalú tartályok, amelyek nagy szakítószilárdságú anyagból készülnek. Két nagy termékcsaládból lehet választani, az egyik az orosz gyártmányú VSU sorozat, a másik a kanadai Bambi Bucket család. Magyarországon az utóbbit alkalmazzák, ezért ezt mutatom be.

Bambi Bucket

A termékcsalád első tagja 1983-ban készült el. A tervezők célja az volt, hogy egy olyan rugalmas oldalfalú tartályt hozzanak létre, amely alkalmas a helikopterekhez külső függesztményként a lehető legegyszerűbben csatlakoztatni és így a bevetést azonnal megkezdeni. A rugalmas oldalfal lehetővé teszi az egyszerű csomagolást és szállítást. A Bambi termékcsalád előnye, hogy a helikopter nem igényel semmilyen átalakítást, vagy módosítást, a külső függesztmény rögzítési pontjához kell csatlakoztatni és a helikopter azonnal bevetésre kész. Ez lehetővé teszi, hogy az egyébként más feladatra tervezett és alkalmazott bármely helikopter potenciálisan alkalmas tűzoltási feladatok ellátására is.

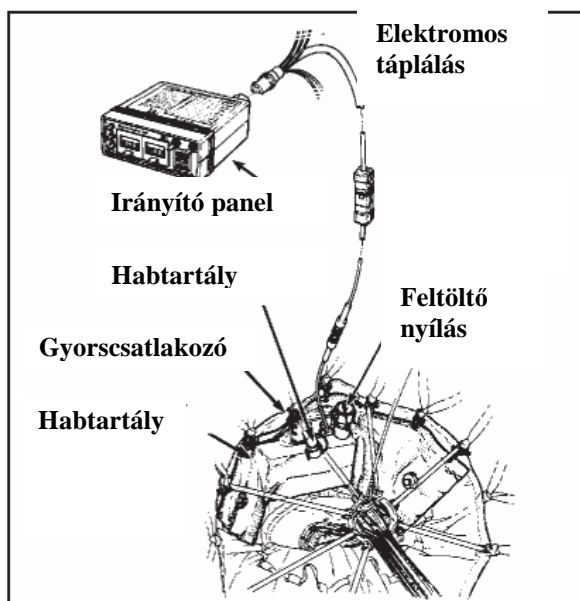
A tartály feltöltésének két alapvető módszere van. Az egyik esetben az ideiglenesen kijelölt repülőtéren a rendelkezésre álló tartályból egy szivattyú (tűzoltó fecskendő) segítségével történik a feltöltés, a másikban a helikopter egy arra alkalmas nyílt vízfelület fölött függeszkedő üzemmódban megmeríti a tartályt. A Magyarországon használatos típusoknál a merítés helyén a vízmélységnek legalább 1,5 méter mélynek kell lennie.

Modell	Szállítási kapacitás [liter]	Saját tömeg [kg]
6072	270	30
8096	365	32
9011	410	32
1012	455	33
1214	545	33
1518	680	34
1821	795	35
2024	910	61
2732	1225	70
3542	1590	76
4453	2000	85
5566HD	2500	138
5870HD	2655	150
6578HD	2955	162
7590	3405	170
HL5000	5000	177
HL7600	7570	211
HL9800	9840	241



4. táblázat: A Bambi Bucket termékcsalád.
Forrás: Chromek.

8. kép.
Bambi Bucket. Forrás: Szerző magánarchívuma.



10. ábra. Sacksafoam rendszer vázolata. Forrás: Internet.

A Bambi Bucket tartályhoz opcióként a SacksafoamTM készülécsalád alkalmazható, amely a fedélzetről irányítva képes 0,5-1 % közötti habképző anyagot a tartályba injektálni. A hatékonyabb kijuttatás érdekében a tartály aljára szintén opcióként rendelhető a FireSockTM keverő zsák, amely az oldat levegővel való hatékonyabb keveredését segíti elő. A fenti felszerelések elősegítik az oltóanyag habosodását, a víz felületi feszültségének csökkentésével a hatékonyabb oltóhatás kifejtését.



9. kép. Bambi Bucket alkalmazás közben. Forrás: Internet.

2.2.4 Az oltóanyag

A légi tűzoltásnál az oltóanyagok közül legáltalánosabban a víz terjedt el. A porok alkalmazási lehetőségét az apró szemcseméret könnyű elsodródási veszélye, a mérsékelt oltóhatás és az esetleges alkalmazás technikai nehézsége miatt jelenleg kizárom. A gázok alkalmazásának lehetőségét is elvetem, mivel az égéstérbe juttatásukra nincs megfelelő technikai lehetőség és nyílt térben történő felhasználásuk sem lenne kellően hatékony.

A fenti oltóanyagok felhasználásának kutatását véleményem szerint a víz alkalmazásának magas hatékonysága és viszonylagosan alacsony költsége gátolja.

A legáltalánosabb oltóanyag a víz

A légi tűzoltáshoz a legáltalánosabban elterjedt oltóanyag a víz. Magyarországon eddig tényleges légi tűzoltás kizárólagosan csak ezzel történt. Általánosan is ez a legelterjedtebb oltóanyag, amelyet a természetben gyakori, nagymennyiségű előfordulása és oltástaktikai szempontból kedvező tulajdonságai indokolnak. A víz néhány fizikai tulajdonsága:

- fajhő: $4,2 \text{ kJkg}^{-1}\text{C}^{-1}$;
- párolgáshő: 2684 kJkg^{-1} ;
- felületi feszültsége $7,3 \cdot 10^{-4} \text{ Nm}^{-1}$.

A víz alkalmazása során a következő oltóhatások jelentkeznek:

Hűtőhatás: A hűtőhatás a hőelvonó képességen alapul. A kibocsátott és kisebb – nagyobb cseppekre szakadó víz a megnövekedett felületével jelentősen képes csökkenti a lángtér hőmérsékletét. Az égő anyagra hulló cseppek annak hőjének lekötésével fejtik ki hatásukat. Ez az oltóhatás jelentősen függ a cseppmérettől és a tűzhöz jutás módjától.

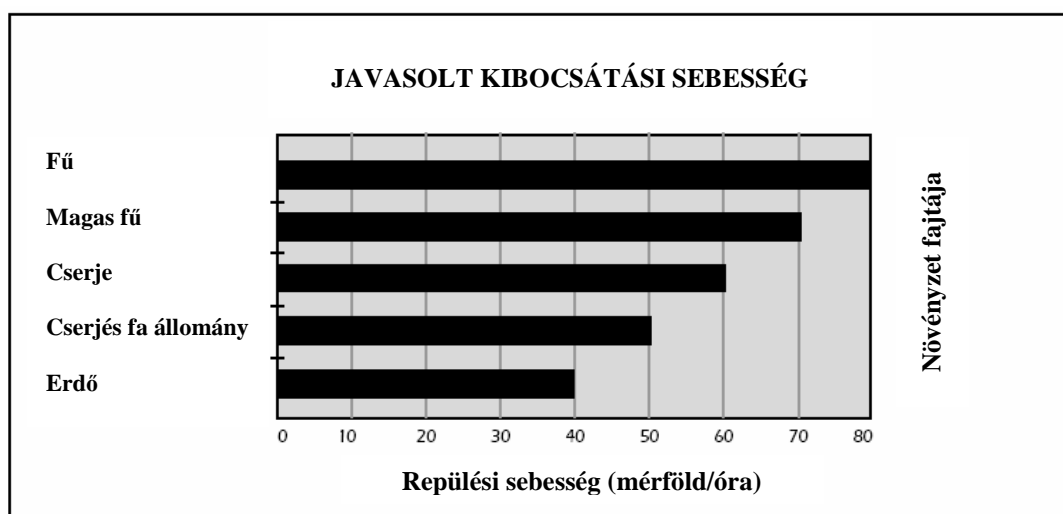
Fojtóhatás: Az égéstérbe, illetve az égő részekre hulló vízcseppek elpárolgásából, gőzzé válásából adódó oltóhatás. Az ennek során jelentkező térfogat-növekedés egyrészt kiszorítja az égéstérből az oxigént, másrészt rontja annak koncentráció értékét. Magas egységnyi felületre jutó mennyiség esetén a fojtó hatás alhatása, a takaró hatás is érvényesülhet.

Ütőhatás: A nagy sebességgel kibocsátott víz jelentős mozgási energiával rendelkezik, amely az égő felülettel találkozáskor képes arról leszakítani a lángot, megbontva ezzel az égés felületét és folyamatát. Alkalmazásakor feltétel az alacsony repülési magasságon történő vízkibocsátás.

Habok

A nemzetközi szakirodalom „foam” - hab elnevezéssel használja már azt a habképző anyag hozzáadásával készült oldatot is, amelyből még jó minőségű habot nem lehet készíteni. Ezt az alacsony koncentrációjú oldatot a hazai szakirodalom „nedvesített víz, habosított víz” névvel illeti. A 3 % alatti bekeverési arány a hagyományos technológiákkal még nem elegendő az oltáshoz elfogadható minőségű hab előállítására. Az alkalmazás elsődleges célja az, hogy a víz felületi feszültségének csökkentésével növelje az oltási hatékonyságot.

A „habok” légi tűzoltásban történő alkalmazására szintén történtek kísérletek, azonban ezt fajlagosan magas költsége elterjedését nem tette általánossá. A külső függesztményként alkalmazott segédeszközök néhány fajtájához opcióként rendelhető „habok” előállítását biztosító segédberendezés, azonban általános használatuk nem terjedt el. Ennek okát a megfelelő minőség körülményes előállításával és az oldat nehézkes kijuttatásával, valamint magas fajlagos költségeivel indokolom. A könnyű és közepes habok alkalmazását azok könnyű fajsúlya a légi tűzoltásnál mindig jelen lévő intenzív légáramlások miatt nem teszi lehetővé.



5. táblázat. Habosított víz ajánlott kibocsátási sebessége a különböző növényzettípusok esetében.
Forrás: Internet.

A habok egy új alkalmazási lehetőségét tárom fel az ún. sűrített levegős habbal oltási eljárás alkalmazásával²³. Ennek során a víz és speciális habképző anyag oldatába egy kompresszor segítségével még a kijuttatás előtt levegőt préselnek. Az eljárás előnye, hogy a hab állandó minősége biztosított, az oldat bekeverésének aránya 1% alatti (0,1-1%) és a sugárcsőből kiáramló habsugár lőtávolsága megegyezik a kötött vízsugáréval. Egy liter oldathoz préselt levegő mennyiségének aránya 7, vagy 21. Az alkalmazás gyakorlati feltétele az, hogy a légi tűzoltás speciális követelményeihez igazodó műszaki tervezés és kivitelezés biztosítva legyen. A módszer alkalmazásának elvi lehetőségét bizonyítom azzal, hogy az oltóvíz helikopterekről speciális sugárcső segítségével történő kijuttatására már történtek kísérletek²⁴. Amennyiben a vízzel oltásra kifejlesztett rendszer a sűrített

²³ One-Seven System, Fordítás és kézirat, [49]

²⁴ SHAEP projekt, Un système hélicoptère d'aspersion verticale développé pour la lutte contre les incendies de forêts. CORDIS FP5, 2002.

levegős habbal oltási eljárás alkalmazásának feltételeit is biztosítani tudja, úgy az alkalmazásnak elvi akadályja már nincs. A fentiek alapján javaslom a sűrített levegős habbal oltási eljárás helikopterekről történő alkalmazásának kidolgozását.

Retardánsok

A retardánsok a vízhez kevert speciális sűrítő anyagok, amelyek elsődleges célja az, hogy a kibocsátás után létrejövő cseppméretek átlagos nagysága jelentősen nagyobb és

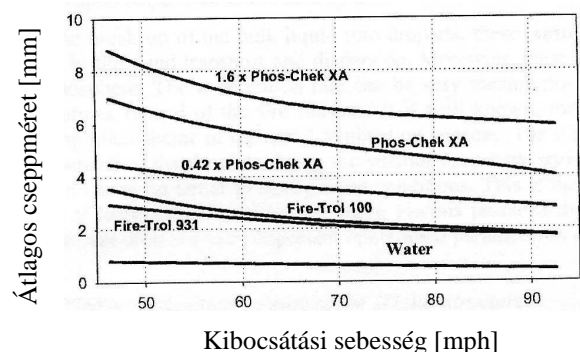


10. kép. Air-Crane S-64 helikopter speciális sugárcsővel. Forrás: Internet.

eloszlása egyenletesebb legyen, valamint a nagyon apró cseppek mennyisége radikálisan csökkenjen. A fentiek jelentősen növelik a víz oltási hatékonyságát és csökkentik a veszteségeket.

A retardánsok első generációjának alkalmazását ma már kerüljük, mivel fő alapanyaguk különböző bórax-sók voltak. Ezek, egyrészt a beszórt felületet terméketlenné tették, károsan sterilizálták, másrészt toxikus veszélyt jelentettek az erdő állataira is. A ma alkalmazott retardánsok ammónium szulfát $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$, ammónium polifoszfát $[(\text{NH}_4 \text{ PO}_3)_n]$, vagy diammónium

foszfát $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$ alapanyagokból külön-külön, vagy egyedileg összeállított arányban keverve készítik el, amelyek már sokkal kevésbé toxikusak. Tartalmaznak még korróziócsökkentő, színező (vasoxid), konzerváló valamint felületi feszültség csökkentő adalékanyagokat. Jelenleg a legelterjedtebb típusok a Fire-Trol és a Phos-Chek. A retardánsok alkalmazásánál a taktika nem a tűz közvetlen, direkt oltására irányul, hanem a tűz frontvonalától egy meghatározott távolságra számított hatékony védelmi vonal kialakítására.



11. ábra.

A retardánsok átlagos cseppmérete a sebesség függvényében. Forrás: Tomé.

A retardánsok segítségével létrehozott védelmi vonal a tűzvonal intenzitást csökkenti és így a tűz terjedését lelassítja, vagy megszünteti. A retardánsok alkalmazása során a földi erőkkel történő szoros és összehangolt tevékenységnek jelentős szerepe van.



11. kép. A vasoxid által láthatóvá vált kibocsátás egy kísérlet során. Forrás: Tomé.

A retardánsok alkalmazásánál előnyt jelent, hogy a védelmi vonal kialakításához a repülőgép vezetőnek több ideje van a célzáshoz, a hatékony kibocsátáshoz szükséges pontos rezsim beállításához és tartásához. Ez utóbbit segíti elő, hogy a láthatóság megkönnyítése érdekében az oldatot vasoxiddal hagyományosan vörösre színezik.

Robbanó oltóanyag

Speciális oltási eljárás a közelmúltban kifejlesztett és az alkalmazás még kezdeti szakaszában lévő robbanó oltókészülékkel történő erdőtűz oltás. Ez lehetőséget ad hatékony védelmi vonal kiépítésére, amely teljesen eloltja a tűzfrontot, vagy a földi erők számára is megközelíthetően lecsökkenti a tűzvonal-intenzitást. Másik előnye, hogy a csapdába került tűzoltók menekülési útvonala is biztosítható vele. Fajlagos költsége magas, ezért alkalmazását csak a különösen indokolt esetben célszerű elrendelni. Egy készülék kb. 5 méter átmérőjű terület oltását képes hatékonyan elvégezni. Az oltóeszközt Spanyolországban fejlesztették ki és levegőből történő kijuttatását is hatékonyan alkalmazták [21]. Az oltási eljárás alkalmazásának lehetőségét a Tűzoltási Szabályzat is felveti²⁵, amelyre már történtek Magyarországon is erőfeszítések²⁶. Javasolom ezért a robbanó oltókészülék használatának hazai bevezetését és repülőgépről történő alkalmazásának taktikai kidolgozását.



12. kép. Robbanó oltókészülék alkalmazása. Forrás: Benigno G.C.

²⁵ Tűzoltási Szabályzat 352. pontja.

²⁶ Szendrői Tűzoltóparancsnokság, Beaextin robbanó oltókészülék bemutató 2005. november 30.

2.3 Meteorológia, mint a repülést befolyásoló tényező

2.3.1 Általános repülési meteorológia

A repülőgépek bevetése veszélyes, melynek egyik jellemző tulajdonsága, hogy típustól, műszerezettségétől és a hajózó állomány kiképzettségétől függően a feladatokat különböző napszakban és időjárási viszonyok között hajtják végre. Ez egyrészt a vízszintes látástávolság kilométerben és a felhőalap méterben kifejezett olyan mértékű meglétét jelenti, ami a látás alapján történő tájékozódást még lehetővé teszi, másrészt a szélerősség értéke korlátot szab a repülés lehetőségének.

Amennyiben a repülőgépek erdőtűznél való alkalmazhatóságát a repülés időjárási feltételeinek megléte szempontból vizsgálom, úgy saját tapasztalataimat is felhasználva megállapítom, hogy az erdőtüzek kialakulásának időjárási feltételei - a szélviszonyok és erős turbulencia kivételével - a minimális repülési feltételeket jelentősen meghaladják. A repülés szempontjából már korlátozó tényezőként jelentkező szélerősség nem csak magát a biztonságos repülés végrehajtását hiúsítja meg, de a kijuttatott víz oltási hatékonyságát is az elfogadható érték alá szorítja.

Az éjszakai látási viszonyok sem biztosítják a vizuális repüléshez szükséges minimális feltételeket, így műszer szerinti repülési szabályok követése szükséges. Az éjszakai repülés során betartandó minimális repülési magasság nagyságrendekkel meghaladja a víz hatékony kijuttatásához szükséges magasságot, így a repülőgépek éjszakai alkalmazását szintén nem az időjárási viszonyok, hanem a műszer szerinti repülési szabályok követése teszi lehetetlenné. A repülőgépek éjszakai alkalmazása a felderítés, a pontos tűzvonal meghatározása terén nyújthat segítséget.

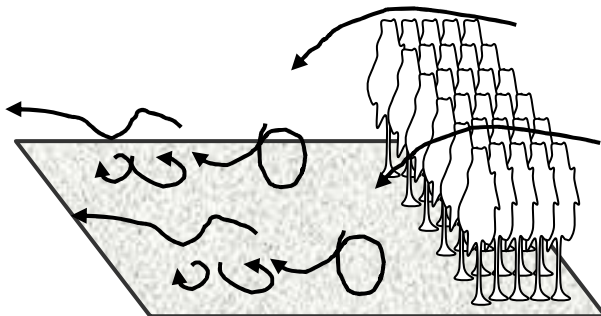
A levegőbe kerülő füst az időjárási feltételektől függetlenül is jelentős mértékben csökkentheti a látótávolságot, mely kiterjedt erdőtüzek esetén óriási területet és nagy magasságot is jelenthet. A látótávolság szélviszonyoktól is függő általános romlása mellett kiemelt figyelmet kell fordítani a tűzvonal közvetlen közelében kialakuló látótávolságromlásra. A felszálló sűrű füst nemcsak erősen lerontja, de gyakran a nullára csökkenti ezt. A füstön átrepülő személyzet így esetleg másodpercekig elveszíti a vizuális tájékozódás lehetőségét, ami alacsony repülési magasság esetén növeli a földhöz ütközés veszélyét. A füst átláthatatlanságának mértéke a füst diszperziójától függően a földtől való távolsággal fordítottan arányos.

2.3.2 A légi tűzoltás és a mikrometeorológia

A tűz által megváltoztatott helyi körülmények jelentősen befolyásolják a repülő eszközök alkalmazásának általános elveit. Ezért az általános eljárás a mikrometeorológiai viszonyok által okozott változások figyelembe vételével kiegészítésre szorul.

Az erdő hatása a légmozgásra – mechanikus turbulencia

A különböző hőmérsékletű földrajzi helyek között jól jellemezhető állandósult vízszintes légmozgás igyekszik a kialakult nyomáskülönbséget kiegyenlíteni. Ez a légmozgás külső hatások nélkül zavartalan áramlásra jellemző formát mutat. Az erdő akadályt képez, így a beleütköző levegő az addigi áramlási formája megváltoztatja. Az erdő szél felőli oldalán megfigyelhető, hogy a szél erősség nagyságától, az erdő sűrűségétől és a domborzattól függően a szél átfújja annak szélét. Ha a szél az erdő szélére merőlegesen fúj, mindig nagyobb mértékben fújja át, mint ferde szélirány esetén. Az erdő széllel ellentétes oldalán egy árnyékszóna kialakulása figyelhető meg (12. ábra). Ennek nagysága több tényező függvénye, de általánosságban az erdő magasságának 6-10 – szerese. A zóna mögötti területen a szél sebessége ugyanolyan, mint amilyen a zóna előtt volt. [28].



12. ábra: Mechanikus turbulencia.
Forrás: Szerző.

A fentiekén kívül a domborzat, a rajta elhelyezkedő tárgyak, a növényzet, a kiterjedt tüzek hatása, valamint egyéb tényezők is a zavartalan áramlást örvénylő mozgásra kényszerítik. Ez az ún. turbulencia, amelynek kedvezőtlen hatása van a hatékonyság érdekében alacsonyan repülő légi eszközök alkalmazására. Az erdő koronaszintjének

egyenetlensége, az áttörések, irtások és az erdő szélé a légmozgást vízszintes tengelyű örvénylő mozgásra készíti. Ez a mechanikus turbulencia, amely földközeli magasságon veszélyt jelenthet a repülésre, de a viszonylag kiszámítható jelenléte és a nem túl erős áramlási viszonyai rendszerint kezelhetővé teszi a pilóta számára.

A tűz hatása a légmozgásra – termikus turbulencia

A függőleges hőmérséklet különbség hatására a felfelé áramló levegő csavarvonalú, örvénylő mozgással emelkedik a magasba. Az áramlás sebessége a hőmérsékletkülönbség

függvénye. A termikus turbulencia belső energiájának becslése nagyon nehéz. Általában nagyon dinamikus, gyors irányváltásokra képes és kiszámíthatatlan. A belső igen intenzív feláramlásokat ugyanolyan intenzív leáramlások kísérhetik.

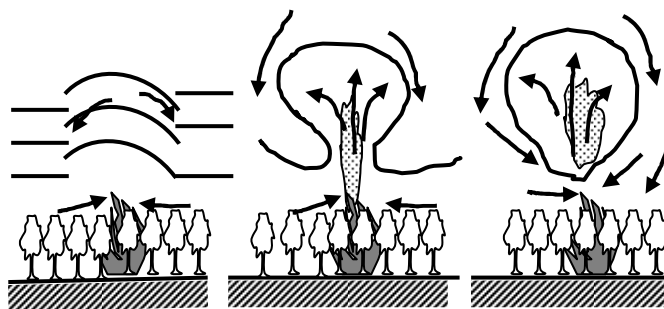
Az igen intenzív fel- és leáramlások között ún. szélnyírások alakulhatnak ki. Ez a repülésre különösen veszélyes. A fel- és leáramlások kialakult és nyomon követhető formáit mind a célra való rárepülés, mind az attól való elrepülés során kerülni kell. Az intenzív áramlás egyetlen előnye, hogy a meleg levegővel együtt a füstöt is elszállítja. Így egyrészt a tűz pontos helye, a célterület láthatóvá válik, másrészt az elszállított füst javítja a látótávolságot.

A mechanikus és termikus turbulencia

Erdőtüzek esetén a turbulenciák fent vázolt formái többnyire nem tisztán jelennek meg. A szél és az égés hatására a kettő keveredése, különböző zónákra oszlása követhető nyomon. A turbulens légáramlatok folyamatos sztochasztikus mozgásának következtében a földközeli végrehajtott bevetések kockázatosabbá válhatnak, aminek csökkentésére a megfelelő tapasztalat és körültekintő feladat végrehajtás nyújthat segítséget.

Buborék

Szélcsendes időben, ha erdőtűz keletkezik, a kialakuló légáramlás egy sajátos formájával lehet találkozni. A tűz fölött intenzíven melegedő levegő buborék formává



13. ábra. A buborék kialakulásának fázisai.

Forrás: Vlaszák.

válí és a talajtól elszakadva emelkedik a magasba anélkül, hogy folyamatos áramlási viszonyok alakulnának ki.

Az elszakadt buborék helyére beáramló hidegebb levegő viszonylag gyorsan szintén felmelegszik és ugyanúgy elszakad.

Ez a folyamat gyorsan, pulzálva játszódik le. Az induló buborék a gőzmozdony pöfékelő füstjére emlékeztet. A pulzáló buborék veszélyessége a hirtelen kialakulásában és megszűnésében van: az egyik állapotban a kialakult tűz kedvező megközelítési és oltási feltételeket biztosít repüléstechnikai nehézség nélkül, míg a másik esetben a még el nem távozott füst a tűz helyét sem teszi láthatóvá. A buborék kialakulására és repülésre veszélyes jellegére először az ágasegyházi légi tűzoltás során figyeltek fel [77].

2.4 A légi tűzoltás gazdaságossági vizsgálatának alapjai

A repülőgépek és helikopterek alkalmazásának költségei köztudomásúan nagyságrendekkel nagyobbak, mint a hagyományos eszközöké. Így elkerülhetetlennek tartom, hogy felhasználásuk feltételeit gazdaságossági szempontú megközelítéssel is megvizsgáljam. Értekezésemben - eddig még nem alkalmazott módszertannal - általános elveket megfogalmazó gazdaságossági kritériumok meghatározását tűzöm ki célul.

2.4.1 Veszteségek és költségek

A gazdaságosság elsődleges kritériuma, hogy a tűzoltás során felhasznált élőerő, eszköz és anyagok költségei -, vagyis a ráfordítás – kisebbek legyenek, mint a nemzetgazdasági szinten vett megmentett érték. Ellenkező esetben, csak gazdaságossági értelemben az oltás ráfizetéses. Megállapítható, hogy a gazdaságosság figyelembevétele elemi szinten már megjelenik a Tűzoltási Szabályzat 32.4 bekezdésében is. Ennek értelmében a tűzoltásvezető kötelessége azokban az esetekben, ha a keletkezett tűznek nemzetgazdasági szempontból nincs jelentősége vagy eloltása a megmentett értékkel nem jár, dönteni – a gazdasági (erő-, eszköz-, oltóanyag felhasználás) és környezetvédelmi szempontok figyelembevételével – a tűz oltásáról vagy a teljes elégés felügyeletéről úgy, hogy a tűzesettel összefüggésben járulékos kár ne keletkezzen. Az egyéb tűzoltási tevékenységek részletesebb gazdaságossági elemzésétől eltekintve, az erdőtüzek esetében a következő veszteségek értelmezhetők [42]:

Közvetlen megsemmisült érték: Az erdőállomány, - főként az élőfa készlet, - mint a gazdálkodás tárgya pénzben kifejezhető értékkel bír, ami függ az egységnyi területen lévő faállomány összetételétől és korától, mennyiségétől.

A kiesett fa értéke: Az erdőfelújítás után bizonyos idővel (kb. 10 év) az erdő fejlődésének üteme azonosnak vehető a leégett erdőállomány fejlődési ütemével. Az addig ki nem termelhető állomány kárként jelentkezik.

Közvetett kár: Idetartozik az újratelepítéshez történő talaj előkészítés, ami a leégett állomány kitermelési költségét is magába foglalja.

Eszmei kár: Az elpusztult erdők eszmei értékét megállapítani és pénzben kifejezni nagyon nehéz, igazából lehetetlen. A nemzetközi gyakorlat a pusztulás materiális értékének 10 – 20 szorosát tekinti eszmei kárnak [38].

Az oltás során a következő költségek jelentkeznek:

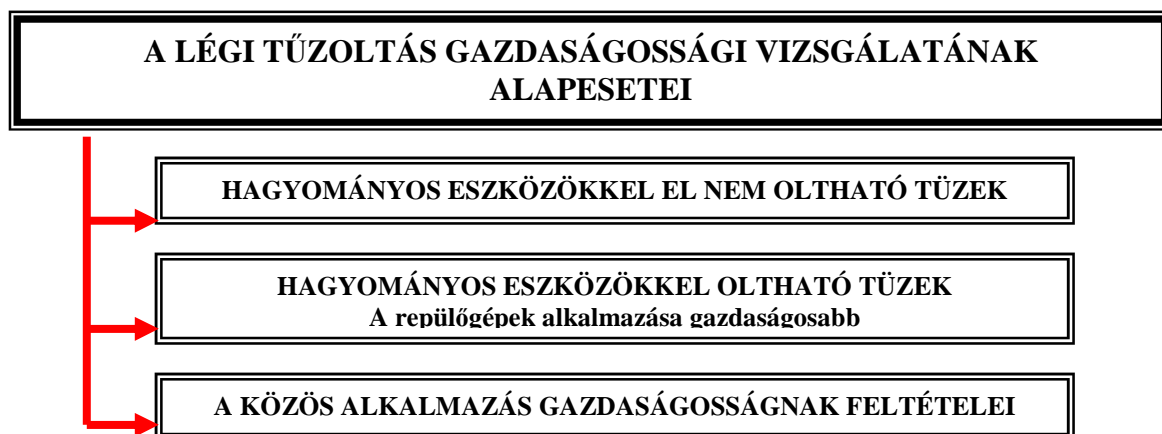
- az előerő költsége;
- az eszközök működési költsége;
- az eszközök amortizációja;
- az oltóanyag költsége;
- egyéb költségek.

Amennyiben akár felderítésre, akár légi tűzoltásra repülőgépek alkalmazására kerül sor, úgy azok összes költsége szintén az oltás költségeit növeli.

A továbbiakban a légi tűzoltás költséghatékonyságának elvi alapjait fogalmazom meg. A fenti általánosságokon túllépve a gazdaságosság kritériumait a következőkben részletezettek alapján értelmezem:

2.4.2 A gazdaságosság vizsgálatának alapesetei

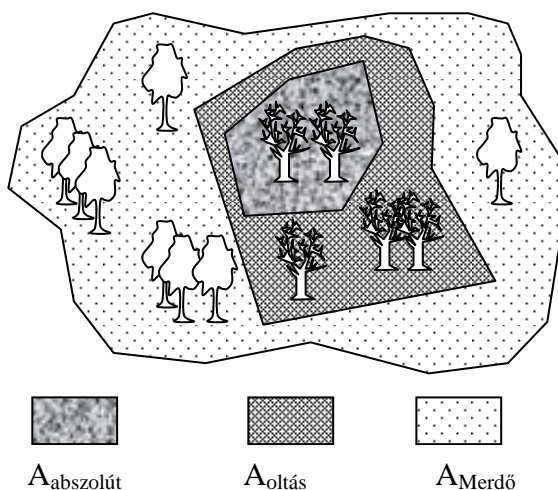
Az alapesetek felállítása és vizsgálata során azonos kezdeti feltételeket állítok, azaz a tűz szabad terjedésének ideje alatt leégett terület minden esetben azonos, így az oltás megkezdésének idejéig keletkező terület elkerülhetetlennek veszem ($A_{\text{abszolút}}$), melynek „K” kárértéke így abszolút értelmű ($K_{\text{abszolút}}$). A megmentett ($A_{\text{Merdő}}$) és az oltás során leégett erdő ($A_{\text{Kerdő}}$) területe a beavatkozás hatékonyságától függően változik. A megmentett erdő értékét „ $M_{\text{erdő}}$ ”, míg az oltás ideje alatt keletkező kárértéket „ $K_{\text{oltás}}$ ” szimbólumokkal jelölöm. A gazdaságosság megállapításánál ez utóbbiakat, valamint a hagyományos eszközök, vagy repülőgépek oltási költségeit (ΣC_x), valamint a hozzájuk tartozó kárértékek (K_x) arányát kell figyelembe venni.



14. ábra. A légi tűzoltás gazdaságossági vizsgálatának alapesetei. Forrás: Szerző.

2.4.3 Hagyományos eszközökkel el nem oltható erdőtüzek

Ennél az esetnél olyan terület vizsgálók, amelyet a hagyományos földi eszközök nem, vagy csak a kárértéket meghaladó összegű logisztikai támogatással érhetnek el. Ebbe a kategóriába sorolom a nagy kiterjedésű, erősen tagolt hegyvidékeket, vagy a nagyon laza, homokos talajú területeket. Magyarországon az Alföld egyes részei tartoznak ide. A tűz itt szabadon terjed mindaddig, amíg természetes akadályba (folyó, sziklás rész, véget ér az erdő, stb.) nem ütközik, vagy az időjárás megváltozása, esőzés gátat nem szab a terjedésnek.



15. számú ábra. A megmentett erdő és a leégett terület. Forrás: szerző.

Ebben az esetben a formális logika szélső értéket feltételezem, azt, hogy légi eszközök alkalmazása nélkül a teljes erdőállomány megsemmisül.

A légi eszközök alkalmazásának gazdaságossági kritériuma itt csupán annyi, hogy a megmentett érték (az erdőállomány pénzben kifejezhető értéke: $M_{\text{erdő}}$) nagyobb legyen, mint a légi eszközök bevetésével járó összes költség ($\sum C_{RG}$), függetlenül az oltás ideje alatt megsemmisülő erdő értékétől ($K_{\text{oltás}}$).

$$M_{\text{erdő}} > \sum C_{RG} \quad (2.1)$$

Ez az egyszerű számvetés leginkább a külföldi gyakorlatban kap értelmezést, ahol országrésznyi összefüggő erdős területek találhatóak (pl. Egyesült Államok, Kanada, Oroszország, Ausztrália) és nincs figyelembe vehető alternatívája az egyéb oltási lehetőségnek.

2.4.4 Hagyományos eszközökkel oltható tüzek

Meghatározásánál azokat a feltételeket keresem, ahol azonos hatékonyság mellett a légi eszközök költségei már alacsonyabbak a hagyományos eszközök költségeitől. A probléma az, hogy a repülőgépek, de még inkább a helikopterek üzemórájának költsége (C_{RG}) köztudomásúan nagyságrenddel nagyobbak, mint egy fecskendőé (C_{Fecs}), vagy egy vízszállítóé ($C_{\text{Vízsz}}$), de a hatékonyság tekintetében ugyanez a különbség-arány csak meghatározott körülmények között érvényesül.

A fenti körülmények meghatározására fajlagos költségeket hasonlítom össze úgy, hogy a két eszköznek az oltási hatékonysága közötti különbségét nem veszem figyelembe. A „ C_{Fecs} ” fecskendő egy üzemórájának költségével „ Q_{Fecs} ” meghatározott mennyiségű oltóanyagot lehet „ L_{Fecs} ” távolságra eljuttatni. A légi tűzoltást végző „ C_{RG} ” repülőgép egy üzemórájának költségére vonatkoztatva ez „ Q_{RG} ” mennyiségű oltóanyagot jelent „ L_{RG} ” távolságra történő eljuttatással. A vizsgálat során azt keresem, hogy a fajlagos költségek hol válnak azonossá, illetve kedvezőbbé a repülőgépek alkalmazásával. Az egyenlőtlenség felírását a következőképp adom meg:

$$\frac{C_{Fecs}}{Q_{Fecs} L_{Fecs}} \geq \frac{C_{RG}}{Q_{RG} L_{RG}} \quad (2.2)$$

A költségek arányának meghatározása:

$$\frac{C_{RG}}{C_{Fecs}} = k \quad (2.3)$$

A repülőgép költsége a (2.3) képlet alapján a fecskendőével kifejezve:

$$C_{RG} = kC_{Fecs} \quad (2.4)$$

A (2.2) képletbe behelyettesítve a (2.4) egyenlőséget:

$$\frac{C_{Fecs}}{Q_{Fecs} L_{Fecs}} \geq \frac{kC_{Fecs}}{Q_{RG} L_{RG}} \quad (2.5)$$

A (2.5) egyszerűsítésével kapott forma:

$$\frac{1}{Q_{Fecs} L_{Fecs}} \geq \frac{k}{Q_{RG} L_{RG}} \quad (2.6)$$

A (2.6) képlet értelmezése alapján a következő megállapításokat teszem: Azonos távolság esetén a (2.6) egyenlőtlenség akkor áll fenn, ha a légi jármű legalább annyi oltóanyagot szállít, mint a költségarányal szorzott fecskendő általi mennyiség:

$$L_{RG} = L_{Fecs} ; \quad Q_{RG} \geq kQ_{Fecs} \quad (2.7)$$

Azonos szállított mennyiség esetén a (2.6) egyenlőtlenség akkor áll fenn, ha a légi jármű legalább olyan messzire képes azt szállítani, mint a költségarányal szorzott fecskendő általi távolság:

$$Q_{RG} = Q_{Fecs} ; \quad L_{RG} \geq kL_{Fecs} \quad (2.8)$$

A fentieket egy példa alapján²⁷ 1:10 költségarányú esetre értelmezve: a légi jármű alkalmazása akkor lesz legalább olyan hatékony, mint a fecskendő, ha a költségarányból adódóan ugyanannyi idő alatt ugyanolyan távolságra legalább tízszer annyi vizet képes szállítani, vagy ugyanazt a vízmennyiséget tízszer olyan távolságra képes eljuttatni.

Mivel a távolság értéke a sebesség és idő szorzatából adódik, a példában pedig egységnyi idővel számoltam, így a (2.8) képletben a távolság a sebesség értékeivel (v_x) helyettesíthető:

$$Q_{RG} = Q_{Fecs} ; \quad v_{RG} \geq kv_{Fecs} \quad (2.9)$$

A (2.3) költség-arányhoz hasonlóan a szállítható oltóanyag mennyiség (m) és szállítási távolság (n), illetve a (2.9) felhasználásával a sebesség arányai(n) is felírhatók. A (2.4) segítségével felírt (2.5) mintájára meghatározom a (2.2) általános alakját:

$$\frac{C_{Fecs}}{Q_{Fecs} L_{Fecs}} \geq \frac{kC_{Fecs}}{mQ_{Fecs} nL_{Fecs}} \quad (2.10)$$

Bármely két arányszám ismeretében a harmadik számítható, amely a légi járművek hatékonyabb alkalmazásának feltételét mutatja. Könnyen belátható, hogy olyannyira nagyok a költségek közötti különbségek, hogy a repülő eszközök pusztán ilyen értelmű gazdaságossági vizsgálat esetén hatékonyságban könnyen alul maradnak.

A költség-arányt 1:10 értéknek, a helikopter maximális sebességét külső függesztménnyel $V_{HELmax} = 160 \text{ kmh}^{-1}$ -nak, a szállított oltóanyag mennyiségét azonosnak feltételezve ($Q_{MI-8T} = Q_{Fecs} = 2\text{m}^3$)²⁸ a helikopter alkalmazása akkor gazdaságosabb, ha a fecskendő átlagsebessége ugyanazon a távolságon nem éri el a 16 kmh^{-1} - t. Ez tartós emelkedőn (hegyvidéki erdei út), vagy homokos talajon elképzelhető, de magyarországi viszonyok esetében korlátozottan vehető figyelembe. A fecskendő helyett vízszállítót értelmezve és négyszeres vízmennyiséget számítva az arányok még inkább romlanak, hiszen a gazdaságosság határa a vízszállító 4 kmh^{-1} sebességénél jelentkezik. Ilyenkor a hagyományos eszközök tartós alkalmazásának előnye taktikailag sem értelmezhető, így a gazdaságossági számítás is értelmét veszti.

A fentiek alapján megállapítom, hogy hazai viszonyok között, a repülőgépekkel a hagyományos eszközök kiváltása pusztán gazdaságossági szempontból csak erős megszorításokkal érhető el.

²⁷ Tűzoltó jármű 50 ezer Ft/óra, repülőgép 500 ezer Ft/óra költséggel számolva.

²⁸ Mi-8T esetében Bambi Bucket külső függesztmény alkalmazásával.

2.4.5 A közös alkalmazás gazdaságosságának feltételei - komplex összehasonlító elemzés

A gazdaságosság helyes megítéléséhez komplex összehasonlító elemzés szükséges, amelyet a következő feltételezéssel vizsgálók: Az oltás megkezdésének pillanatáig - a szabad terjedés ideje alatt – keletkezett kár abszolút jellegű, az a tűzoltási tevékenységtől teljesen függetlenül keletkezett. Az oltás megkezdése után a tűzoltásvezető vagy csak hagyományos eszközöket alkalmaz, vagy igénybe veszi a repülőgépek segítségét is.

A hagyományos eszközökkel való oltás gazdaságossági elemzése

Amennyiben a tűzoltásvezető a légi eszközök igénybevétele nélkül a hagyományos eszközökkel meghatározott „ t_1 ” idő alatt meghatározott „ A_1 ” terület leégése után tudta a tüzet eloltani, az összes kárérték és költség a következőkből tevődik össze:

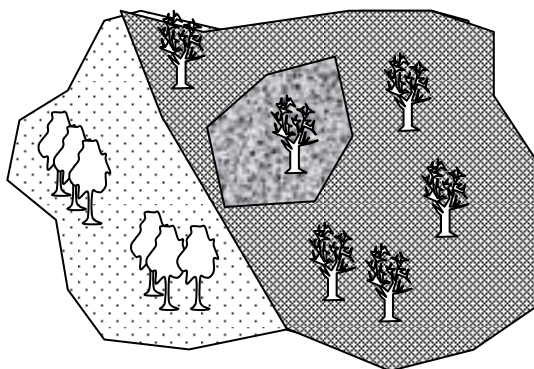
$$K_{abszolút} + K_{oltás1} + \Sigma C_{HEO1} = \Sigma K_{\Sigma 1} \quad (2.11)$$

- $K_{abszolút}$ - kárérték, az oltás megkezdéséig megsemmisült erdő értéke,
 $K_{oltás1}$ - kárérték, az oltás ideje alatt megsemmisült erdő értéke,
 ΣC_{HEO1} - költség, a hagyományos eszközökkel való oltás valamennyi költsége,
 $\Sigma K_{\Sigma 1}$ - kárértékek és költségek összege az oltás során.

A megmentett érték felírása ebben az esetben:

$$M_{erdő1} = \Sigma M_{erdő} - (K_{abszolút} + K_{oltás1}) \quad (2.12)$$

- $M_{erdő1}$ - a teljes erdőterületből megmentett érték,
 $\Sigma M_{erdő}$ - a teljes erdőterület értéke.



16. ábra. A megmentett erdő és a leégett terület hagyományos eszközökkel történő oltáskor. Forrás: Szerző.

A gazdaságosság feltételeként itt teljesülnie kell a következő egyenlőtlenségnek.

$$\Sigma C_{HFO1} < M_{erdő1} \quad (2.13)$$

vagyis:

$$\Sigma C_{HEO1} < \Sigma M_{erdő} - (K_{abszolút} + K_{oltás1}) \quad (2.14)$$

Az egyenlőtlenség fennállásáig a hagyományos eszközökkel való oltás gazdaságossági feltételei teljesülnek.

A közös alkalmazás gazdaságossági elemzése

A tűzoltásvezető a gyakorlatban nem azonnal, de az oltás megkezdése után nem sokkal intézkedik a légi tűzoltás elrendeléséről. Ebben az esetben a „ t_2 ” oltási idő várhatóan csökken - ami konstans tűzterjedési sebességet feltételezve – kisebb „ A_2 ” leégett területet eredményez. Ebben az esetben a kárértéket és költséget a következőképpen adom meg:

$$t_2 < t_1 \text{ és } A_2 < A_1 \quad (2.15)$$

$$K_{abszolút} + K_{oltás2} + \Sigma C_{HEO2} + \Sigma C_{RG2} = \Sigma K_{\Sigma2} \quad (2.16)$$

$K_{oltás2}$ - kárérték, a leégett terület értéke közös alkalmazás esetén,

ΣC_{HEO2} - költség, a hagyományos eszközökkel történő oltás összes költsége közös alkalmazása esetén,

ΣC_{RG2} - költség, a repülőgépes oltás összes költsége közös alkalmazás esetén,

$\Sigma K_{\Sigma2}$ - kárértékek és költségek összege közös alkalmazás esetén.

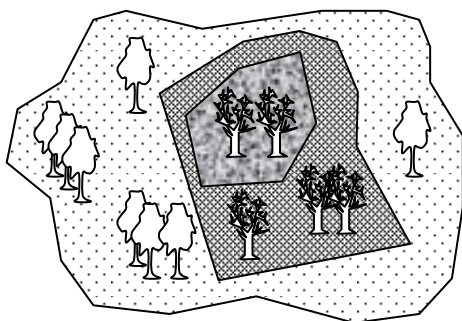
A megmentett érték felírása a fenti esetben:

$$M_{erdő2} = \Sigma M_{erdő} - (K_{abszolút} + K_{oltás2}) \quad (2.17)$$

$M_{erdő2}$ - a teljes erdőterületből megmentett érték, közös alkalmazás esetén,

$K_{oltás2}$ - kárérték, az oltás ideje alatt megsemmisült erdő értéke közös alkalmazás esetén.

A gazdaságosság feltételeként teljesülnie kell annak, hogy a hagyományos eszközök és repülőgépek közös alkalmazásának a költségei kisebbek legyenek, mint közös alkalmazás esetén a teljes erdőterületből megmentett érték.



17. ábra. A leégett terület csökkenése hagyományos és repülőgépes oltás közös alkalmazása esetén.

Forrás: Szerző.

$$\Sigma C_{HEO2} + \Sigma C_{RG2} < M_{erdő2} \quad (2.18)$$

vagyis:

$$\Sigma C_{HEO2} + \Sigma C_{RG2} < \Sigma M_{erdő} - (K_{abszolút} + K_{oltás2}) \quad (2.19)$$

Az egyenlőtlenség fennállásáig a közös alkalmazással történő oltás gazdaságossági feltételei teljesülnek.

2.4.6 Összehasonlító elemzés

A fentiek alapján a következőket értelmezem:

1) A tűz oltásának megkezdéséig keletkezett kár mindkét esetben azonos, vagyis állandó:

$$K_{abszolút} = \text{állandó} \quad (2.20)$$

2) A hagyományos eszközökkel történő oltás költsége a légi eszközök alkalmazása esetén csökken:

$$C_{HEO2} < C_{HOE1} \quad (2.21)$$

3) A leégett erdő értéke is csökken, ha légi eszközök alkalmazására kerül sor:

$$K_{oltás2} < K_{oltás1} \quad (2.22)$$

A fentiekből következtetem:

1) Az leégett területek különbségéből adódó kárérték különbség ($\Delta K_{oltás}$):

$$\Delta K_{oltás} = K_{oltás1} - K_{oltás2} \quad (2.23)$$

2) Az oltási idő csökkenéséből következik, hogy a hagyományos eszközök használati ideje is csökken, ami szintén költségcsökkenést (ΔC_{HFO}) eredményez:

$$\Delta C_{HEO} = C_{HEO1} - C_{HEO2} \quad (2.24)$$

Az összes költséget figyelembe véve a különbségek a következőképp adódnak:

$$\Delta \Sigma K_{\Sigma} = \Sigma K_{\Sigma 1} - \Sigma K_{\Sigma 2} \quad (2.25)$$

$$\Delta \Sigma K_{\Sigma} = \Delta K_{oltás} + \Delta C_{HEO} - \Sigma C_{RG} \quad (2.26)$$

$$\Sigma C_{RG} < \Delta K_{oltás} + \Delta C_{HEO} \quad (2.27)$$

A fentiek alapján bizonyítom, hogy a gazdaságosság kritériuma repülőgépes tűzoltás alkalmazása esetén akkor valósul meg, ha a légi eszközök igénybevételének összes költsége kevesebb, mint a leégett erdőterület értékének csökkenéséből és a hagyományos eszközök igénybevételi idejének csökkenéséből eredő költségmegtakarítás értéke.

$$0 < (\Delta K_{oltás} + \Delta C_{HEO}) - \Sigma C_{RG} \quad (2.28)$$

A gazdaságosság feltétele mindaddig érvényesül, amíg a (2.28) egyenlőtlenség fennáll.

2.5 A fejezet eredményeinek összegzése

A fejezetben a légi támogatás feltételrendszerét vizsgáltam, amelynek során elsőként áttekintést adtam a repülőgépekkel és helikopterekkel végrehajtható feladatokról. A kutatásaim során a légi tűzoltáson kívül a légi támogatás fogalmkörébe soroltam a légi felderítés, a logisztikai támogatás és a légi irányítás lehetőségeit is. A felderítés fogalmát logikailag a tűzmentes időszak figyelésének idejére is kiterjesztettem, így az magában foglalja az erdőtüzek észlelésére, detektálására vonatkozó felderítést, a tűzoltás megkezdése előtti felderítést, a tűzoltás során a folyamatos információszerzést, valamint az utómunkálatok keretében történő megfigyelés biztosítását. A légi irányítás fogalmát a repülőgépek repüléseinek koordinálására, valamint a földi eszközök tevékenységének levegőből történő irányítására értelmeztem. Az utóbbi elősegítése érdekében javaslatot tettem az erdőtüzeknél alkalmazott földi eszközök levegőből azonosítható jelölésének bevezetésére. A logisztikai támogatás feladatai közé sorolva javasoltam, hogy mentési feladatokra speciálisan kiképzett állomány alkalmazásának feltételei kerüljenek kidolgozásra, amely állomány különleges helyzetek magas kockázata esetén álljon készenlétben.

Rendszerezve áttekintettem a nemzetközi gyakorlatban tűzoltásra alkalmas repülőgépeket és helikoptereket, valamint az oltóanyag kibocsátásának eszközeit, kiemelve a hazai viszonyok között már alkalmazott eszközparkot. Javaslatot tettem a belső tartályok Mi-8T és Mi-17 típusú helikoptereknél történő alkalmazási lehetőségének vizsgálatára és bevezetésére.

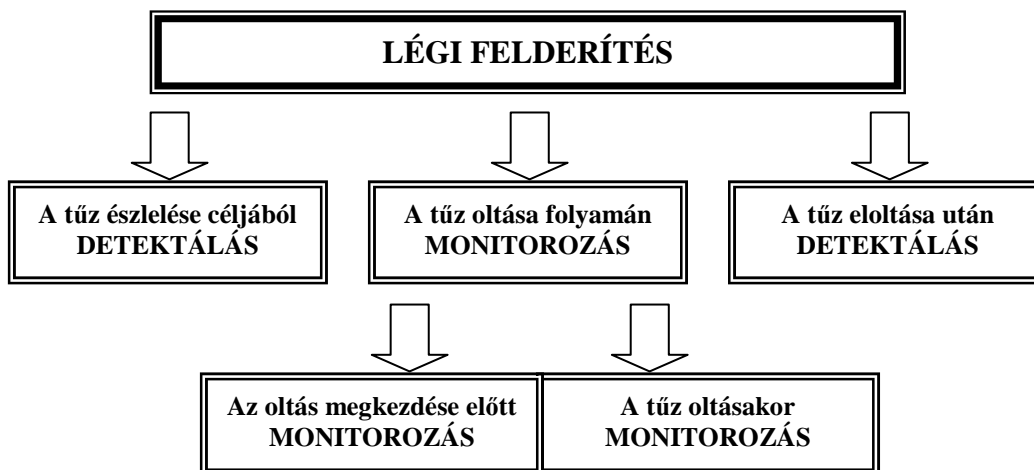
Megvizsgáltam a légi tűzoltás során általánosan használt oltóanyagokat, bemutatva azok oltóhatásait. Az oltás hatékonyságának növelését keresve rámutattam a sűrített levegős habbal oltási eljárás, valamint a robbantó oltókészülék alkalmazásának lehetőségére, javaslatot tettem azok vizsgálatára és bevezetésére.

A repülés biztonságának alapvető feltételeként a repülési meteorológia és a mikrometeorológia erdőtüzek légi tűzoltását befolyásoló kapcsolatát tártam fel.

A hatékonyság nemzetgazdasági szempontból való bizonyításának elősegítéséhez általános elveket megfogalmazó gazdaságossági kritériumok meghatározását tűztem ki célul. Meghatároztam a hagyományos eszközökkel el nem oltató, és az oltható tüzek, valamint komplex összehasonlító elemzés keretében a közös alkalmazás gazdaságossági feltételeit.

3 LÉGI FELDERÍTÉS

A 2.1.1 fejezetekben meghatároztam, hogy a légi felderítés fogalmkörébe beletartozik a tűzjelzést megelőző, a tűz mielőbbi észlelését, detektálását célzó aktív észlelés; a tűzoltás megkezdése előtti, a hatékony beavatkozást információkkal segítő felderítés; a tűzoltás folyamata során a tűz alakulásának állandó nyomon követése, monitorozása; valamint a tűz támadó jellegű oltását követő utómunkálatok közbeni, a parázsló részek utáni kutatás, a visszagyulladás megelőzését szolgáló információszerzés.



18. ábra. A légi felderítés lehetőségei a tűzoltás támogatása során. Forrás: Szerző.

Időrendi logika alapján az aktív észlelést szolgáló, a tüzek mielőbbi detektálását biztosító felderítés elemzését kellene elvégeznem, azonban a tűzoltás során végzett felderítés vizsgálatának eredményei alapján igazolom az előbbi létjogosultságát. Ezért nem követem az időrendi logika sorrendjét.

3.1 Légi felderítés a tűzoltás során

A légi felderítés tűzoltás során történő vizsgálatához, hatékonyságának igazolásához a következő hipotéziseket állítom föl:

1. A légi felderítés a beavatkozást végzők szempontjából előnyös, igénybevételével a tüzet szakszerűen és gyorsabban el lehet oltani. Az alkalmazás szakmai szempontból hatékony.
2. A légi felderítés hatékonysága gazdaságossági alapon is bizonyítható. Az alkalmazás nemzetgazdasági szempontból hatékony.
3. A légi felderítés költségei a szakszerűség feltételeinek teljesülése mellett is csökkenthetők. A szűkös források felhasználása hatékony.

3.1.1 A légi felderítés szakmai szempontból hatékony

A fenti hipotézist az erdőtűz felderítése során felmerült problémák, azok megoldási lehetőségeinek és az eddigi felderítő repülések tapasztalatainak számba vétele útján bizonyítom. A hipotézis teljesülése a hatékonyság feltételének szakmai szempontból történő teljesülését jelenti, vagyis egyéb körülményektől függetlenül, igen–nem válasszal eldöntendő, abszolút értelmű bizonyítás.

A pontos felderítés általánosan is a szakszerű beavatkozás követelménye, de az erdőtüzeknél ez különös szerepet kap. A földi beavatkozó állomány a tűz nagy kiterjedése miatt nem látja át az egész területet, így korlátozott a pontos felderítésben. A terület teljes áttekintésére, a valós és a várható helyzet megítélésére a nagyobb magasságból történő megfigyelés²⁹ és a légi felderítés³⁰ lehetőségét a Tűzoltási Szabályzat értelmében is célszerű kihasználni.

A domborzati és terepviszonyok, valamint a füstképződés és esetenként a völgyekben megülő füst is korlátozza a felderítést. Tovább nehezíti a kialakult helyzet megítélését a tűzoltást végzők független jelentései. Az egymástól távoli beavatkozók különböző paraméterekkel jellemezhető frontvonalat oltanak, így az arról tett jelentéseiket a saját helyzetük szubjektív megítélése alapján teszik. Ez által a tűz helyzetéről, alakulásáról szerzett információk nem a valós képet adják, a szubjektív jelentések egymáshoz viszonyított arányai eltorzítják azt. A fentiek különösen hangsúlyosak, ha a tűz oltását magasabb riasztási fokozat elrendelésével végezzük és a helyszínre segítségül érkező erők helyismerete nem megfelelő, az irányító személyek tapasztalatai eltérők, stb...A probléma a terület egészének átlátásával oldható fel, gyakran egy magaslati pontról történő irányítással. A nagyobb magasság, a rálátás kedvezőbb szöge lehetővé teszi, hogy teljes, átfogó képet kapjunk az erdőtűz jelenlegi helyzetéről és várható alakulásáról.

Az erők és eszközök koncentrálása célszerűen a legveszélyeztetettebb objektumok védelme, illetve legintenzívebben égő területek megfékezése érdekében történik. Azonban a tűz intenzitásának mértéke az idő függvényében akár jelentősen is módosulhat. Ezt a vegetáció típusának, az adott terület tűzterhelésének változása, természetes akadályok befolyásolhatják. Az adott pillanatban intenzív terjedés később lelassulhat és fordítva, a csekély terjedésű frontvonal égése magasabb tűzterhelésű terület elérésekor intenzívebbé, terjedése gyorsabbá válhat.

²⁹ Tűzoltási Szabályzat 347. pontja

³⁰ Tűzoltási Szabályzat 338. pontja

A fentiek következménye, hogy az erdőtüzek hatékony oltása nem csak a jelenleg égő frontvonalak szakszerű oltását követeli meg, hanem a jövőben várható frontvonalakhoz igazított oltási helyek megválasztását is.



13. kép. A légi felderítés során a fedélzeten lévőkhöz és a tűz frontvonalát oltók által látható képek összehasonlítása. Forrás: Internet.

A légi felderítés nem csak a statikus helyzet felmérésére és megítélésére alkalmazható, hanem meghatározott időszakonként végrehajtott útvonalrepüléssel a tűz terjedési irányának és sebességének pontos meghatározására is lehetőséget biztosít. Ez lehetővé teszi az erők és eszközök célszerű összevonását és a beavatkozás helyének szakszerű, taktikailag optimális megválasztását.

Az erdőtüzekre jellemző erős helyi feláramlások (konvenció) következtében kialakuló ún. röptüzek mielőbbi felderítése jelentős előnyökkel jár³¹. A földi megfigyelők látókörén kívül eső, - még jelentős területen nem égő és nem füstölő - tüzek időbeni eloltása a későbbiekben erők, eszközök tartós lekötését takaríthatja meg. A tűzvonal mögött kialakuló újabb tűzfészkek nem csak a tűz frontvonalainak számát, hosszát növeli, de időben nem észlelve veszélyt jelent a beavatkozó állomány biztonságára is.

Saját tapasztalataim³² alapján az éjszakai felderítésnél előnyt jelent a parázsló tűzvonal könnyebb láthatósága. Az élesebb kontúr megjelenése a rejtettebb tűzvonal felderítését is biztosítja. Az éjszakai repüléseknél hátrány viszont, hogy a biztonsági előírások szigorodnak, így csak megfelelő magasságokon lehet a repülést végrehajtani. Az éjszakai kontúr megjelenése elősegíti, míg a nagyobb magasság pontatlanabbá teheti a felderítést. A sötétben világító parázsló tűzvonal kedvezőbb láthatósága azonban

³¹ A röptüzek kialakulásának kockázata a koronatüzzel égő erdő esetén különösen magas.

³² 1988 – 1993 évek között 700 órát repültem Mi –8T és Mi –2 típusú helikopterekkel. Az éjszakai repülések során számtalan alkalommal láttam kiterjedt tüzek frontvonalát.

megnehezíti a vizuális tájékozódást, ami a tűzvonal térképpel történő pontos összevetését esetleg lehetetlenné is teheti.

A légi felderítést lehet a légi tűzoltással egyidejűleg és attól külön is végezni. A légi felderítés akkor is képes hatékonyan támogatni a beavatkozást, ha a tűz oltása csupán a földi erőkkel és eszközökkel valósul meg. Amennyiben a tűz oltása repülőgépek segítségével történik, úgy a légi felderítés lehetősége folyamatosan adott.

Magyarországon számos példát találunk a légi felderítés alkalmazására³³. A nagy károkkal járó, kiterjedtebb erdőtüzek során újra és újra bevetésre kerültek e célból légi járművek, így hatékonyságukat a rendszeres alkalmazás útján a gyakorlat igazolja! A nagyobb erdőtüzekről készült tanulmányok³⁴ megerősítik a légi felderítés szükségességét és alkalmazásának hatékonyságát.

A fentiek alapján a következtetésem:

1. Az erdőtüzek szakszerű oltása megköveteli nem csak a pillanatnyilag égő frontvonalak oltását, hanem az égő területek környezetével együtt történő kezelését is.
2. A terület egyidejű átlátásával mind nappal, mind éjszaka szakszerűen megítélhető a jelenlegi helyzet és annak várható alakulása.
3. A légi felderítés lehetőségét a tűzoltóságok nagyobb erdőtüzek oltásánál rendszeresen igénybe veszik.

Megállapítom, hogy a légi felderítés segítségével az erdőtűz oltása gyorsabban és szakszerűbben elvégezhető, mint nélküle, így alkalmazása indokolt, abszolút értelemben hatékony.

Az alkalmazás legfőbb korlátozó tényezője nyilvánvalóan a repülőgépek igénybevételének magas költsége, ezért a fenti álláspont szakmailag védhető bár, de nemzetgazdasági szinten is bizonyítani szükséges a hatékonyságát. A költséghatékonyság feltételeinek teljesítéséhez a 2. számú hipotézis bizonyítása szükséges.

³³ Valamennyi alkalmazás számba vétele a vizsgálat célja érdekében indokolatlan. Példaként: 2005. április 8 –án Ukk község térségében, ahol 200 ha erdő égett, valamint Litér-Balatonfüzfő térségében, ahol 25 ha feketefenyő erdő égett az Országos Rendőrfőkapitányság készenléti helikopterének alkalmazására került sor.

³⁴ Tanulmány az ágasegyházi erdőtüztől. BM Katasztrófavédelmi Oktatási Központ. Könyvtár.

3.1.2 A légi felderítés nemzetgazdasági szinten hatékony

A hipotézist a légi felderítés költségeinek számbavételével és az alkalmazás várható előnyeivel bizonyítom. A hipotézis teljesülése a hatékonyság feltételének gazdaságossági szempontból történő teljesülését jelenti, vagyis a körülményektől függő, összehasonlítható értelmű bizonyítás.

A hatékonyság kérdésének vizsgálata során általában a befektetések megtérülését, a megtérülés idejét vesszük számba. Tűzoltás során is van értelme hatékonyságról beszélni, azonban annak magyarázata eltér a klasszikus értelmezéstől [55]. A tűzoltás és egyéb beavatkozások során a hatékonyság mérőszámát az objektíven nagyon sokszor csak nehezen mérhető megmentett érték nagysága, vagy a keletkezett kárérték minél kisebb értéke adja.

A légi felderítés segítségével az erdőtüzek oltása az 1. számú hipotézis bizonyításával szakszerűbben elvégezhető. Ez magában foglalja a helyzet komplex, objektív értékelésének lehetőségét és az annak alapján történő döntéshozatalt. A tűzoltásvezető így képes az erőket és eszközöket úgy koncentrálni, hogy a leégett erdő, a kárérték a lehető legkisebb, a megmentett terület pedig a lehető legnagyobb legyen. Ezzel várható, hogy az oltás gyorsabban elvégezhető és korábban befejezhető.

A fentiek magukban foglalják, hogy a légi felderítés nélküli és a légi felderítéssel végrehajtott tűzoltás eredményessége a kárérték, illetve a megmentett érték különbségben kimutatható. Amennyiben a gyorsabb, szakszerűbb oltás által a kárérték olyan mértékben csökken, illetve a megmentett érték olyan mértékben nő, amely legalább eléri, de inkább meghaladja a légi felderítés valamennyi költségét akkor a légi felderítés gazdaságossági szempontból is előnyös.

$$\Delta K_{\text{kárérték}} > \Sigma C_{\text{légi_felderítés}} \quad (3.1)$$

$$\Delta M_{\text{megmentett_érték}} > \Sigma C_{\text{légi_felderítés}} \quad (3.2)$$

$\Delta K_{\text{kárérték}}$ - kárérték különbség a légi felderítéssel és légi felderítés nélküli beavatkozások között,

$\Sigma C_{\text{légi_felderítés}}$ - a légi felderítés során felmerülő valamennyi költség,

$\Delta M_{\text{megmentett_érték}}$ - megmentett érték különbség a légi felderítéssel és légi felderítés nélküli beavatkozások között.

A gazdaságossági szempontból előnyös beavatkozás a nemzetgazdasági szintű hatékonyság feltételének teljesítését, bizonyítását jelenti.

Annak megítélése, hogy egy adott terület eloltásában az oltás sikerességét befolyásoló tényezők (helyes taktika, légi felderítés, időjárási viszonyok változása, stb) közül pontosan melyiknek mekkora volt a szerepe, objektíven megítélni nagyon nehéz, talán lehetetlen is. A sikerességet befolyásoló főbb tényezőket azonban a szakismeret, a többéves tűzoltói tapasztalat képes megbecsülni. A légi felderítés rendszeres igénybe vétele azonban a gyakorlati oldalról bizonyítja a módszer hatékonyságát.

A tűzoltóságoknak, a szakmai felügyeletet ellátó katasztrófavédelmi szervezeteknek nincs saját, vagy bérelt repülőgéjük. Így a légi felderítés lehetőségének megteremtése, repülőgép igénylése és a helyszínre repülése meglehetősen sokáig, akár órákig is eltarthat mindamelllett, hogy esetenként nincs is mód az igénybevételére. Ennek tudatában a tűzoltás irányítását végző személy csak akkor alkalmazza ezt a módszert, ha a szakmai tapasztalata a tűzoltás időtartamának jelentős elhúzódását sejteti. Az elhúzódó tűzoltás az égő terület növekedését, jelentős kárérték többletet jelent, így az igénybevételről történő döntéshozatal gazdaságossági szempontú megítéléséhez a hozzávetőleges becslés, akár jelentős hibaarányal is elegendő lehet.

3.1.3 A légi felderítés költségei jelentősen csökkenthetők

A légi felderítés költségeinek csökkentésére és így hatékonyságának növelésére olcsóbb üzemeltetésű légi járművek alkalmazásával lehet megfelelni [64] [20] [77]. Minél alacsonyabb az üzemeltetési költség, annál kisebb kárérték csökkenésnél, illetve megmentett érték növekedésnél teljesül a nemzetgazdasági szinten vett hatékonyság feltétele. Ez által a légi felderítés alkalmazásának lehetősége az egyre kisebb területű tüizeknél történő igénybevétel irányába mutat [53].

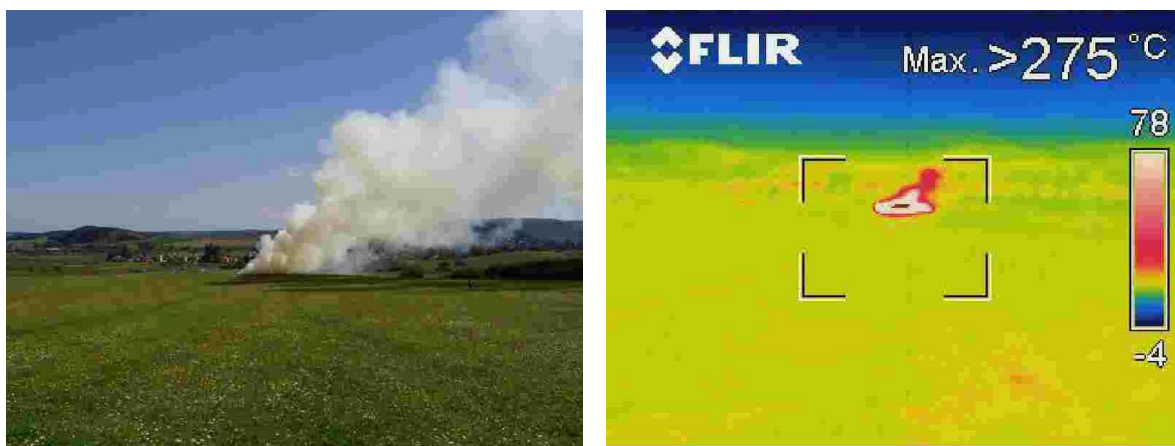
A légi felderítés költségeinek folyamatos csökkentésére irányuló törekvés a módszer hatékony alkalmazásának szélső értékét, minimumának teljesülését keresi. Azt a végpontot, ahol a módszer lehetőségei kimerülnek, előnyt tovább már nem jelentenek. A vizsgálat előnye, hogy a szakmai és gazdaságossági hatékonyság bizonyítása után a módszer már önmagában keresi a hatékonyság további növelésének lehetőségét, magában hordozva azt, hogy ezzel természetesen növeli az előző hatékonysági bizonyítások eredményességét is.

A légi felderítést a repülőgép pilótái, szakszemélyzete, szükség szerint a tűzoltás irányításába bevont személy végzi. A hatékonyabb felderítés céljából találunk példát a légi járműhöz rögzített kamerák alkalmazására is [3] [6] [78]. Ez kiegészítő információ, hőtérkép készítése érdekében infrakamera alkalmazását is jelentheti. Az infrakamera által készített kép a tűz frontvonaláról, annak intenzitásáról objektív alapon, a hősugárzás útján képes pontos információval szolgálni a döntéshozók részére (14. és 15. képek).



14. kép. Hőkamerával felszerelt EC-145 és MI-2 típusú helikopterek.
Forrás: Internet, Belo-Caban.

A hőkamera repülőgéphez rögzítése és az általa szolgáltatott adatok hatékony felhasználása azt a kérdést veti fel, hogy vizuális kamera alkalmazása kiválthatja-e a megfigyelő személy jelenlétét a légi jármű fedélzetén. A fenti hipotézis igazolására megvizsgálom, hogy a vizuális kamera által az erdőtűzről adott és a földre valós idejű lesugárzott képi információ kielégíti-e a hatékony felderítés követelményét.



15. kép Kísérleti tűz vizuális és hőképe. Forrás: Szerző magánarchívuma.

A hőkamera és a légi jármű fedélzetén megfigyelést folytató személy együttes alkalmazásának példája alapján a hőkamera által nyújtott információ hatékonyságát bizonyítottan fogadom el. A hőkamera mind fizikálisan, mind az általa adott információ

tartalmát tekintve független a fedélzeten tartózkodó megfigyelő személytől, ezért annak külön vizsgálata így nem indokolt.

A képi információ hatékonyságának vizsgálata és minősítésének eldöntése előtt felismerem és megállapítom, hogy a csak kamerákkal történő megfigyelés már nem igényli személyzettel repülő légi jármű alkalmazását. A pilóta nélküli repülőgépek, mint lehetséges hordozó eszközök jelentősen olcsóbban üzemeltethetők, ezért a légi felderítés teljes körű vizsgálata megköveteli ezek hatékonyságának mérlegelését is.

A pilóta nélküli repülőgépek³⁵ (UAV) tűzfelderítésre történő alkalmazására több ország is folytat kísérleteket. Horvátországban a saját erőből finanszírozott Fenix [43], Spanyolországban az Európai Unió támogatásával 2005 -ben zárult COMETS [47], az Egyesült Államokban a NASA a WRAP projektek keretein belül [31], valamint Magyarországon a Szendrői Tűzoltóparancsnokságon folytak erőfeszítések az alkalmazás elősegítésére és hatékonyságának vizsgálatára [54] [55] [62].



16. kép. A horvát Fenix, a COMETS projekt helije és a NASA APV 3 pilóta nélküli kísérleti repülői.
 Forrás: Szerző magánarchívuma, Ollero, Hinkley.

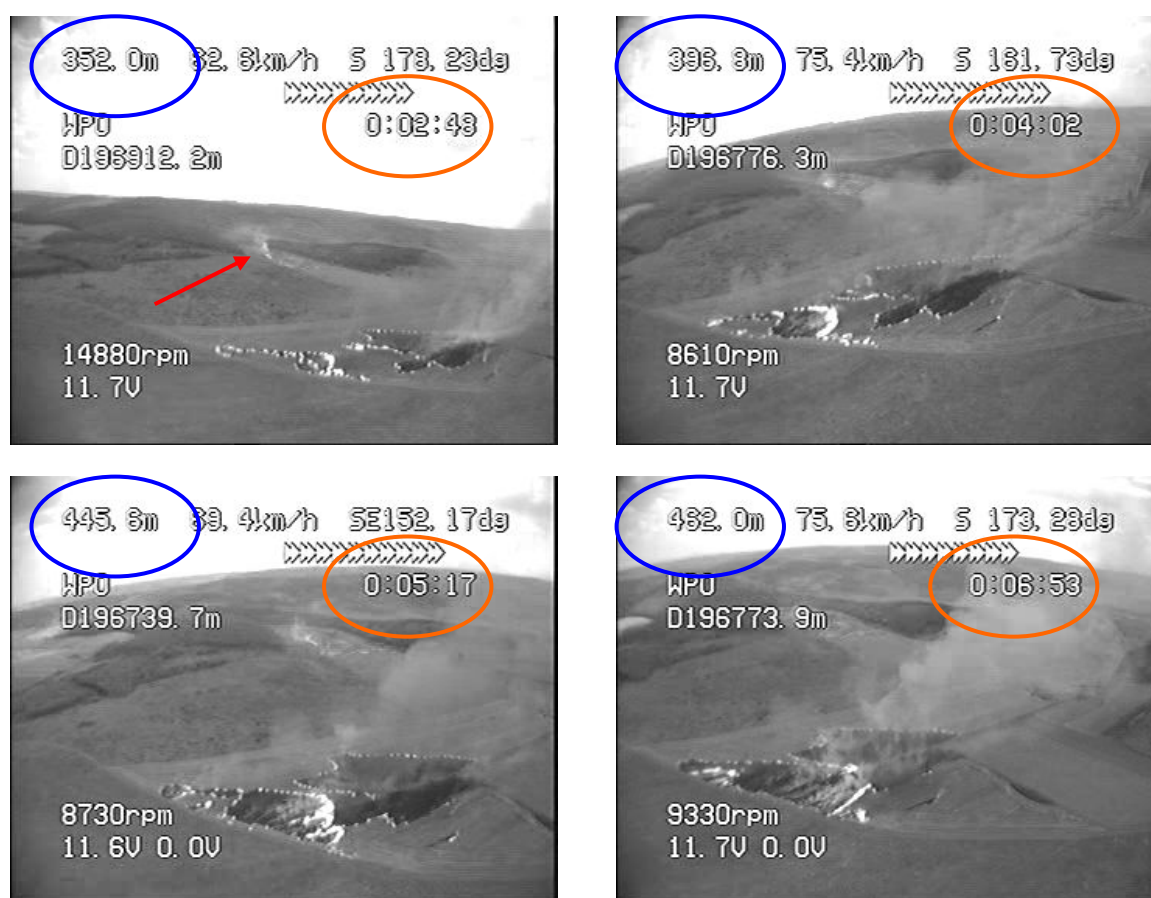
A PNR költséghatékonyságának bizonyítására a következő hipotézis vizsgálatát végzem el: A PNR igénybevételével a költségek úgy csökkennek, hogy a szolgáltatott információk kielégítik a hatékony felderítés minimum követelményeit.

A hatékony felderítés követelménye, hogy a tűzoltásvezető döntései eredményeként a tűzoltást a legrövidebb idő alatt, a legkisebb kárral, a legkevesebb erővel, eszközzel, a leggazdaságosabban legyen elvégezhető. Ehhez nagy kiterjedésű tüzek esetében a terület teljes átlátására, a tűz környezetével együtt történő kezelésére van szükség. Amennyiben ezt az UAV által szolgáltatott képi információ lehetővé teszi, úgy az eszköz alkalmazása hatékony. A képi információ vizsgálatát a 2004. augusztus 10 –én, Szendrő határában végzett kísérlet képei alapján végzem el (17. kép).

³⁵ Nemzetközi szóhasználat: Unmanned Aerial Vehicle – UAV, vagy Unmanned Aerial System – UAS. A továbbiakban. UAV.

A képeken látható, hogy a tűz frontvonala élesen elkülönül a környezetétől, így nemcsak annak pontos elhelyezkedése, de legfőbb jellemzői, a tűzintenzitás, a főbb terjedési irányok is meghatározhatók.

A tűz környezete is jól látható, megfigyelhetők a növénytársulások változásai; az erdei utak is kirajzolódnak. Ezt az sem gátolja, hogy a példaként bemutatott felvételek nem színes, hanem fekete-fehér kamerával készültek³⁶. Ez utóbbi tény további következtetés levonását teszi lehetővé: a tűz felderítéséhez, a hatékonyság minimum követelményeinek kielégítéséhez a viszonylag olcsó fekete-fehér kamera alkalmazása is megfelelő.



17. kép. Területtűzről PNR segítségével készített felvételek. Forrás: Szerző magánarchívuma.

A felvételek közötti időkülönbség valamennyi esetben kevesebb, mint 2 perc (piros körökkel jelezve: 1 min. 14 sec; 1min. 15 sec; 1 min. 35 sec.), a tűz frontvonalának változása így is jól nyomon követhető. Ebből következik, hogy a tűz egy következő fontos jellemzőjét, a tűz terjedési irányoktól függő sebességét is meg lehet becsülni.

³⁶ A színes kép látványa a szemnek nagyon kellemes, de információtartalma túl sok, figyelemelterelő hatása van. A figyelésre fordított energiát a többféle szín úgy emészti föl, hogy közben nem nyújt a döntéshez többlet információt. A tűz frontvonalának markáns megjelenése a fekete-fehér képekhez viszonyítva kisebb.

A sorozat első felvételének háttérében a nyíl egy füstoszlopra mutat, amely a kísérellettől független tűzfészkek megjelenését mutatja. A füstoszlop világos színe a környezettől a viszonylagos nagy távolság (kb. 2300 méter) ellenére is feltűnően elüt, észlelése a képen meglehetősen egyszerű. Ennek alapján bizonyítottnak látom, hogy az UAV egy egyszerű fekete-fehér kamera segítségével nem csak a tűz megfigyelésére, de észlelésre, detektálásra is alkalmas³⁷.

A legolcsóbb személyzettel repülő eszközök az ultrakönnyű repülőgépek, így az összehasonlítást célszerű ahhoz viszonyítva elvégezni. Az UAV méretei az ultrakönnyű repülőgépekkel összevetve is jelentősen kisebbek, így az azonos fajlagos költségű anyagok felhasználása esetén az összehasonlítás az UAV előnyét mutatja.

Az UAV költségei az egyszeri beszerzési költségeken túl magában foglalják az üzemeltetési, karbantartási, felszerelési költségeket, valamint a földi kiszolgáló személyzet költségeit is. Azonban ezek a költségek hasonlóan, vagy ugyanúgy megjelennek más repülőgépek esetében is, így ezek az összehasonlításnál részére hátrányt nem jelentenek.

A fentiek alapján bizonyítottnak látom, hogy a levegőből lesugárzott valós idejű képek hatékonyan segítik elő a tűzoltásvezető döntéseit, azaz az UAV által nyújtott információk kielégítik a hatékony felderítéssel szemben támasztott minimum követelményeket.

3.2 Pilóta nélküli repülőgépek alkalmazása

3.2.1 A pilóta nélküli repülőgéppel szemben támasztott követelmények

A 3.1 fejezet elemzései a légi felderítés tűzoltás során történő alkalmazására vonatkoztak, amely magába foglalta a tűz oltását megelőző felderítést és az oltás folyamata során történő monitorozást. Az eddigi elemzéseimre támaszkodva meghatározom a felderítés minimum kritériumait teljesíteni tudó UAV követelményeit.

A legmarkánsabb kritérium a gyorsaság. A bevetés előtti információhiány mielőbbi kielégítése segíti elő a hagyományos módtól - azaz az UAV támogatása nélküli beavatkozástól - hatékonyabb tűzoltást. Ez a Kárérték–Idő függvény elemzéséből is következik. Ez megköveteli, hogy az UAV alkalmazására a helyszínen azonnal szükség van, tehát annak hozzá kell tartoznia az erdőtüzoltást végzők speciális málhafelszereléséhez.

³⁷ A képen látható füstoszlop Magyarország első UAV által detektált tüze!

A gyors alkalmazás feltétele a saját tapasztalataim alapján teljesítettnek vehető, amennyiben a tűz helyszínére érkezéstől számított 5 percen belül az UAV felszállásra képes. Figyelembe véve a felszállás utáni emelkedés és a tűz irányára való ráfordulás idejét, a kísérletek alapján már akár 2 percen belül is értékelhető képet kapunk a tüzről. Ez alatt az idő alatt a tűzoltó gyalogosan legfeljebb 420 méter megtételére képes, amely csupán egy 67 méter sugarú tűzterület körbejárására lenne elegendő. Azaz a gyalogos felderítés hatékonysága legfeljebb ekkora kiterjedésű tűz esetéig lehetne magasabb, ettől nagyobb tűz ($A_{\text{tűz}} > 1,5$ ha) esetén a teljes területről az UAV gyorsabban képes információt szolgáltatni. A fentiek teljesíthetősége egy vizuális és szükség szerint hőkamerával együtt felszerelt repülőgépet igényel, az adatokat valós időben lesugározva a döntéshozó részére.

Az azonnali bevethetőség kizárja annak lehetőségét, hogy a felderítésnek ezt a módját szolgáltatásként külső szerv lássa el, így az alkalmazást a tűzoltóknak kell saját maguk biztosítani. Ez utóbbi újabb követelményeket generál, amely magában foglalja néhány tűzoltó kiképzését, a végfelhasználó-barát kivitelezést és üzemeltetést. Ezáltal feltételként szabom, hogy az UAV indítása után az üzemeltetést akár egy tűzoltó is képes legyen ellátni. Ezt megkönnyítheti, ha a repülőgép autonóm irányítási rendszerrel (robotpilóta) is fel van szerelve.

Az 5 percen belüli felszállás a műszaki követelményeket is megszabja. Mivel a robbanómotorok üzemeltetése, kiszolgálása (üzemanyag feltöltés, karbantartás, stb.) jelentősen körülményesebb, ezért az alkalmazható meghajtás csak elektromos lehet.

A málházás követelményének kielégítése elemeire bontható és gyorsan összeszerelhető sárkányszerkezetet igényel, amely könnyen dobozolható és méreteiben lehetővé teszi a rendszeresített eszközökön történő szállítást (pl. tűzoltásvezetői jármű).

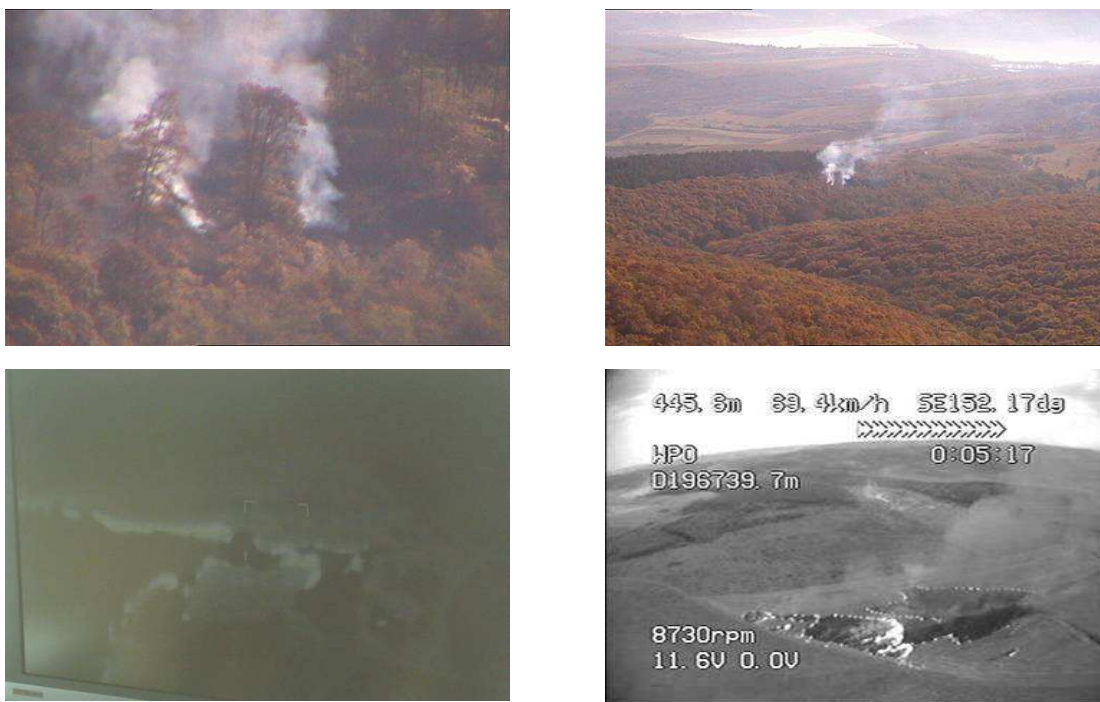
A hatékony beavatkozás megkezdéséhez szükséges alap információkat a lehető legrövidebb időn belül kell biztosítani. Saját tapasztalataim alapján így elegendő, ha az UAV 15 – 20 percet tartózkodik a folyamatosan a levegőben. Amennyiben hosszabb repülési időre van szükség, úgy leszállást kell közbeiktatni és egy akkumulátor cserével a repülés tovább folytatható.

Az erdőtüzek oltásának egyik alapvető jellegzetessége, hogy az oltás ideje alatt az égő terület tovább nő, így a tűzoltásvezetőnek erre figyelemmel kell meghatározni a hatékony oltási technikát. Vagyis, nem csak a már égő területre kell koncentrálni, hanem az oltás során várhatóan még bizonyosan leégő, megmenthető, stb. részekre is. A tüzet

környezetével együtt kell kezelni [54]! Ez a kritérium meghatározza, hogy a repüléseket nem a tűz fölött kell végrehajtani és nem a tűz frontvonalának közeli láthatóságát, hanem a terület egészéről egy perspektivikus képet kell biztosítani, amelyen nyomon követhető a tűz frontvonala, a vegetáció változása, a megközelítési útvonalak lehetősége. A fentieket a 18. képeken bizonyítom: a bal oldaliak a tüzet közlelről mutatják bár, de a jobb oldaliak sokkal informatívabbak, az oltás taktikájának megválasztásához több információt adnak (a tűz mögött fenyőerdő, előtte völgy, a háttérben vízszerezési lehetőség).

Az alkalmazásra kerülő kamera kritériumainál ismét saját tapasztalataimra támaszkodom. A döntéshozó számára a fekete–fehér kamera által adott kép is képes megfelelő minőségű információt nyújtani. A színes kamera képe talán tetszetősebb lehet, de tapasztalataim alapján ez inkább elvonja a figyelmet, mint elősegítené a döntéshozást. A szürke árnyalatok tökéletesen visszaadják a tűz frontvonalának helyzetét, a vegetáció változásait, a lehetséges megközelítési útvonalak nyomvonalait, stb. A fentiek alapján a fekete–fehér kamera alkalmazása előnyösebb, mint a színes.

A légi felderítés gyakorlati [33] [77], valamint saját tapasztalataim alapján a repülési magasság 500 méter alatt már biztosítja a területre történő megfelelő rálátást, de kiterjedt tüzeknél is elegendő az 1000 méter alatti tartomány.



18. kép. Közele és távoli képek információ tartalmának összehasonlítása.
Forrás: Szerző magánarchívuma.

Az UAV alkalmazására az elsődleges beavatkozók által kerül sor, így várható, hogy a tűz kiterjedése még korlátozott. Ezért viszonylag kis terület megfigyelésére kell koncentrálnunk, ami lehetővé teszi, hogy a rálátás szöge már 500 méter alatt is kedvező lehessen.

A kamera típusától függően lehet fixen vagy távirányítással forgathatóvá téve rögzíteni. Amennyiben intelligens kamerával van lehetőségünk a repülőgépet fölszerelni, úgy a látótér bármely pontját rögzíthetjük, a repülés helyzetétől függetlenül ugyanazt a pontot láthatjuk. Ez jelentősen drágább megoldás, de folyamatos monitorozást tesz lehetővé.

Merevszárnyú UAV esetében, ha a kamera mozgatása nem lehetséges, a megfigyelési idő a tűz irányára történő rárepülés idejével egyezhet meg. Ebben az esetben a repülés pályája is kötöttebb, hiszen az előre néző kamera esetén az ideális helyzet a tűz irányára történő rárepülés. Amennyiben ettől a gép törzse eltér, úgy a kép kieshet a látómezőből, csökkentve a megfigyelés hatékony idejét. A legegyszerűbb fix kamera rögzítés esetére a következőképpen adom meg a ciklusidőből számított hatékony megfigyelés idejét:

$$t_{\text{monitor}} = t_{\text{ciklus}} - (2t_{\text{ford}} + t_{\text{visszarepülés}} + t_{\text{korrekció}}) \quad (3.3)$$

t_{monitor} - a tűz irányába való repülés idejéből a tényleges megfigyelés időtartama;

t_{ciklus} - egy teljes repülési ciklus, a repülőgép visszaérkezik a kiindulási helyre;

t_{ford} - a fordulási idő;

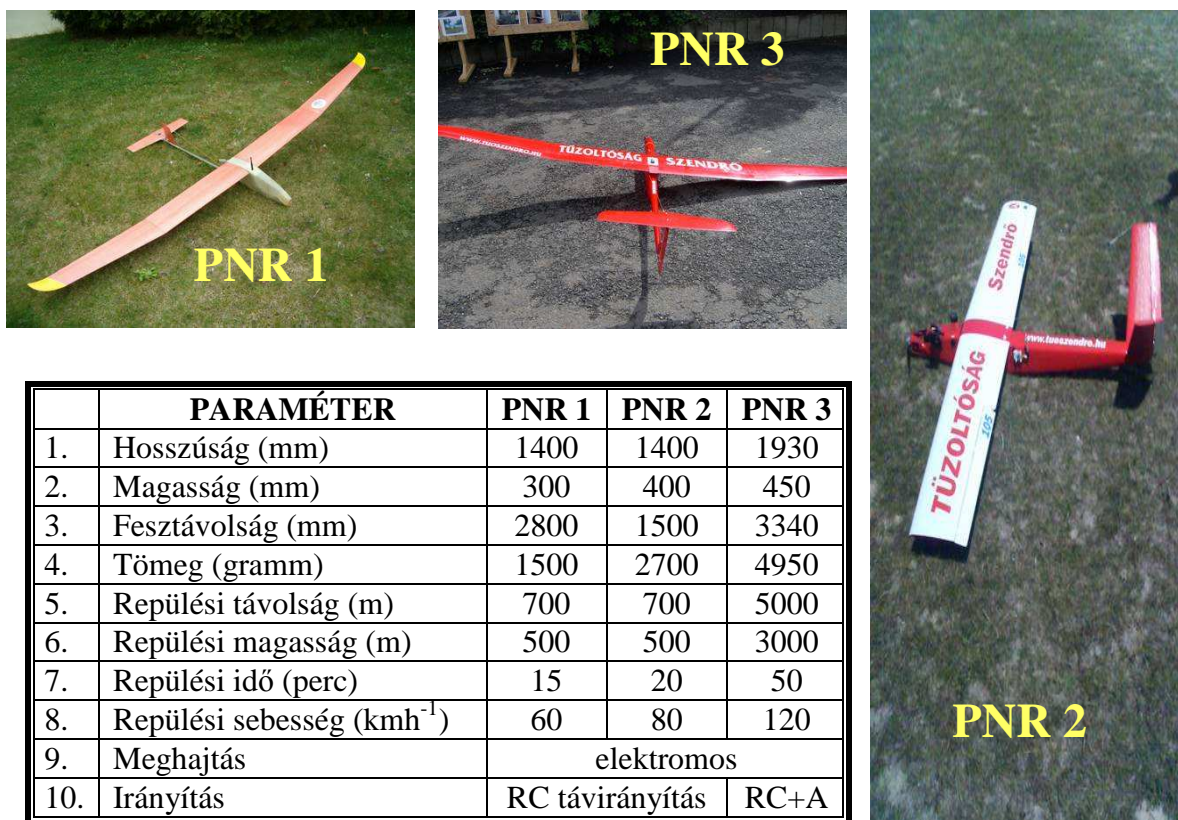
$t_{\text{visszarepülés}}$ - a tűztől való elrepülés ideje;

$t_{\text{korrekció}}$ - a rárepülés idejéből a tűz látótéren kívül maradásának ideje.

A tűz irányába történő repülés szükséges időtartamát a lesugárzott kép minősége, értékelhetősége határozza meg. Ez függ a repülési magasságtól, a repülési sebességtől, a repülés tűztől való távolságától és a tűz kiterjedésétől.

3.2.2 Pilóta nélküli repülőgépek készenlétbe helyezése

Az előző fejezetben leírt követelmények lehetőség szerinti, illetve szükségszerű teljesítésével a Szendrői Tűzoltóparancsnokságon 2006. augusztus 14 –én, a tűzoltóságok között a világon elsőként került sor pilóta nélküli repülőgépek készenlétbe helyezésére.



	PARAMÉTER	PNR 1	PNR 2	PNR 3
1.	Hosszúság (mm)	1400	1400	1930
2.	Magasság (mm)	300	400	450
3.	Fesztávolság (mm)	2800	1500	3340
4.	Tömeg (gramm)	1500	2700	4950
5.	Repülési távolság (m)	700	700	5000
6.	Repülési magasság (m)	500	500	3000
7.	Repülési idő (perc)	15	20	50
8.	Repülési sebesség (kmh ⁻¹)	60	80	120
9.	Meghajtás	elektromos		
10.	Irányítás	RC távirányítás	RC+A	

6. táblázat. A készenlétbe helyezett PNR –ek adatai. Forrás: Szerző.

19. kép. A készenlétbe helyezett PNR –ek képei. Forrás: Szerző magánarchívuma.

A készenlétbe helyezés feltételeit a következők biztosították:

- az UAV–k átalakított, vagy speciálisan erre a célra épített modellrepülőgépek voltak, amely jelentősen megkönnyítették a készenlétbe helyezés körülményeit;
- modellrepülőgépek jelenleg még nem szükséges lajstromozás, légi alkalmassági bizonyítvány, és az irányító személye (pilóta) sincs jogszabály vagy egészségügyi, pszichikai képesség által korlátozva;
- az ÖTM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóságtól kérvényeztem és megkaptam³⁸ a PNR alkalmazása során a biztonságos munkavégzés érdekében betartandó rendszabályokat;
- a 2006-ban érvényben lévő 14/1998. (VI. 24.) KHVM-HM-KTM együttes rendelet 18. § által kért információi alapján eseti légtér kijelölését és használatát kérvényeztem a Katonai Légügyi Hivataltól, és határozatban azt megkaptam³⁹;

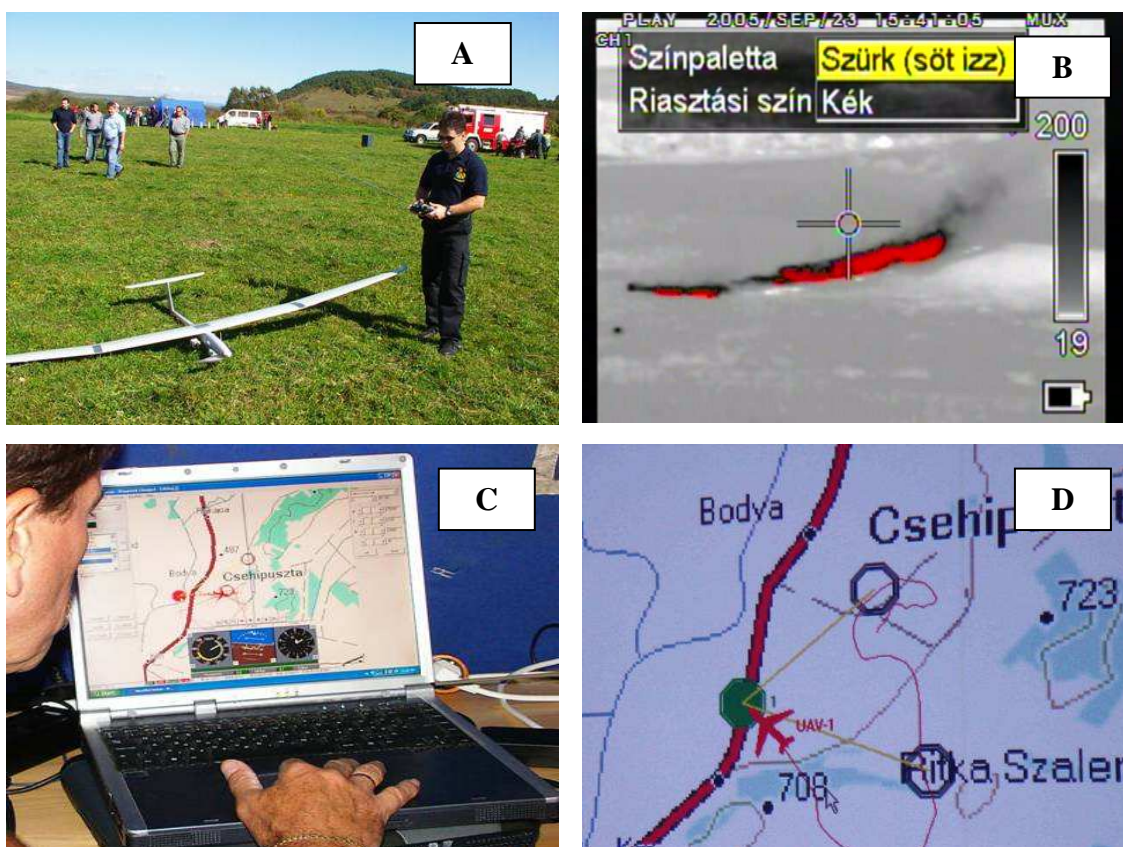
³⁸ Hivatkozási szám: 254/26/7/2006.

³⁹ Hivatkozási szám: 91/103/2006.

- az ÖTM Országos Katasztrófavédelmi Igazgatóságtól kérvényeztem és megkaptam a készenlétbe helyezés engedélyét.

Az igényelt eseti légtér adatai:

- a légtér oldalhatárai: 482000É 204400K (Szendrő) középponttól számított 10 km sugarú kör;
- a légtér igénybevétel dátuma: 2006.08.14. 04:00 UTC – 2006.09.12. 14:00 UTC⁴⁰;
- a légtér alsó és felső határa: GND⁴¹ – 300 m AGL⁴²;
- a légtér igénylés indoka: erdőtűz felderítő repülése.



20. számú kép. Az UAV-k alkalmazásának bemutatása: 2006. szeptember 22. Szendrő.

A - robotpilótával és hőkamerával felszerelt UAV; B – hőkamerával készült felvétel a kísérleti tűzről;

C – az UAV útvonalának módosítása; D – az UAV repülési útvonala.

Forrás: Szerző magánarchívuma.

A légtér igénybevételéről a tervezett felszállás ideje előtt 30 perccel (pl. tűzjelzéskor) a HungaroControl Légtérigazgató Csoportjával telefonon történő

⁴⁰ UTC – Greenwich –i idő

⁴¹ GND – Ground level – Földfelszín

⁴² AGL – Above Ground Level – a Föld felszín felett

egyeztetés szükséges. A feladat végrehajtása után a légtér használatának befejezését szintén jelezni kell számukra. A légtér igénybevételi ideje alatt az mások számára légi közlekedés céljára nem használható.

Az eseti légtér kijelölését a repülés várható indokoltságát megelőző 10 nappal kell kérelmezni, amely egy alkalommal legfeljebb 30 napra kérelmezhető, de az újabb kérelmezés nem korlátozott.

A repülés szüksége és a kérelem 10 nappal történő előzetes benyújtása között nincs feloldhatatlan ellentét, hiszen az erdőtüzek kedvező feltételeinek kialakulása a meteorológiai jelentések alapján jól előre jelezhető. Az előrejelzés eszköze lehetne a Magyarországon is tesztelt [10] [36] [46], folyamatos alkalmazásra azonban nem kerülő, de a nemzetközi gyakorlatban teljesen általánosan használt valamely erdőtűz veszélyességi index. Az előrejelzések és az indexek várható alakulásának figyelembe vételével az eseti légtér kijelölése időben megtehető.

2006 év nyarának vége, illetve őszének eleje erdőtűz szempontjából nem volt veszélyes időszak. Ennek ellenére az eseti légtér kijelölését két alkalommal kérelmeztem és kaptam meg. Ez alatt az időszak alatt éles bevetésre nem került sor. Szendrő Város Önkormányzatának vezetése, a tűzoltóság fenntartója nevében, mint nem kötelezően ellátandó feladatot az UAV-k további működtetését október után már nem támogatta.

3.3 Légi felderítés a tüzek észlelése céljából

A továbbiakban a légi felderítés fogalmának tüzek észlelése céljából történő alkalmazására a légi őrzátozás kifejezést használom.

A Kárérték–Idő függvény vizsgálata alapján bizonyítottam, hogy a tűz eloltása általános esetben is annál hatékonyabb, minél korábban kezdhető meg a beavatkozás. A korszerű tűzvédelem a gyakorlatban ezt az által igazolja, hogy automatikus rendszerek beépítésével a személyektől függetlenül az azonnali és közvetlen riasztást. Egyes fejlett országokban ma már nem csak ipari létesítmények és közösségi helyiségek, de a lakóházak elengedhetetlen tartozéka is a tűzoltóságra bekötött automatikus tűzjelző rendszer. A vegetációtüzek automatikus észlelésére már Magyarországon is folytak erőfeszítések⁴³.

A tűzoltás folyamatának elemzése alapján megállapítottam, hogy jelenleg a tűzoltóság az erdőtüzek keletkezéséről „külső forrás”, a jelentő személy által kap

⁴³ KMFP 00025/2003 számon és Integrált környezetvédelmi tájfigyelő és riasztási rendszer fejlesztése vegetációtüzek korai észlelésére címen jegyzett projekt - a Szendrői Tűzoltóparancsnokságon.

információkat. Ezért megvizsgálom annak lehetőségét, hogy a tüzek mielőbbi felderítésére, észlelésére a légi járművek milyen hatékonysággal képesek megfelelni. Egy másik megközelítés alapján: vizsgálat tárgyává teszem a tűzoltás során – a 3.1 fejezetben bizonyított - hatékony légi felderítés módszerének kiterjesztési lehetőségét az erdőtüzek mielőbbi észlelése céljából. Ezt azzal is indokolom, hogy egyes országok meghatározott időszakokban folyamatosan fenntartanak légi őrzőjáratot (Spanyolország, Franciaország), míg mások ennek leállításáról döntöttek (Németország, Lengyelország) [26]. **A légi őrzőjárat tüzek észlelése céljából történő vizsgálatához, hatékonyságának igazolásához a következő hipotéziseket állítom föl:**

1. A légi őrzőjárat a tűzoltóság számára előnyös, alkalmazásával a tűzjelzés gyorsabban megvalósul. Az alkalmazás szakmai szempontból hatékony.
2. A légi őrzőjárat hatékonyságának feltétele gazdaságossági alapon is bizonyítható. Az alkalmazás nemzetgazdasági szinten hatékony.
3. A légi őrzőjárat költségei annak előnyeinek megtartása mellett is jelentősen csökkenthetők. A szűkös források felhasználása hatékony.

3.3.1 A légi őrzőjárat szakmai szempontból hatékony

A légi őrzőjárat célja, hogy a keletkező tüzeket a repülőgép személyzete mielőbb észlelje, a tűzoltóság számára külső forrástól gyorsabban legyen képes jelzés, információ adására. Az őrzőjárat célorientált tevékenység, így elfogadom, hogy azonos körülményeket feltételezve jelentése gyorsabb, mint a természetes észlelő jelzése. Mivel a tűzoltóság saját erőfeszítést az erdőtüzek mielőbbi felderítése érdekében jelenleg nem tesz, ezért abszolút (igen–nem) értelemben bármely módszert, amely ezt a célt szolgálja szakmai szempontból előnyösnek, hatékonyak fogadom el.

Egy adott területen a jelenlévők számának növekedésével - a személyek szubjektív ítéletalkotásának, magatartásának széles skálája, a jelentések idejének szórása miatt - statisztikailag növekszik a bejelentések gyakorisága és gyorsasága. A nagyobb populáció jelentéseinek időbeli szórása szélesebb bár, de a tűzoltóság részére csak a szórás egyik szélső értéke, a gyorsabban jelentő személyek jelennek meg, ami a gyorsabb tűzjelzésben nyilvánul meg. Ezt felismerve megállapítom, hogy a jelentés gyorsasága a jelenlévők számától, a terület népsűrűségétől is függ, azzal arányosan nő. Így a légi őrzőjárat előnye, a külső személyek által adott jelentések információ tartalma és időbeni megoszlása

szórásának átlagához viszonyított gyorsasága, a hatékonyság mértékét is kifejező időtartalék csökken.

A fentiek alapján azt a következtetést vonom le, hogy a sűrűbben lakott területek fölött a légi őrzáratozás eredményessége csökken, míg ritkán lakott területek fölött nő. Minél ritkább egy terület népsűrűsége, a légi őrzáratozás hatékonysága annál magasabb és fordítva: minél sűrűbb a terület népsűrűsége, a légi őrzáratozás hatékonysága annál alacsonyabb. A nemzetközi gyakorlat a fenti megállapításomat az által igazolja, hogy egyes országok (Oroszország, Egyesült Államok, Kanada, Ausztrália) alacsony népsűrűségű, de nagy kiterjedésű erdőterületei fölött a tűzjelzés célját szolgáló légi őrzáratozás teljesen általános [19] [31].

A fentiek alapján megállapítom, hogy a légi őrzáratozás a tűzoltóság számára a terület látogatottságától, népsűrűségétől függően lehet előnyös, illetve szakmai szempontból hatékony. Amíg a külső személyek által adott jelzések időbeli szórásának átlaga magasabb, mint a légi felderítés jelzéseinek átlaga, addig a módszer szakmailag hatékony, utána már nem.

3.3.2 A légi őrzáratozás nemzetgazdasági szinten hatékony

A hipotézis a légi őrzáratozás költségeinek számbavételével és az alkalmazás várható előnyeivel bizonyítható. A hipotézis teljesülése a hatékonyság feltételének gazdaságossági szempontból történő teljesülését jelenti, vagyis a körülményektől függő, összehasonlító értelmű bizonyítás.

A légi őrzáratozás segítségével az erdőtüzek hatékony észlelése az 1. számú hipotézis feltételeinek függvényében gyorsabbá tehető. A tűzoltóság a gyorsabb jelzés eredményeként korábban a helyszínre érkezik és képes megkezdeni a szakszerű beavatkozást. A gyorsabb beavatkozás eredményeként a leégett terület nagysága és így a kárérték, valamint a beavatkozás költségei kisebbek, a megmentett terület és annak értéke pedig nagyobb lesz.

A légi őrzáratozás nélküli és a légi őrzáratozással végrehajtott tűzoltás eredményessége a kárérték, illetve a megmentett érték különbségében kimutathatónak kell lennie. Amennyiben a korábbi jelzés eredményeként a kárérték olyan mértékben csökken, illetve a megmentett érték olyan mértékben nő, amely legalább eléri, de inkább meghaladja a légi őrzáratozás valamennyi költségét, akkor a légi őrzáratozás gazdaságossági

szempontból is előnyös. A gazdaságossági szempontból előnyös beavatkozás a nemzetgazdasági szintű hatékonyság feltételének teljesítését is jelenti.

$$\Delta K_{\text{kárérték}} > \Sigma C_{\text{légi_örjáratozás}} \quad (3.4)$$

$$\Delta M_{\text{megmentett_érték}} > \Sigma C_{\text{légi_örjáratozás}} \quad (3.5)$$

$\Delta K_{\text{kárérték}}$ - kárérték különbség a légi őrjáratozással és légi őrjáratozás nélküli beavatkozások között;

$\Sigma C_{\text{légi_örjáratozás}}$ - a légi őrjáratozás során felmerülő valamennyi költség;

$\Delta M_{\text{megmentett_érték}}$ - megmentett érték különbség a légi őrjáratozással és légi őrjáratozás nélküli beavatkozások között.

A tűzoltóságok saját erőből képtelenek a légi őrjáratozás költségeinek fedezésére. Magyarországon az ezredforduló idején civil kezdeményezésre⁴⁴ történtek erőfeszítések a légi őrjáratozás bevezetésére, de szakmai és gazdaságossági megalapozottság hiányában nem sikerült a szükséges feltételek megteremtése.

A repülőgépek üzemeltetési költségei nemzetgazdasági szinten csak akkor térülhetnek meg, ha a tüzek észlelése által jelentős kárérték csökkenések következnek be⁴⁵. Azaz a légi őrjáratozás teljes repülési idejéhez viszonyítva az észlelések aránya egy bizonyos mértéket elér, illetve meghalad. Ez a mérték az észlelés számából, gyakoriságából adódik és eredményeként a gyorsabb észlelések által a leégett területek összességének kárérték csökkenése, vagy megmentett érték növekedése levezethető. A kárérték csökkenések összességének el kell érnie, illetve meg kell haladnia a légi őrjáratozás teljes költségét.

A tüzek kialakulásának valószínűségét, gyakoriságát és terjedésének feltételeit több tényező együttes hatása befolyásolja. A legfontosabb tényező az állampolgári fegyelem, amelynek magas szintje jelentősen csökkenti a szándékos és gondatlan tűzokozást. Ez a tényező időben lassan változik, értékét állandónak veszem, így vizsgálatát mellőzöm.

Egyéb befolyásoló tényezők: a pillanatnyi hőmérséklet, páratartalom, utolsó csapadék ideje és mennyisége, a növényzet kiszáradási foka. A megadott tényezőket a meteorológiai viszonyok alakítják, így változásuk bár dinamikus, de jól leírható. A

⁴⁴ Az Erdők Védelméért Alapítvány az 1993. évi Bócsa és 2000. évi Ágasegyháza körzeteiben pusztító tüzek tapasztalatai alapján Matkópuszta Repülőtér központtal kezdeményezte a légi őrjáratozás megszervezését.

⁴⁵ A folyamatos légi őrjáratozás a tüzek keletkezésének megelőzésben, visszatartó erejében betöltött nyilvánvaló szerepét az értekezés nem tárgyalja.

megfelelő algoritmus alkalmazása esetén a tüzek keletkezésének valószínűsége, kockázata a fentiekből számítható, az előrejelzési adatokból becsülhető. A kockázat mértékére a nemzetközi gyakorlat⁴⁶ már évtizedek óta alkalmaz tűzveszélyességi indexeket.

Magyarország esetén a légi őrzáratozás alkalmazásának alapvető feltétele, hogy eddig még nem alkalmazott, a tűzkeletkezés kockázatának mértékét kifejező jellemző, szárazsági index bevezetése szükséges, amely a módszer nemzetgazdasági szinten történő hatékonyságát garantálja. Amikor ez az index meghatározott értéket elér, vagy meghalad, a légi őrzáratozás gazdaságossági hatékonyságának feltétele, a tüzek észlelésének megfelelő gyakorisága teljesül, míg küszöb érték alatti index esetén az észlelés átlagos gyakorisága a hatékonyság feltételének teljesítése alatt marad. Ezért javaslom, hogy az ország jellegzetességeihez megfelelő szárazsági index alkalmazása kerüljön bevezetésre.

A tűzkeletkezés kockázatát jelentősen befolyásolja a növényzet fajtája. Ezért a szárazsági index egyes fafajták esetében, így az azokból álló erdőtársulásokban akár jelentősen korábban is elérheti a kritikus értéket. Ez az ország területének előzetes felmérése alapján becsülhető, így a légi őrzáratozás tervezhető. A fentiekből következően egyes veszélyeztetettebb, de megfelelő kiterjedésű területek igénylik, míg mások akár nem a légi őrzáratozást. A légi őrzáratozás eredményességének tovább nem vizsgált, de kétségtelenül járulékos előnye még, a tüzek keletkezésének megelőzésében betöltött nyilvánvaló szerepe.

3.3.3 A szűkös források felhasználása hatékony

A hatékony észlelés kritériuma az, hogy a tűz keletkezéséről a lehető leggyorsabban kapjunk információt. Ez biztosíthatja, hogy minimális erő és eszköz alkalmazásával az oltás elvégezhető. A tűz szabad fejlődése azonnali detektálás esetén lehet minimális. Saját tapasztalataim, valamint egyéb forrásból [40] [48] ítélve a tűz keletkezésétől számított 15 percen belüli tűzjelzés hatékonynak nevezhető. Ekkor az extrém tűzterjedési lehetőségektől eltekintve a tűz kiterjedése még lehetővé teszi a minimális erő és eszköz alkalmazásával történő biztonságos eloltást. A légi őrzáratozás hatékonyságának megítélésénél alapkérdés, hogy átlagosan milyen gyorsan képes egy tetszőleges helyen keletkező tűz észleléséről jelentést adni. Mivel az őrzáratozás egy adott útvonal rendszeres lerepülését jelenti, a vizsgálat egy adott pont megfigyelésének időtartamára és „nem megfigyelésének”,

⁴⁶ Magyarország területére vonatkozóan az Országos Meteorológiai Szolgálat négy, a nemzetközi gyakorlatban alkalmazott szárazsági index összehasonlítását végezte el. Az összehasonlító vizsgálatához nem kapcsolódva bár, de 2003. év őszén Borsod Abaúj Zemplén Megye egy kiválasztott területére vonatkozóan is történtek adatgyűjtések.

időtartamára vonatkozik. Ez utóbbi fogalomra a holt idő kifejezést használok a továbbiakban.

A következtetésem igazolása érdekében a volt szolgálati helyem (Szendrő Város Önkormányzatának Hivatásos Tűzoltósága) működési körzetével közel azonos nagyságú terület vizsgálatát választottam a következő alapfeltételekkel: A terület szabályos négyszög, domborzati viszonyai jelentősen nem korlátozzák akár az oldalról történő megfigyelés eredményességét sem, így a vizsgálat szempontjából síknak veszem. Mérete: $A = 24 \text{ km} \times 24 \text{ km}$, területe 576 km^2 . A légi őrzésközpontot egy repülőgép végzi, amely 180 kmh^{-1} sebességgel repül, 1500 m föld feletti magasságon. A vizsgálat eredményének objektív mérhetősége érdekében a fedélzeten lévő észlelő személy megfigyelését a repülőgép aljára szerelt kamera alkalmazásával helyettesítem. Ez alapesetben $\alpha_{DA}=90^0$ -os látószöget feltételezve egy adott időpillanatban $A_{DA} = 3 \text{ km} \times 3 \text{ km} = 9 \text{ km}^2$ alapterületi egység egyidejű átlátását teszi lehetővé.

Vizsgálatom során ésszerű korlátok között növelem a repülési sebesség és magasság értékeit, valamint a kamerával történő észlelés szögét. Célom annak megállapítása, hogy egy tetszőleges pontra vonatkoztatva hogyan és milyen arányban változik a megfigyelt és holt idő, valamint a változás trendjéből milyen további következtetések vonhatók le. A vizsgálat során alkalmazott jelölések és megadható értékei:

H_{rep} - föld feletti repülési magasság;

v_{rep} - föld feletti repülési sebesség;

A_x - a vizsgált terület nagysága az adott esetben;

l - a területi egység oldalainak hossza;

A_{mf} - terület egység, a megfigyelt terület nagysága;

α_D - a kamera látószöge;

t_{rep} - a teljes útvonal hosszának lerepülési ideje;

L_{rep} - a teljes útvonal hossza;

t_{mf} - a terület egység feletti átrepülés, megfigyelés ideje;

t_{holt} - a holt idő;

R_{mf} - a megfigyelési idő aránya a teljes repülési időhöz ($R_{\text{mf}} = t_{\text{mf}} / t_{\text{rep}}$).

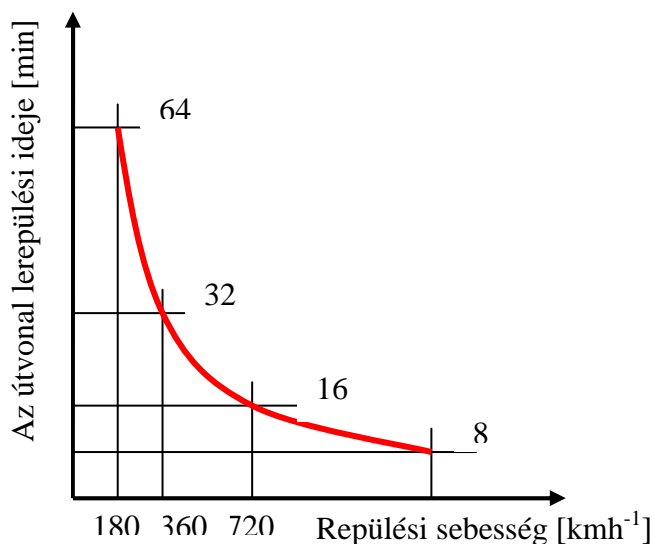
Repülési sebesség

A repülési sebesség és változásainak vizsgálatához a 7. táblázat értékeit veszem.

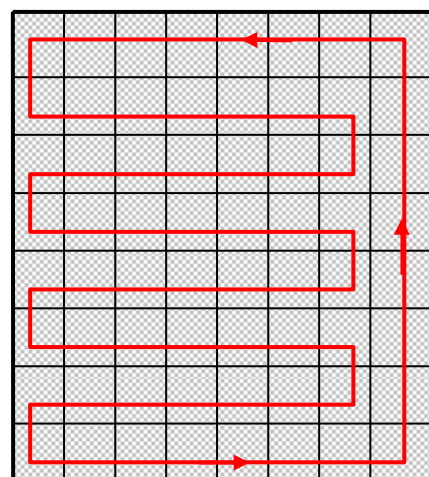
Érték Eset	v_{rep} [kmh ⁻¹]	H_{rep} [m]	α_D [°]	A_{mf} [km ²]	l [km]	L_{rep} [km]	t_{rep} [min]	t_{mf} [min]	t_{holt} [min]	R_{mf} [-]
A	180	1500	90	9	3	192	64	1	63	1/64
B	360	1500	90	9	3	192	32	0.5	31.5	1/64
C	720	1500	90	9	3	192	16	0.25	15.75	1/64
D	900	1500	90	9	3	192	12.8	0.20	12.6	1/64

7. táblázat. A repülési sebesség változásának hatása. Forrás: Szerző.

Az A alapeset értékeinek meghatározása: az $A = 576 \text{ km}^2$ –es területet 9 km^2 –es négyszögekre osztva $A_{\text{DA}} = 64$ db alapterületi egységet kapok (sakktábla). Egy A_{DA} alapterületi egység fölött a megadott 180 kmh^{-1} sebességgel repülve a megfigyelés t_{mf} idejének értéke: $t_{\text{mf}} = l_A / v_{\text{repA}} = 3 \text{ km} / 180 \text{ kmh}^{-1} = 0,0167 \text{ h}$, azaz 1 perc ideig tart. A teljes útvonal hossza $L_{\text{repA}} = 64 \times 3 \text{ km} = 192 \text{ km}$ hosszú szakasz, amelynek lerepülése $t_{\text{repA}} = L_{\text{repA}} / v_{\text{repA}} = 192 \text{ km} / 180 \text{ kmh}^{-1} = 1,067 \text{ h}$, azaz 64 perc ideig tart.



19. ábra. Az útvonal lerepülésének ideje a sebesség változásának függvényében. Forrás: Szerző.



20. ábra. A repülési útvonal modellje. Forrás: Szerző.

A táblázat értékeiből látható, hogy a sebesség növelésével az R_{mf} megfigyelési idő aránya a teljes repülési időhöz viszonyítva nem változik. A t_{holt} holtidő exponenciálisan változó, a kitevő értéke negatív. A célként megfogalmazott 15 percen belüli észlelés követelménye az adott feltételek mellett, a táblázat alapján csak ésszerűtlenül magas repülési sebesség esetén biztosítható.

A fentiek alapján megállapítom, hogy a repülési sebesség növelésével a tűzdetektálás hatékonysága nem növelhető.

A légi őrzáratozás célja az, hogy gyorsabb tűzérzékelést biztosítson, mint a spontán jelző személyek jelzései. Ez által a beavatkozás korábban megkezdhető, gyorsabb oltást és nagyobb megmentett értéket eredményezve. Amennyiben a légi őrzáratozás gyorsabb jelzést eredményez, úgy abszolút értelemben ez a módoszat hatékonyabbnak tekinthető. Ez a megközelítés szakmailag védhető bár, de nemzetgazdasági szinten nem bizonyítható a hatékonyság magasabb szintje. Ehhez gazdaságossági alapon nyugvó bizonyítás szükséges: A megmentett érték növekedése amennyiben eléri, vagy meghaladja a légi őrzáratozás költségeit, úgy az észlelésnek ez a módja nemzetgazdasági szinten is hatékony.

Repülési magasság

A repülési magasság és változásainak vizsgálatához a 8. táblázat értékeit veszem.

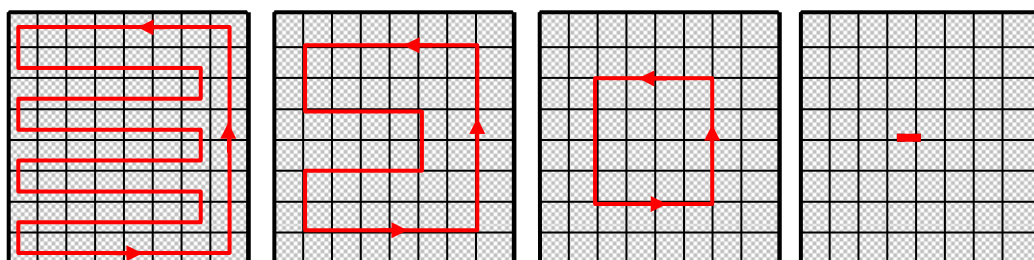
Érték	v_{rep}	H_{rep}	α_D	A_{mf}	l	L_{rep}	t_{rep}	t_{mf}	t_{holt}	R_{mf}
Eset	[kmh ⁻¹]	[m]	[°]	[km ²]	[km]	[km]	[min]	[min]	[min]	[-]
A	180	1500	90	9	3	192	64	1	63	1/64
B	180	3000	90	36	6	96	32	2	30	4/64
C	180	6000	90	144	12	48	16	4	12	16/64
D	-	12000	90	576	24	-	-	foly	-	1/1

8. táblázat. A repülési magasság változásának hatása. Forrás: Szerző.

A táblázat értékeiből látható, hogy a magasság növelésével az R_{mf} megfigyelési idő aránya a teljes repülési időhöz viszonyítva exponenciálisan növekszik. A t_{holt} holt idő ugyanilyen módon, de ellenkező előjellel csökken (25. ábra.). A hatékonyság kritériumának vett 15 percenkénti ugyanazon pont feletti átrepülési idő 6000 m repülési

magasság esetén már biztosítható, figyelmen kívül hagyva azt, hogy ekkor a megfigyelési idő aránya már eléri a $\frac{1}{4}$ értéket.

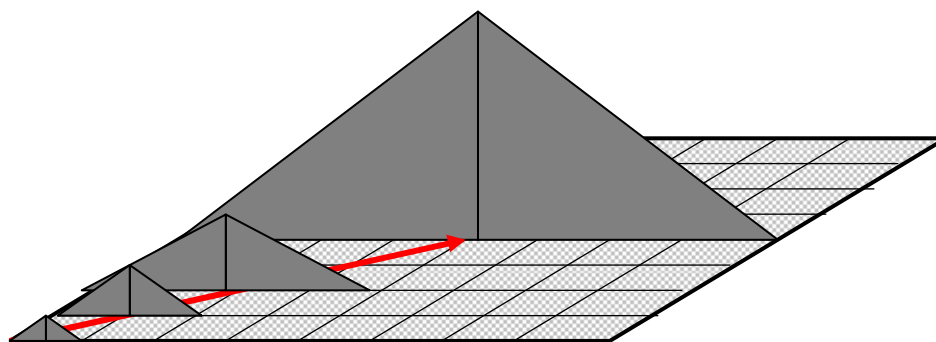
A repülési magasság növelésével nagyobb lett a megfigyelt területi egység is. Mivel a mintaterület lehatárolt, a nagyobb területi egység középpontja, valamint a repülési útvonal is a terület középpontja felé mozdul.



21. ábra. A repülés útvonalának változása a magasság növelésével. Forrás: Szerző.

A táblázat D esetét bemutató sorában látható, hogy adott feltételek esetén csupán a magasság növelésével is elérhető a terület folyamatos megfigyelése. A példában bemutatott esetben a folyamatos megfigyelés meglehetősen magasan, 12 000 m elérésekor teljesül. Ennek lehetősége HALE, MALE⁴⁷, esetleg a nagyobb területre vonatkozóan a műholdas megfigyelés alkalmazásával adott.

A fentiek alapján megállapítom, hogy a repülési magasság növelésével a tűzdetektálás hatékonysága jelentősen növelhető.



22. ábra. A repülési magasság változásának hatása. Forrás: Szerző.

⁴⁷ HALE/MALE : High Altitude Long Endurance/Medium Altitude Long Endurance szavakból alkotott mozaikszó, amely a nagy/közepes magasságban végrehajtott hosszú időtartamú, általában UAV repülésre vonatkozik.

A kamera látószöge

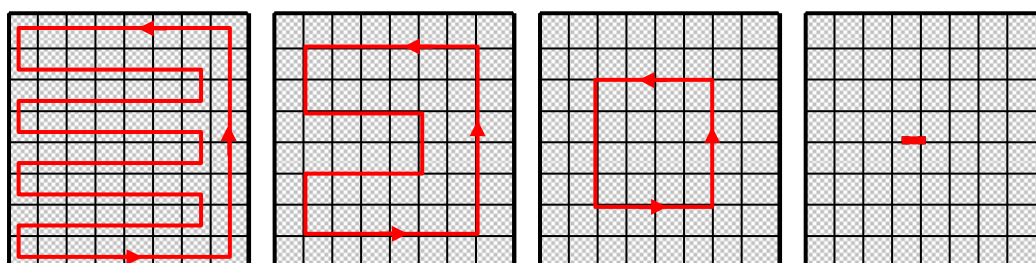
A repülési magasság és változásainak vizsgálatához a 9. táblázat értékeit veszem.

Érték Eset	v_{rep} [kmh ⁻¹]	H_{rep} [m]	α_D [⁰]	A_{mf} [km ²]	l [km]	L_{rep} [km]	t_{rep} [min]	t_{mf} [min]	t_{holt} [min]	R_{mf} [-]
A	180	1500	90	9	3	192	64	1	63	1/64
B	180	1500	126	36	6	96	32	2	30	4/64
C	180	1500	151	144	12	48	16	4	12	16/64
D	-	1500	165	576	24	-	-	foly	-	1/1

9. táblázat. A megfigyelés látószöge változásának hatása. Forrás: Szerző.

Bizonyítás céljából a kamera látószögének növeléséhez azt a mértéket választom, ami a megfigyelt területi egység oldalainak hosszát kétszeresére növeli. A táblázat értékei hasonlóságot mutatnak a repülési magasság változásából eredő eredményekkel. Látható, hogy a látószög növelésével az R_{mf} megfigyelési idő aránya a teljes repülési időhöz viszonyítva exponenciálisan növekszik. A t_{holt} holtidő ugyanilyen módon, de ellenkező előjellel csökken (25. ábra).

A hatékonyság kritériumának vett 15 percenkénti ugyanazon pont feletti átrepülési idő a táblázat C esetét bemutató sorában $\alpha_D = 151^0$ látószög esetén biztosítható, figyelmen kívül hagyva ebben az esetben is azt, hogy ekkor már a megfigyelési idő aránya eléri a $\frac{1}{4}$ értéket. A megfigyelési szög növelésével nagyobb lett a megfigyelt területi egység is.



23. ábra. A repülés útvonalának változása a magasság növelésének hatására.
Forrás: Szerző.

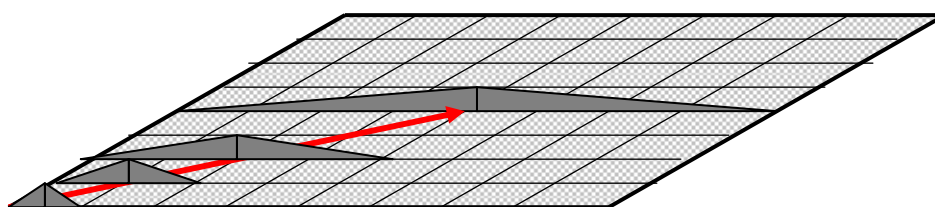
Mivel a mintaterület lehatárolt, a nagyobb területi egység középpontja, valamint a repülési útvonal változás trendje is a terület középpontja felé irányul. A táblázat E esetét bemutató sorában látható, hogy adott feltételek esetén csupán a látószög növelésével is elérhető a terület folyamatos megfigyelése. A fentiek alapján megállapítom, hogy a kamera látószögének növelésével a tüzetektálás hatékonysága jelentősen növelhető.

3.3.4 A szűkös források vizsgálatának származtatott eredménye

Centrális telepítésű térfigyelés tüzek korai észlelésére

A repülési magasság, valamint kamera látószögének növeléséből kapott eredmények további megállapításokhoz vezetnek. Mind a két esetben biztosítható a teljes terület egyidejű megfigyelése. Ez a pont a terület középpontja. Az adatokból az is látható, hogy ezekhez a pontokhoz tartozó sebességek értéke nulla. Ebben az esetben a kamera, mint megfigyelési eszköz nem igényli mobil hordozó eszköz meglétét.

A kamera látószögének növelését bemutató táblázat D sorának értékei azt is igazolják, hogy a terület teljes megfigyelése úgy is biztosítható, ha nem csak azonos pontból, de azonos magasságból is történik a megfigyelés. Ez a megállapítás az adott feltételek szerinti esetben azt bizonyítja, hogy a mobil hordozó eszköz alkalmazása állandó telepítésű megfigyelő rendszer segítségével – sík, vagy nem erősen átszegdelt terület esetén - kiváltható⁴⁸.



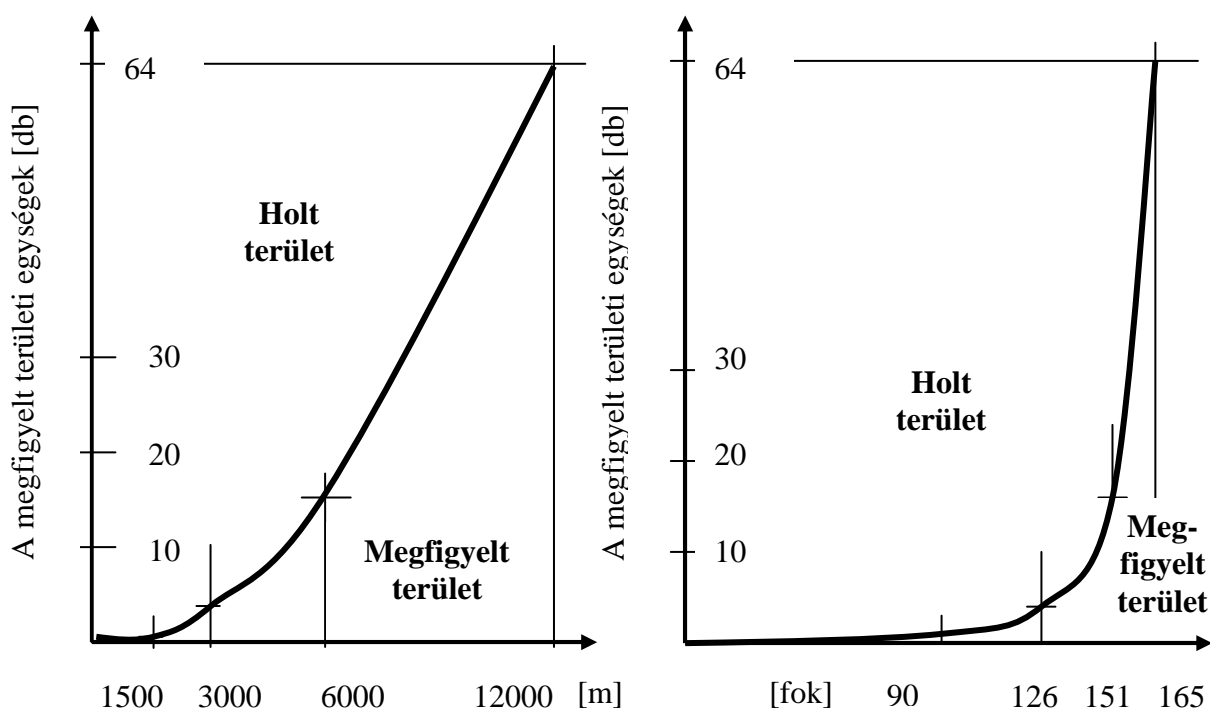
24. ábra. A megfigyelés szöge változásának hatása. Forrás: Szerző.

A fenti megállapítások gazdaságossági alapon történő összehasonlító vizsgálata a következők miatt nem szükséges:

1. A kamera, mint megfigyelési eszköz mind a két vizsgálati sorban szerepelne, technikai paramétereiben hozzávetőleg azonos értékekkel bírnának. Így ez jelentős különbséget nem okozna.

⁴⁸ Térfigyelő projekt, Szendrői Tűzoltóparancsnokság

2. A fix telepítésű rendszer megfigyelési aránya a táblázatból is láthatóan teljes mértékű, így a mobil eszköz alkalmazásával történő összehasonlítás mindenképp ez utóbbi hátrányával jár.
3. A fix telepítésű rendszer alkalmazásakor célszerű azt a megoldást választani, amikor a kamera nem egyszerre látja a területet, hanem körbe forogva pásztázza azt. Ennek előnye, hogy paramétereiben ekkor kisebb teljesítménnyel is elérhető közel azonos hatékonyság.
4. A fenti esetben a hatékonyság mértéke a körbe forgás sebességének és a látószög arányának viszonyaiból számítható, hasonlóan a sebesség vizsgálatánál alkalmazott módszerrel.
5. A légi járművek beszerzési, üzemeltetési, személyi költségei köztudottan magasak. A fix rendszer egyszeri, a légi járművek beszerzési költségétől jóval alacsonyabb beruházási költség után töredék költségen és gyakorlatilag személyi költség nélkül folyamatosan üzemeltethető.



25. ábra. A holt és megfigyelt területek aránya a repülési magasság és a kamera látószögének változásának függvényében. Forrás: Szerző.

Az ideális feltételek feloldása

A fenti vizsgálatok eredménye sík, vagy síkhoz közeli átszegdeltségű területre és kikötés nélküli, de nyilvánvalóan erdtűz szempontjából veszélyes időjárási viszonyokra vonatkozott. A fix telepítésű kamera rendszer alkalmazásának előnyeinel és a repülőgépek alkalmazásának lehetőségeinel meg kell vizsgálni azok korlátjait is.

Domborzat

A mintaterület lehetővé tette a tűz, vagy annak kísérőjeként megjelenő füst oldalról történő észlelését. Ez utóbbi a domborzati viszonyok által erősen befolyásolt. Ha a tűz észlelésére csak közvetett módon - pl. egy völgyben, domb, vagy hegy mögötti tűzkeletkezésnél, - a füst által van lehetőség, az észlelés feltétele a füstoszlop hegygerinc fölé emelkedése és annak a láthatóság, érzékelés küszöbének az elérése.

Amennyiben a domborzat tagoltsága és a szintkülönbségek jelentősek, úgy a füst fix megfigyelő rendszer általi észlelése jelentős, a hatékonyságot károsan befolyásoló mértékben is késhet. Ebben az esetben a légi járművek alkalmazásának hatékonysága ismét meghaladhatja a fix rendszerek eredményességét [62].

A domborzati viszonyok miatt Magyarországon nem tudok olyan nagyobb területi egységet lehatárolni, amelynél a légi járművek általi megfigyelés hatékonysága elérhetné a fix telepítésű rendszerek hatékonyságát. Ennek oka, hogy domborzatunk tagoltsága nemzetközi összehasonlításban elmarad akár a környező országokétól is. Ritkán találunk 300 – 500 m –től nagyobb szintkülönbséget a völgytalp és hegygerincek között, a legmagasabb csúcs, Kékestető is csak 1015 m magas. Szlovákiában, Ausztriában jelentősen magasabb hegyek, tagoltabb terepviszonyok, esetenként kanyonszerű völgyek találhatóak. Ezek olyan mértékben csökkenthetik a fix pontról történő megfigyelés, észlelés hatékonyságát, hogy a légi megfigyelés alkalmazása már indokolt lehet.

A hatékonyság abszolút kritériumát a fenti esetre a következőképp fogalmazom meg: a légi őrzőjáratozás alkalmazásának holt ideje (t_{holt}) kevesebb, mint a tűzfejlődés következtében a hegygerinc fölé emelkedő és az észlelési küszöböt elérő füst megjelenésének időbeli szóródásának átlaga.

Különösen veszélyeztetett időszakok

A különösen száraz időszakokban a tűz terjedési feltételei jelentősen kedvezőbbé válnak, aminek eredményeként a kialakult tüzek egységnyi idő alatt leégett területe megnövekedik. Az okozott kár nagyobbá válik, az oltáshoz szükséges erők és eszközök mennyiségét növelni kell, magasabb riasztási fokozatot kell elrendelni. Az oltási idő elhúzódik, ennek eredményeként a járulékos költségek is növekednek. A huzamosabb időre saját állomáshelyükről elriasztott egységek miatt az elriasztás helyének potenciális védelme csökken, a személyek és tárgyi eszközök veszélyeztetettsége nő. A fentiek egymást generálva is növelik a veszély kockázatát. A fenti kockázatok csökkenthetőek, amennyiben a tüzek szakszerű oltását a tűzoltóság a lehető legrövidebb időn belül, kialakulásuk még kezdeti szakaszában meg tudja kezdeni. Ennek feltételeként - a kockázat mértéke miatt stabil tűzmegfigyelő állomások létét egyébként nem igénylő területeken - a tűzészlelést légi járőrözéssel javasolom biztosítani. Ehhez ki kell dolgozni azokat az objektív mérőszámokat, amelyek alapján a légi járőrözés költségei nemzetgazdasági szempontból megtérülnek. A megtérülés értelmezése a tüzek gyors eloltásából eredően az elmaradt kárértékekre vonatkozik.

Saját tapasztalataim alapján a légi járőrözést alkalmazó országok meteorológiai adatokból számított tűzveszélyességi index alapján igénylik, illetve rendelik el a járőrözést. Ez szintén indokolja valamely nemzetközileg már alkalmazott szárazsági index magyarországi bevezetését és használatát. Tűzveszélyes időszakokban a légi felderítés gazdaságossági szempontból is hatékonyabb lehet, mint az annak kiváltását ideális esetben lehetővé tevő stabil megfigyelő állomás. Ennek oka, hogy a légi megfigyelés detektálási valószínűsége megnő, így fajlagos költségei a „találatok” számához viszonyítva csökkennek. A fajlagos költségek a nagyobb tűzterjedés miatt az egységnyi időre vonatkoztatott károkhoz mérve is csökkennek. Nehezen mérhető, de megítélésem szerint további előny származik abból, hogy a légi járőrözés a tüzet akár még végtelenül okozó személyek irányába is nagyobb odafigyelést indukál, egyfajta visszatartó erőt képez.

A légi felderítés fajlagos költségeinek további csökkentési lehetőségére mutatok rá a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazásával. A technikai színvonal ezt már ma is lehetővé teszi⁴⁹, azonban ennek jogi és szervezeti keretei még nincsenek kidolgozva.

⁴⁹ Személyes tapasztalatom alapján is a WRAP projekt keretében (Egyesült Államokban) a tűz észlelése céljából is sikeres kísérleteket folytattak 2007 évben.

3.4 A tűz eloltása utáni terület-megfigyelés

A tűz eloltása utáni feladatok közé tartozik a terület átvizsgálása, a még parázsló részek felkutatása, annak teljes eloltása céljából. Ezzel megelőzhető, hogy a tűz spontán, vagy a szél hatására visszagyulladjon, fölöslegessé téve az addig elvégzett oltási munkálatokat. Nagy terület egyidejű felügyelete jelentős erőforrásokat köthet le. Ez elkerülhető feladat a területért felelős egyéb személy, tulajdonos részére történő átadásával⁵⁰.

A személyes felügyelet hatékonysága korlátozott, hiszen az egyidejűleg átlátott terület nagysága a megfigyelő helyzetétől jelentősen függ, valamint az izzó gócok felkutatása, vagy észrevételezése csak a tűz, ember által észlelhető kísérőjelensége, az izzás és füstölés észlelése által lehetséges. Hőkamera alkalmazásával a láthatósági küszöb alatti részek is könnyen észlelhetővé válnak, objektív, a környezet hőmérsékletén alapul, elkerülve a szubjektív észlelés okozta tévedést.



21. kép. Eloltott terület megfigyelése hőkamerával.
Forrás: Szerző magánarchívuma.

Amennyiben az eloltott terület felügyelete hőkamera alkalmazásával és UAV igénybevételével valósul meg, úgy lehetőség van az adott terület egyidejű átláthatóságára és a parázsló gócok egyszerű detektálására.

Az UAV alkalmazása szempontjából ez a feladat nem jelent a korábbiakban vázoltaktól jelentősebb eltérést, így a tüzek felderítésére és monitorozására vonatkozó megállapításaim értelemszerűen alkalmazhatók. A végrehajtását jelentősen megkönnyíti, hogy a beavatkozáshoz viszonyítva kisebb a felelősség, nincs intézkedési kényszer és egyszerűbb a feladat [50]. Ezért ezt kiválóan alkalmasnak találok az UAV pilóták képzéséhez, tréningezéséhez.

⁵⁰ Tűzoltási Szabályzat 355. pontja alapján

3.5 A fejezet eredményeinek összegzése

A fejezetben a légi felderítés fogalomkörébe tartozóan vizsgáltam a tűzjelzést megelőző, a tűz detektálását célzó aktív észlelést; a tűzoltás folyamata során a tűz alakulásának állandó nyomon követését, monitorozását; valamint a tűz oltását követő utómunkálatok közbeni, a visszagyulladás megelőzését szolgáló információszerzést.

A tűzoltás folyamata során történő légi felderítés hatékonyságát szakmai, nemzetgazdasági és források szűkössége szempontú hipotézisek felállításával vizsgáltam. A rendszeres alkalmazás példájával bizonyítottam a szakmai szempontú hatékonyságot, valamint meghatároztam a nemzetgazdasági szempontú hatékonyság teljesülési feltételeit. A szűkös források rendelkezésre állása miatt a légi felderítés költségeinek jelentős csökkentési lehetőségét kerestem, amelynek során - bizonyítva a felderítés minimum követelményeinek teljesíthetőségét - a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazási lehetőségét tártam fel. Meghatároztam a tűzoltásnál hatékonyan bevethető UAV-kal szemben támasztott követelményeket és a tűzoltóságok között a világon elsőként Szendrőben történő készenléthez állítással bizonyítottam ennek gyakorlati megvalósíthatóságát.

Az UAV-k tűzoltók által történő alkalmazásával a tűzoltást megelőző légi felderítés lehetőségét bizonyítottam, amely szükségszerűen általánossá válhat.

A tüzek észlelése céljából történő légi felderítés hatékonyságát szintén szakmai, nemzetgazdasági és források szűkössége szempontú hipotézisek felállításával vizsgáltam. A szakmai hatékonyság kritériumának teljesülését a légi felderítés, valamint a külső személy által adott jelzések idejének viszonyításától tettem függővé. A fejezetben felállítottam a nemzetgazdasági szempontú hatékonyság teljesülési feltételeit, kikötve, hogy azokat csak eddig még nem alkalmazott objektív mérőszám bevezetése garantálhatja, amelynek bevezetésére javaslatot tettem. A szűkös források rendelkezésre állása miatt a légi felderítés hatékonyságának repülési paraméterek változtatásával történő növelési lehetőségét kerestem, amelynek során idealizált, sík területre vonatkoztatva - származtatott eredményként - stabil megfigyelő állomások létjogosultságát bizonyítottam. A sík terület feltételezését feloldva a domborzat tagoltságától függően, valamint különösen száraz időszakokban bizonyítottam ítélem a légi járőrözés hatékonyságát.

A tüzek eloltása utáni terület-megfigyelés céljára szükség szerint a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását javaslom, különös tekintettel az UAV pilóták képzésére, tréningezésére.

4 A LÉGI TŰZOLTÁS ELMÉLETI ALAPJAI

4.1 Az oltóanyag kibocsátása és deformációja

A légi tűzoltás hatékonyságát legalapvetőbb módon az oltóanyag kibocsátásának körülményei határozzák meg. Ahhoz, hogy a kibocsátás a leghatékonyabb módon történjen, a beavatkozást végzőnek ismernie kell azokat a folyamatokat és tényezőket, amelyek ezeket befolyásolják. A következőkben az ürítésre ható legfontosabb tényezők vizsgálatát végzem el. Az elemzésekhez a nemzetközi kísérletek és gyakorlati tapasztalatok eredményeit használom föl.



22. kép. MI – 17 helikopter és CL – 415 repülőgép oltóanyag kibocsátása. Forrás: Internet.

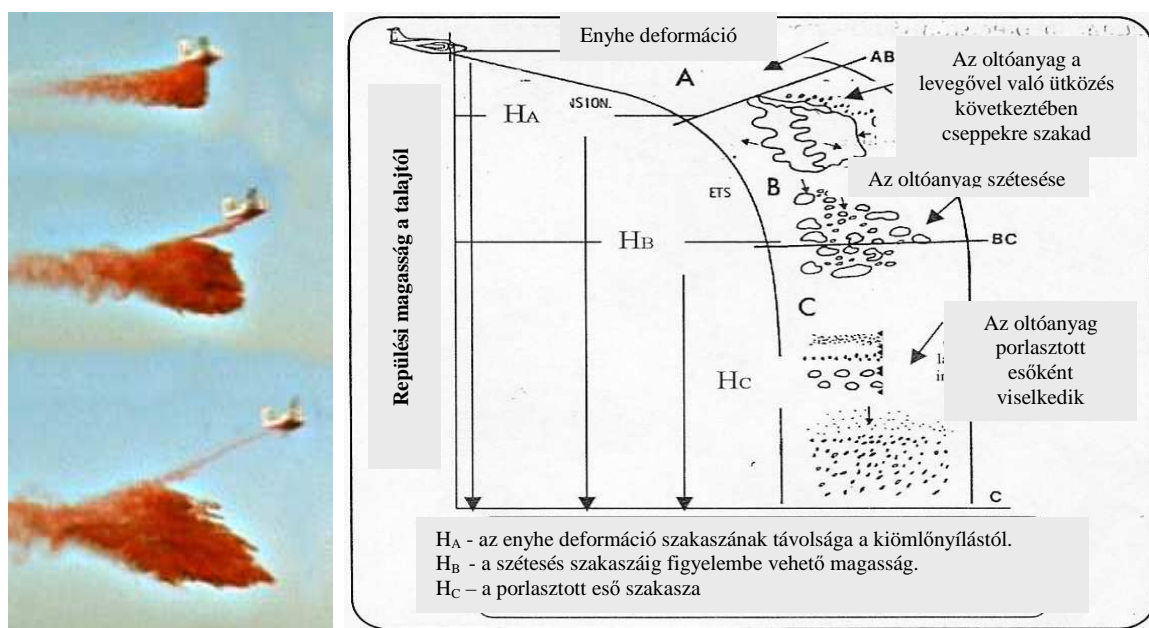
A kibocsátott oltóanyag viselkedésének megértése és leírása céljából számos kísérletet végeztek⁵¹, amelyek következtetéseit a 26. ábrán mutatom be [30]. Az oltóanyag viselkedése három, viszonylag jól elkülöníthető szakaszra bontható:

Az **első szakaszban** a tartály kinyitása után a gravitációs erő hatására a víz tömörszerűen kiömlik. A tartálynyílást elhagyó víz a körülvevő nyugalmi állapotú levegővel találkozik. A kezdetben a repülési sebességgel megegyező sebességű, tömörszerűen együttálló oltóanyag enyhén deformálódik. Az ábrán az enyhe deformációt szenvedett, még tömörszerű oltóanyag megjelölése „A”, a tömörszerűség még elfogadható magassága „H_A” megjelöléssel szerepel. Ez a kibocsátás vonalától az AB vonalig terjedően értelmezhető, amely az **enyhe deformáció szakasza**.

A **második szakaszban** – folytonos átmenettel bár, de a vizsgálat céljából „AB” megjelölésű vonallal elkülönítve és „B” jelöléssel diszkrétan meghatározva – a még

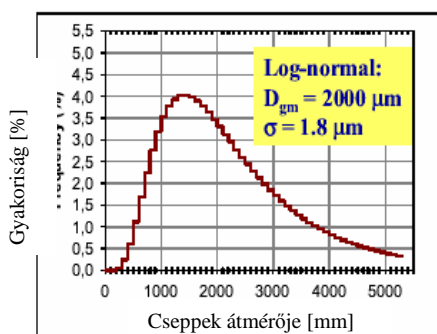
⁵¹ Saját tapasztalataim alapján a légi tűzoltást alkalmazó országok mindegyikében végeztek meghatározott szintű kísérlettel egybekötött gyakorlatot, így Magyarországon is többször.

tömszerűen együttálló oltóanyag a levegővel sűrűlődvé és ütközve folyamatosan kisebb – nagyobb cseppekre szakad. Az oltóanyag felülete nagyságrendekkel megnövekszik. A nagyon apró cseppek gyorsan elveszítik vízszintes irányú sebességüket, leszakadnak, és szétporladva elhagyják a kívánt teret. Ez jelentős veszteséget okoz, mert ez az anyagmennyiség nem vesz részt az oltásban. Az oltóanyag nagyobb cseppei vízszintes irányú mozgáskomponensükből folyamatosan veszítenek, míg a függőleges komponensük jelentősen növekedik. A második szakasz a **szétesés szakasza** és az ábrán az „AB – BC” vonalak közötti részre értelmezem.



26. ábra. Az oltóanyag viselkedése a kibocsátás után. Forrás: Hardy.

Az utolsó, **harmadik szakaszban** az oltóanyag vízszintes irányú sebességösszetevőjének jelentős részét már elveszítette, a függőleges irányú mozgáskomponense a kibocsátás magasságától függően jelentőssé vált. Az oltóanyag szétesése és porladása tovább tart, a cseppek nagysága és formája esőszerűvé válik. Az ábrán ez a szakasz a „BC” vonaltól a becsapódás helyéig, a „C” vonalig tart. Ez a szakasz a **porlasztott eső szakasza**.

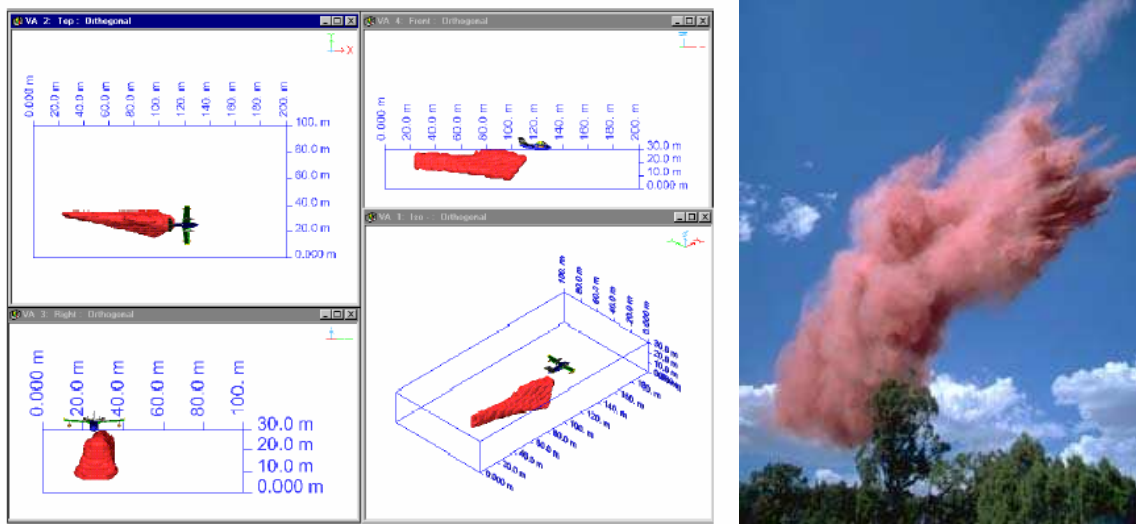


27. ábra. A cseppméretek gyakorisága. Forrás: Tomé.

A 27. ábrán az utolsó szakaszban felszínre érkező vízcsepp méretek és azok gyakorisági eloszlása látható [71]. A cseppek jelentős része az oltás szempontjából hatékonynak ítélnélhető 0,5 – 3 milliméter értékek közé tehető .

4.2 A szóráskép modellezése

A kibocsátás utáni deformáció pontos kialakulását bonyolult matematikai formulák írják le [63]. A végkövetkeztetések levonásához azonban ezeket mellőzöm és olyan egyszerűsített modellt alkotok, amely a valós szórásképet a gyakorlatban is még elfogadhatóan alkalmazhatóvá teszi. Szórásképnek nevezem a deformáció változásának repülési sebességre merőleges síkú vetületét.



28. ábra. Az oltóanyag kibocsátásának vizsgálata több metszetben. Forrás: Tomé.

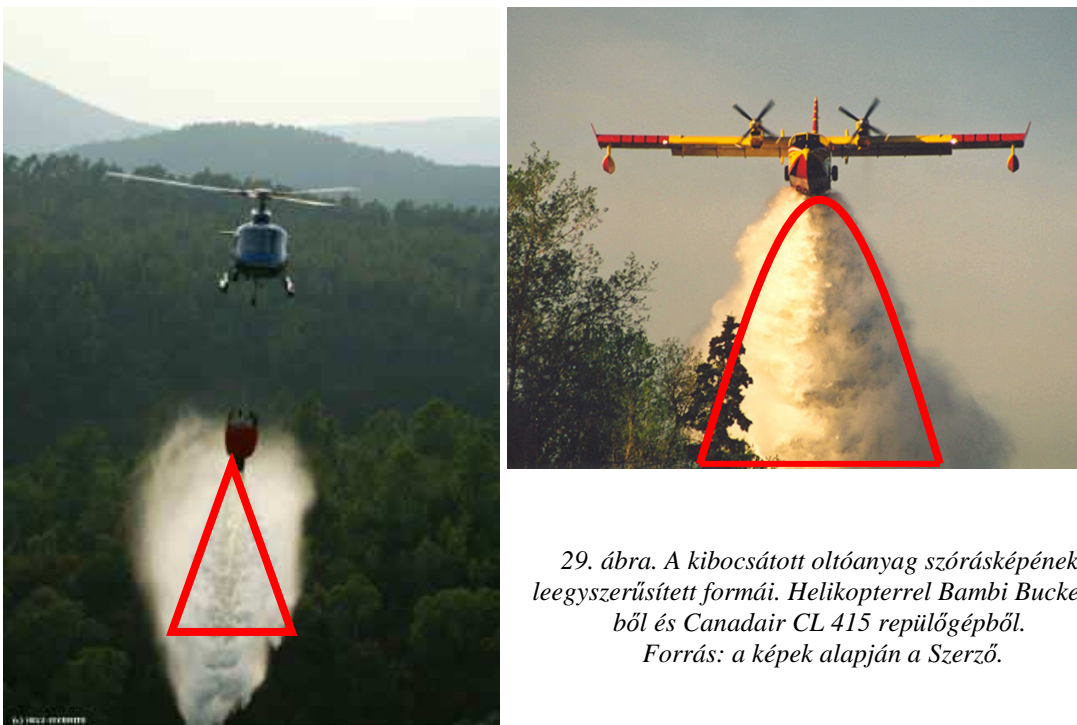
A repülőgépek kiömlőnyílását pontszerű kibocsátásnak feltételezve a szóráskép metszete a kiömlő nyílástól távolodva mindinkább telt lesz. Ennek oka, hogy a légellenállás a sebesség négyzetével arányos, így nagy sebességű kibocsátás esetén a kiömlő víz egy idő után szinte szétrobban, ami az oldalirányú kiterjedést segíti elő. Az oltóanyag vízszintes irányú mozgása csökken, míg a függőleges irányú a szabadesés hatására növekedik. A légellenállásnak mindkét esetben sebességcsökkentő hatása van.



23. kép. A valós kibocsátás képei szemből. CL 415, MI – 17 és C – 54. Forrás: Internet.

4.2.1 Parabola modell

A 29. ábrán látható kibocsátások között az egyik alapvető különbséget a repülések sebességei között találjuk. A kis sebességű⁵², elsősorban a helikopterekkel külső függesztésű tartályokból történő kibocsátások szórásképei a gyakorlat számára elfogadható mértékben egyszerűsíthetők egy háromszögformához. A sebesség növelésével a közegellenállás négyzetesen változik, így a kiömlő oltóanyagot a közegellenállás, a levegő súrlódása intenzívebb oldal irányú terjeszkedésre készíti. Ez a torzulás már a gyakorlat számára sem fogadható el a háromszögforma alkalmazásával. Ez utóbbi esetben a szóráskép egy fordított parabolával közelíthető.



29. ábra. A kibocsátott oltóanyag szórásképeinek leegyszerűsített formái. Helikopterrel Bambi Bucket –ből és Canadair CL 415 repülőgépből.
Forrás: a képek alapján a Szerző.

A parabolaforma kialakulásának oka nem csak a nagy sebességgel való ütközés, de a nagy magasságból történő kibocsátás is lehet, függetlenül a repülési sebességtől. A szabadesés hatására egységnyi oldalirányú terjedésre egyre nagyobb függőleges sebességkomponens jut, így a cseppek átlagos esési pályája jól reprezentálható a parabolaformával.

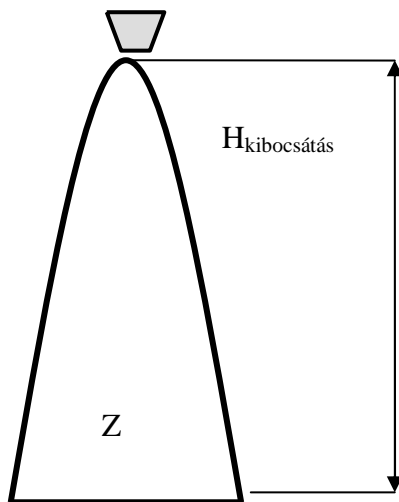
A nagy sebességű kibocsátás jellemzően nagytestű merevszárnyas repülőgépek alkalmazása esetén valósul meg. A nemzetközi gyakorlatban számos olyan repülőgépet alkalmaznak, amelyet nem tipikusan tűzoltásra terveztek, így az alacsony sebességgel

⁵² A témakör szempontjából a 160 kmh^{-1} alatti repülési sebesség kicsinek, az e fölötti nagyoknak értelmezhető.
[30]

történő ürités repülési feltételei nem biztosítottak. A nagy sebességű kibocsátás a tűzoltás viszonyait figyelembe véve többnyire nagyobb repülési magasságból⁵³ történik, meghaladhatja akár a 150 m –t is [30].

A nagy testű és viszonylag nagy sebességű repülőgépek (2. táblázat, A kategória) alkalmazásának előnye, hogy típustól függően óriási mennyiségű oltóanyag kijuttatását teszi lehetővé. Magyarországon nagy testű merevszárnyas repülőgépet tűzoltásra még nem alkalmaztak és megítélésem szerint nemzetközi együttműködés lehetőségét kivéve ez nem is várható.

A modell matematikai formája a parabola egyenletének inverzéből adódik. Az egyenletben a „k” értékét a környezeti tényezők, valamint az oltóanyag jellemzők is módosítják.



30. ábra. A kibocsátás parabola modellje. Forrás: Szerző.

A parabola egyenlete $y = x^n$, amelyből a modell tényezőinek figyelembe vételével a szórt felület szélességére a következő képlet adódik:

$$Z = 2k^n \sqrt{H_{kibocsátás}} \quad (4.1)$$

A kibocsátás magasságának a meghatározására a nedvesíteni szükséges felület szélességének ismeretében:

$$H_{kibocsátás} = \left(\frac{Z}{2k} \right)^n \quad (4.2)$$

A „k” tényező, valamint az „n” kitevő meghatározásának bizonytalansága miatt a nemzetközi gyakorlat a nedvesíteni szükséges védelmi vonal szélességének meghatározására a korábbi bevetések, kísérletek tapasztalatait alkalmazza [16] [20] [25]. Az „n” kitevő leginkább leegyszerűsített formája a normál parabola megalkotását lehetővé tevő második hatvány. A „k” tényező alap értéke az 1.

4.2.2 A háromszög modell

A 29. ábrán az oltóanyag nagyobb sűrűségű tömegét rajzoltam körül. A kibocsátás helyéről rajzolt egyenes vonalakkal ez a koncentráltabb tömeg jól reprezentálható. Az oltás

⁵³ A témakör szempontjából a repülést 50 m föld feletti magassáig alacsonynak ítélem, a 100 m fölöttit nagyknak.

szintjét vízszintesnek feltételezve és megrajzolva egy háromszöget kapok. A háromszög modellként való alkalmazhatósága jelentősen egyszerűsítheti a repülési magasság és a nedvesített terület szélességének meghatározását. A repülési magasság viszonylag egyszerű és távolabbról is megítélhető értékéből következtetni lehet a kialakított védelmi sáv szélességére, vagy fordítva, a szükséges védelmi sáv kialakításához meg lehet választani a repülési magasságot.

A háromszög modell alkalmazhatóságát gyakorlati tapasztalatok alapján igazolom. A 10. táblázatban a már Magyarországon is alkalmazott repülőgép típusok által - a vizsgálat szempontjából⁵⁴ - még alacsony sebességnek számító kibocsátásokhoz tartozó szórt felületek szélességei láthatók. A repülési magasság és a szórt felület szélessége közötti arányszám egymáshoz közeli értéket mutat. Ez az arányszám alkalmas arra, hogy szögfüggvény segítségével a szórásképet modellező háromszög csúcsának szögét meghatározzam.

	Repülőgép típusa	A kibocsátás sebessége (kmh ⁻¹)	A kibocsátás magassága (m)	Szórt felület szélessége (m)	Arány	A kibocsátás szórászsöge (°)
1.	MI – 8T ⁵⁵	120	40 (50)	15	2,67	21,1
2.	Z – 137T ⁵⁶	150	31	12	2,58	21,7
3.	MI – 2 ⁵⁷	150	45	17	2,65	21,2

10. táblázat. A kibocsátás szórászsögének meghatározása. Forrás: Szerző.

A hivatkozott mérések bizonytalanságára nincs adat, viszont a skálázásból feltételezem, hogy nagysága legfeljebb 1 m körüli. Bármely megadott adat értékét ezzel módosítva számításaim szerint a változás nem jelentős. A fentieket is figyelembe véve a szóráskép szöge a következő matematikai összefüggéssel írható le:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{1}{2} \frac{Z}{H_{\text{kibocsátás}}} \quad (4.3)$$

β - az oltóanyag kiáramlásának szöge;

Z - a beszórt felület szélessége;

$H_{\text{kibocsátás}}$ - a tartálynyílás szórási felülettől mért magassága.

⁵⁴ A légi tűzoltásnál a 160 kmh⁻¹ sebesség alatti értékek alacsonynak számítanak [30].

⁵⁵ Bambi Bucket. A zárójelben a helikopter repülési magassága [17].

⁵⁶ Kísérlet. [74]

⁵⁷ Kísérlet. Belső tartályból történt a kibocsátás. [33]

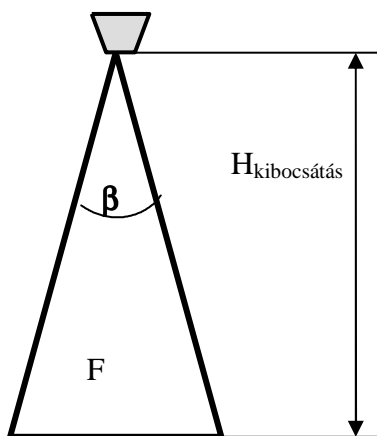
Az egyenlet átrendezésével:

$$Z = 2tg \frac{\beta}{2} H_{\text{kibocsátás}} \quad (4.4)$$

A fenti képletbe a „ β ” elfogadott értékét behelyettesítve:

$$Z = 0,176H_{\text{kibocsátás}} \quad (4.5)$$

Ez a formula nem alkalmas egyetlen pilóta vagy tűzoltásvezető részére sem, hogy gyors döntéseit elősegítse. A hatékony oltáshoz szükséges repülési magasság meghatározásához ezt is kerekíteni célszerű olyan mértékben, amely a taktikai pontosság igényét kielégíti, de a modell alapjait nem sérti.



31. ábra. A háromszög modell.
Forrás: Szerző.

A fenti adatokat és az eddigi tapasztalatokat felhasználva, ha a repülési magasság nem haladja meg az 50 métert, a repülési sebesség nem több mint 160 kmh^{-1} , akkor a lombzat felső szintje és a tartálynyílás közötti távolság meghatározásából a szórási felület metszetének a gyakorlat által elfogadható és használható közelítő értékét kapjuk (4.6

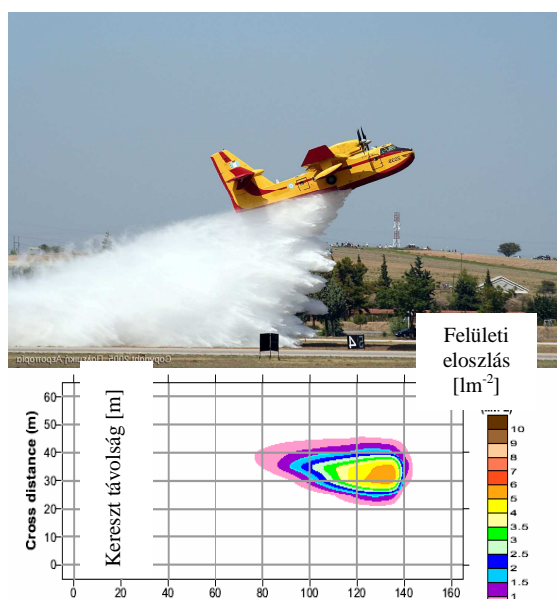
képlet). Figyelembe véve az egyéb tényezők bizonytalanságát (pl.: a repülési magasság pontos megítélése) és jelentősen módosító szerepét (pl.: a szél, a légcsvár vagy forgószárny leáramlások hatásai) a kapott érték pontossága a gyakorlatban elfogadható és egyszerűségénél fogva alkalmazható is.

$$Z \approx \frac{1}{5 \div 6} H_{\text{kibocsátás}} \quad (4.6)$$

Hazánkban a jelenlegi légi jármű eszközpark a földközeli magasságú, viszonylag kis sebességű oltóanyag kibocsátásokat teszi lehetővé, amelyre a fent leírt háromszög modell alkalmazását javasolom. A modellek alkalmazása leginkább előzetes számításoknál, kísérletek várható és tapasztalati úton nyert értékeinek összevetésénél előnyös. A direkt oltások esetében, különösen magasabb tűzintenzitású frontvonalak oltásánál a hatékonyságot az ütőhatástól várjuk, így a szórásképet leíró modellek alkalmazásának célszerűsége nem nyer értelmet. A továbbiakban a magyarázataimnál az egyszerűsége és realitása miatt a háromszög modellt alkalmazom, az eltérő eseteket külön megjegyzem.

4.3 A kibocsátott oltóanyag felszínén történő eloszlása

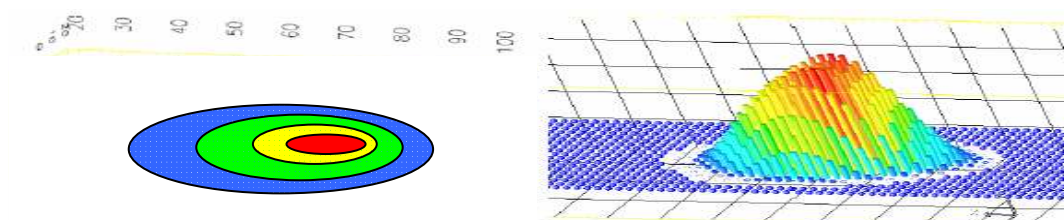
A légi tűzoltás hatékonysága azzal mérhető, hogy a kibocsátott oltóanyag mennyire képes elfojtani, mérsékelni az oltani kívánt tüzet. Az oltóanyag egységnyi felületre vonatkoztatott mennyiségének el kell érnie a tűz eloltásához, vagy a taktikailag megkívánt mérsékléséhez szükséges értéket. Amennyiben a szükségesnél jelentősen magasabb a koncentráció, úgy a kívánt helyen az oltás sikeres bár, de a rendelkezésre álló oltóanyag vesztésesen került alkalmazásra. A hatékony oltás érdekében, de az erőforrások szűkös rendelkezésre állása miatt szükséges a felületen megjelenő oltási kép elemzése.



32. ábra. Az oltóanyag felületi eloszlása. Forrás: Tomé.

A felületre kibocsátott oltóanyag a tapasztalatok szerint nem egyenletes mértékben oszlik el. A mérések azt mutatják, hogy az oltóanyag a földet érés után egy szabálytalan, **elliptikus-formához** hasonlítható nedvesített felületet hagy maga után [71]. Amennyiben az egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyiségét kategóriákba soroljuk, úgy az „elliptikus-formák” **koncentrikusan** helyezkednek el, legbelül a legmagasabb, legkívül a mérési küszöböt elérő nedvesítési értékkel. A gyakorlati alkalmazás érdekében az elliptikus-formát szabályos **ellipszis-** [20],

vagy még egyszerűbben **téglalap-formára** [15] torzítják és súlypontját a kibocsátás jellegzetességeinek függvényében a legmagasabb koncentrációjú területére helyezik, vagy téglalap formánál egyenletes eloszlásúnak veszik.⁵⁸



33. ábra. Az egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyiség két-, és háromdimenziós megjelenítéssel. Forrás: Tomé nyomán a Szerző.

⁵⁸ Saját tapasztalataim alapján a vizsgálatokkal mélyebben foglalkozó országok (pl. a mediterrán térség) ellipszisformát alkalmaz, míg mások a gyakorlati egyszerűség kedvéért téglalapformát (pl. Szlovákia).

4.4 A felszíni eloszlást módosító tényezők vizsgálata

A kibocsátott oltóanyagra számos tényező hat, amelyek kisebb - nagyobb mértékben befolyásolják a felszíni eloszlást. A módosító tényezők közül a repülési magasság, a sebesség és a szél hatását vizsgálom.

4.4.1 A repülési magasság

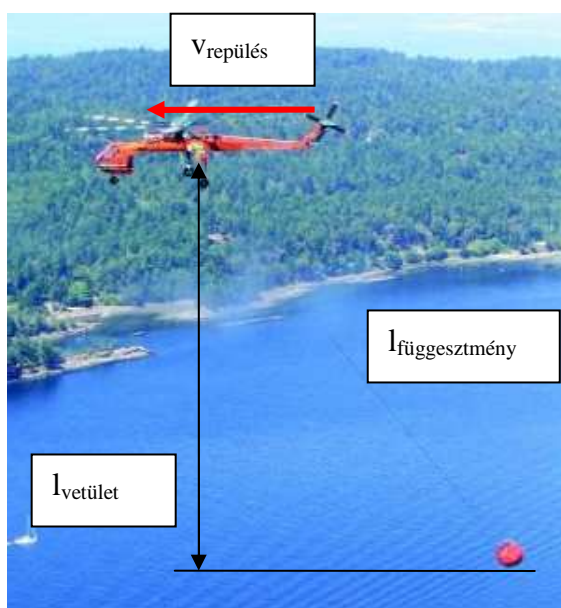
A repülési magasság összetevői

A tartályból kiömlő oltóanyag a lombozattal találkozva oldalirányba már nem terjed tovább. Ezért a repülési magasság optimális megválasztását adott sebességnél, a talajszinttől mérve a következő adatokból számítom:

- a függesztmény függőleges vetülete;
- a lombozat magassága;
- egyéb, nem taktikai célok és megfontolások.

A függesztmény függőleges vetülete

A függesztmény függőleges vetületét a helikopterhez rögzített kötéll hosszának és a szállított víztartály magasságának függőleges vetülete adja. A légellenállás miatt a helikopter mintegy „húzza” maga után a tartályt. A kötéll függőlegessel bezárt szögét a légellenállási tényező, a tartály töltöttségi állapota és a repülési sebesség határozza meg.



34. ábra. A függesztmény vetülete üres tartály esetén. Forrás: a kép alapján a Szerző.

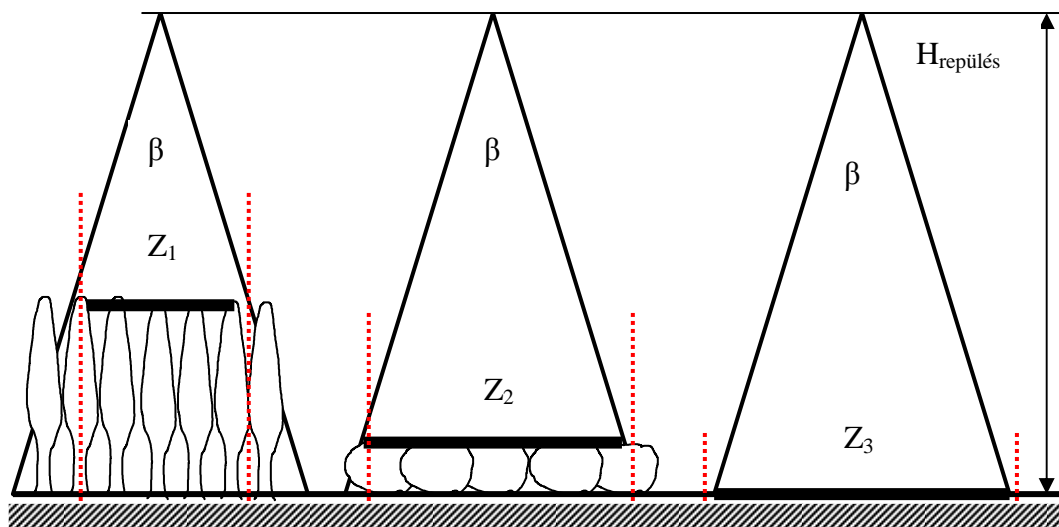
A 34. ábrán a „ $V_{\text{repülés}}$ ” a helikopter vízszintes irányú sebességét, az „ $l_{\text{függesztmény}}$ ” az oltóanyag tartályát és a tartókötéll hosszát, az „ $l_{\text{vetület}}$ ” a függesztmény függőleges vetületét jelöli. A gyakorlatban a repülési sebességnek nem a helikopter teljesítménye szab korlátot, hanem a függesztmény repülés közbeni, a sebességtől függő „viselkedése” un. repülési tulajdonsága. A biztonságos repülés követelményét kielégítve ez az érték a tartály méretétől és típusától függ, általában nem haladja meg a maximum 160 kmh^{-1} repülési sebességet.

A repülési sebesség növekedésével a növekvő légellenállás miatt a függesztmény egyre inkább „lemarad”, a helikopter mintegy húzza azt maga után (34. ábra). Ha a tartály tele van, úgy az erőegyensúly kisebb lemaradásnál, nagyobb függőleges vetületnél jön létre (6. kép).

A lombozat magassága

A lombozat magassága alatt a talaj és a növényzet lombozatának felső, átlagos szintje közötti magasságot értem. Ennek azért van döntő szerepe, mert a tűzoltási manőverek a normál repüléstől eltérően többnyire földközeli repülési magasságokon kerülnek végrehajtásra. Ilyenkor a növényzet magasságának aránya a repülőgép földfeletti repülési magasságához viszonyítva jelentős hányadot képvisel.

Azonosan széles benedvesített felület elérése érdekében egy bozótos 2 - 3 m-es magassága, valamint a lábas erdők 15-20 m-es felső koronaszintje fölött más-más földfeletti repülési magasság megválasztása indokolt.



35. ábra. A benedvesített felület keresztmetszetének változása különböző magasságú növényzet esetén (lábas erdő, bozótos, füves talaj). Forrás: Szerző.

A szórási kép azonos földtől mért repülési magasság és különböző magasságú növényzet esetén változik. A „Z₁”, „Z₂”, és „Z₃” metszeteken szemléltetem, hogy a változó magasságú növényzetnél, de azonos repülési magasságoknál mennyire eltérő a kibocsátott oltóanyag felületi eloszlásának mértéke.

Adott „H_{repülés}” repülési magasság és adott „β” szórási szög esetén a benedvesített terület szélessége a háromszög modell alapján kiszámítható. Ehhez a korábbi egyszerűsítő feltétel alkalmazását javaslom.

Egyéb, nem taktikai célok és megfontolások

Nem taktikai cél, de a repülő eszközök igénybevételénél a biztonság követelményének kiemelt szerepet kell kapnia. Így a tűzoltás szempontjából optimális repülési magasságtól a valós rárepülési magasság eltérhet, ami a pilóta által biztonságosnak ítélt magasságnál semmi esetre sem lehet alacsonyabb. Ez repülésbiztonsági kérdés.

Ma Magyarországon a légi tűzoltásra, mint speciális feladatrendszerre csak általános jogszabályi előírások [81] [82] vannak megfogalmazva⁵⁹, módszertani útmutató, vagy leírás nincs.

A fentiek alapján akár a tűzoltás-taktikai szempontok ellenére is, a repülési magasság alsó szintjét repülésbiztonsági kérdésként kezelve szükséges meghatározni. A földközeli repülés szabályai és annak betartása saját tapasztalataim alapján is eltérőek. A polgári repülésben mezőgazdasági célú repüléseket végrehajtó pilóták repülési idejük legnagyobb részét olyan alacsony magasságokon hajtják végre, amelyek más polgári, vagy katonai célú repülésben ideiglenes jellegűek, vagy szigorúan tiltottak. A fentiekből adódik, hogy a mezőgazdasági célú repüléseket végrehajtó állománynak jelentős gyakorlati tapasztalata van a földközeli repülések szakszerű és biztonságos végrehajtásában.



24. kép. Bravúros, de biztonságosnak aligha nevezhető manőverek... Forrás: Internet.

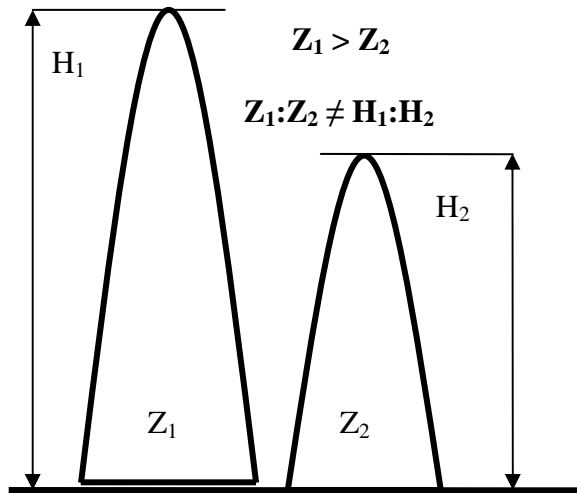
A légi tűzoltás speciális repülési feladat, amely kellő repülési tapasztalat és gyakorlat hiányában tragikus következményekhez vezethet. A média által minden évben hallhatunk a légi tűzoltókat ért balesetokről⁶⁰, amelyek oka rendszerint a földközeli manőverezés okozta nehézségekre vezethető vissza. A fentiek alapján a feladatrendszer ellátásához szükséges biztonsági intézkedések és feltételek meghatározását javasolom.

⁵⁹ Polgári repülés esetén: 14/2000. (XI.14.) KöViM Rendelet 2. Fejezet 2.1.9.2 pontjai. Katonai repülés esetén: 3/2006. (II.2.) HM Rendelet 13. § pontjai.

⁶⁰ 2007. július 23 –án tűzoltás közben a Görög Légierő 2 db CL 415 repülőgépet veszített egyetlen nap alatt.

A repülési magasság változásának hatása a felszíni eloszlásra

Azonos repülési sebesség esetén a növényzet felső szintje és a tartály közötti magasság változtatásával a szórt felület nagysága megváltozik. Itt a repülési magasságot

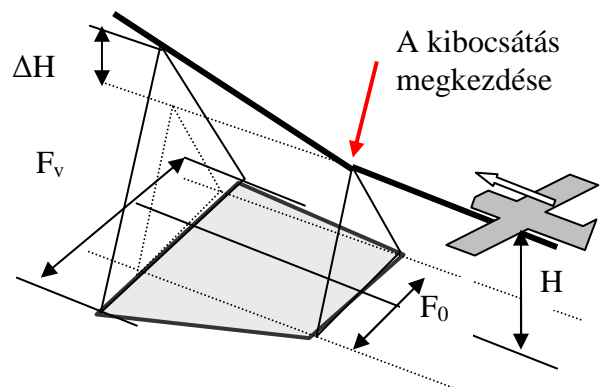


36. ábra. A repülési magasság és a szórt felület metszetének viszonya. Forrás: Szerző.

úgy célszerű megválasztani, hogy az biztosítsa az egységnyi felületre szükséges vízmennyiség kijuttatását. A fentiek azonos hosszúságú, de különböző szélességű átnedvesített felületeket eredményeznek, amelyek a magasság növelésével az egységnyi felületre jutó oltóanyag csökkenését jelentik. A tapasztalatok azt mutatják [30], hogy a magasság növelésével a szórt felület szélessége nem egyenes arányban növekedik. Földközeli repülési magasság és alacsony repülési sebesség

esetén a háromszög modell alkalmazható, azonban nagyobb magasságokon, illetve nagyobb repülési sebességgel történő őrítésknél már nem. Az oltóanyag ebben az esetben a tartály nyílását elhagyva a levegővel történő súrlódás miatt oldal irányba is jelentősen terjeszkedik. A lefelé hulló vízcseppek gyorsuló mozgása miatt a szóráskép parabola képet mutat.

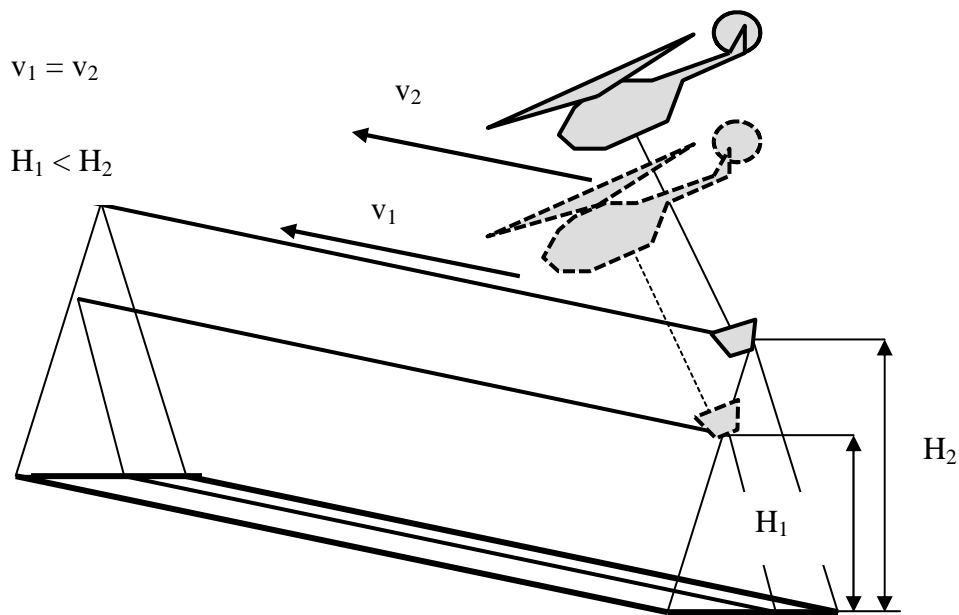
A fentiekből az a következtetés lenne levonható, hogy a magasság növelésével a nedvesített felület szélessége – bár azzal nem lineárisan, de – egy bizonyos határ magasságig növelhető lenne. A gyakorlatban azonban az tapasztalható, hogy a magasság egy bizonyos határon túli növelésével a nedvesített felület szélessége már mérhetően nem változik, viszont az egységnyi felületre jutó oltóanyag csökken. Ebből azt a következtetést vonom le, hogy mivel az oltóanyag szabadesése közben a légellenállás megnő, súrlódáshoz, az oltóanyag porlasztásához vezet és további kiszórási veszteséget okoz.



37. ábra. A repülőgép emelkedése kibocsátáskor korrigálás nélkül. Forrás: Szerző.

A fentiek alapján ezért a repülési magasság felső korlátja tűzoltás-taktikai szempontból meghatározható.

A magasság nem szándékos változásának gyakori oka a repülőgép súlyához viszonyított jelentős vízmennyiség hirtelen kibocsátása. Ez a repülési üzemmód váltása nélkül - a már kialakult repülőgépsúly-felhajtóerő egyensúlyt felborítva - a repülőgép intenzív emelkedésében nyilvánul meg. Néhány rárepülés végrehajtása után azonban a pilóta „hozzászokik”, mintegy „begyakorolja” a hirtelen tömegcsökkenés okozta magasságváltozás korrigálásának, az üzemmód változtatásnak a módját.



38. ábra. Szórási felületek a repülési magasság függvényében. Forrás: Szerző.

4.4.2 A repülési sebesség

A repülési sebesség hatása

A repülési sebesség megválasztása - a repülési magassághoz hasonlóan - jelentős hatást gyakorol az oltás hatékonyságára. A $v = st^{-1}$ képletből a „t” értékére a tartályban lévő oltóanyag mennyiségének kifolyási idejét állandónak véve következik, hogy a „v” repülési sebességtől függő „s” szórási utat kapunk. A sebesség növelésével, azzal egyenes arányban növekvő szórási útvonalat kapunk.

A fentiek alapján látszólag tág határok között lenne befolyásolható a nedvesített felület hossza. A valóságban a szórási útvonal tetszőleges változtatásának több akadálya is van. A merevszárnyú repülőgépeknél a minimális szórási sebesség értéke el kell érje, ill. meg kell haladja a biztonságos manőverezéshez szükséges tartalékkal növelt átesési

sebesség értékét. Ugyan így, de más aerodinamikai magyarázattal a sebesség minimális értéke a helikopterek esetében is lehet korlátozott. A helikopterek szállító képessége erősen függ a környezeti levegő hőmérsékletétől. Így esetenként előfordulhat, hogy bizonyos feladatokat csak korlátozva vagy egyáltalán nem képesek megoldani (pl. pontszerű oltás).

Kibocsátás ideje (s)	Repülési sebesség (ms ⁻¹ ; kmh ⁻¹)				
	20	30	40	50	60
	72	108	144	180	216
1	20	30	40	50	60
1,5	30	45	60	75	90
2	40	60	80	100	120
2,5	50	75	100	125	150
3	60	90	120	150	180
3,5	70	105	140	175	210
4	80	120	160	200	240

11. táblázat. A szórt felület hosszának változása a sebesség és az ürítés idejének függvényében. Forrás: Szerző.

A sebesség maximális értéke sem lehet tetszőleges. A legalapvetőbb korlátozó tényező a repülőgépek és helikopterek teljesítményének határa. Helikopterek esetében a külső függesztményként szállított tartály aerodinamikai viselkedése is korlátot szab a sebesség növelésének.

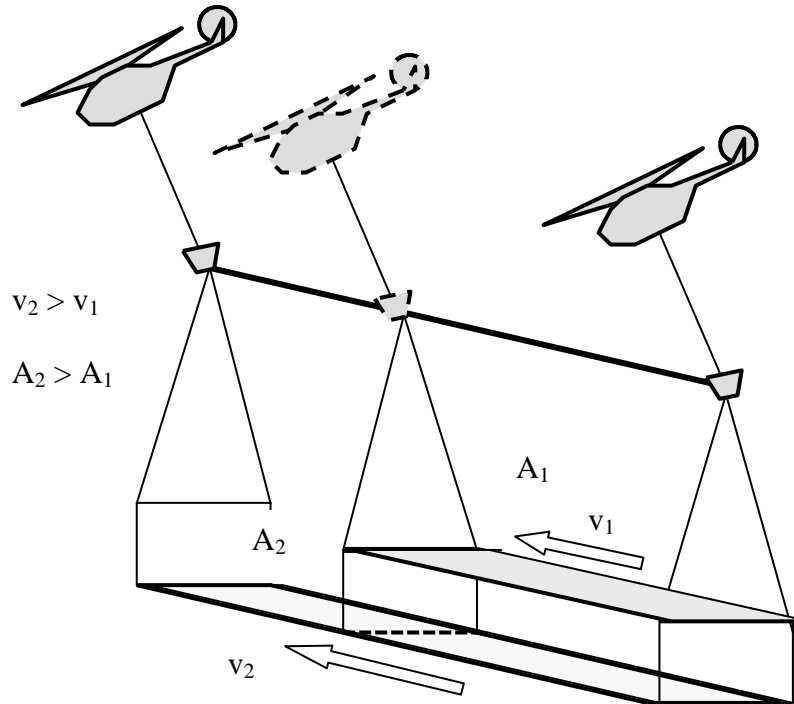
A repülési sebesség változásának hatása a felszíni eloszlásra

A szórási útvonal hosszát alapvetően a tűzoltás taktikai megfontolások adják, ami a tűzoltás hatékonysága érdekében az egységnyi felületre kijuttatott megfelelő mennyiségű vizet veszi figyelembe. A repülési sebesség növekedése a szórt felület sebességgel arányos növekedését, és ezzel együtt az egységnyi felületre kijuttatott oltóanyag mennyiségének csökkenését okozza.

	Oltóanyag mennyiség [kgm ⁻²]	Az ürítés hossza [m]	A repülés sebessége [kmh ⁻¹]
1.	0,2	101	144
2.	0,4	86	144
3.	0,8	54	144
4.	1,2	38	68
5.	1,6	35	68
6.	2,4	25	68
7.	3,2	18	68
8.	4	14	68

12. táblázat. Helikopterrel történő kibocsátás tapasztalati adatai az oltás középvezetékében. Forrás: Silva.

A sebesség csökkentése értelemszerűen a szórt felület csökkenését és az oltóanyag egységnyi felületre jutó arányos növekedését okozza. Külső függesztménnyel végrehajtott kísérletek (Bambi Bucket) során a 12. táblázatban látható értékeket kapták az egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyiséget az oltás középvezetékében mérve [67].



39. ábra. A repülési sebesség változásának hatása a szórt felület nagyságára. Forrás: Szerző.

4.4.3 Az oltóanyag veszteségei

Az oltóanyag veszteségeit leginkább a repülési sebességgel lehet összefüggésbe hozni, ezért itt tartom őket célszerűnek kifejtetni.

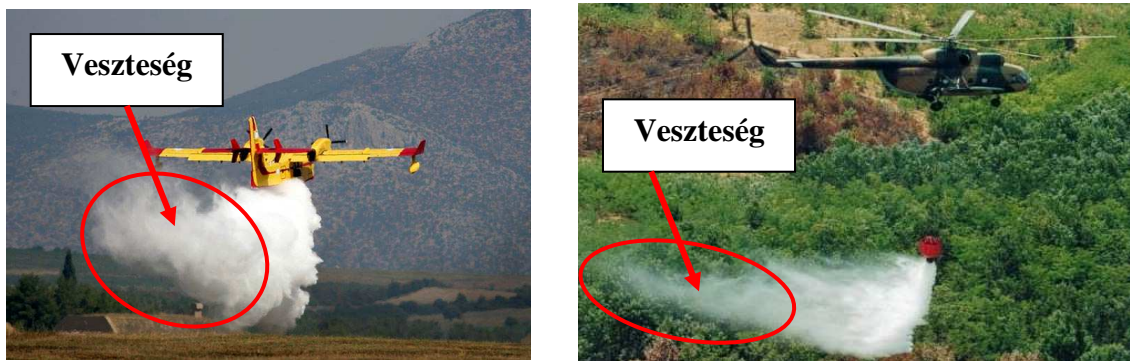
Szállítási veszteség

A helikopterek esetében a külső függesztmény nyitott teteje miatt a szállítás során jelentős veszteség keletkezhet. A veszteségek egyik összetevőjét az oltóanyag a tartály oldalfalával történő ütközéséből adódó túlfolyás, kifröccsenés okozza. A másik jelentős veszteség a folyadék felszínének a levegővel való súrlódásából származik. Ez a hatás - mint egy Bernoulli csőben - a folyadék felszínéről folyamatosan akár jelentős mennyiségű oltóanyag elszívódását okozhatja. A veszteség mértéke arányos a repülési sebességgel, a repülési útvonal hosszával és a folyadék felszínének nagyságával is. Megfigyelések igazolnak 30% -nál nagyobb szállítási veszteséget is [34] [77]. A szállítási veszteségek csökkentése érdekében a feltöltés helye és a tűz frontvonalja közötti távolságot célszerű a

lehető legrövidebb útvonalon végrehajtani, a feltöltés helyét pedig a lehetőségek függvényében legközelebb megválasztani.

Kibocsátási veszteség

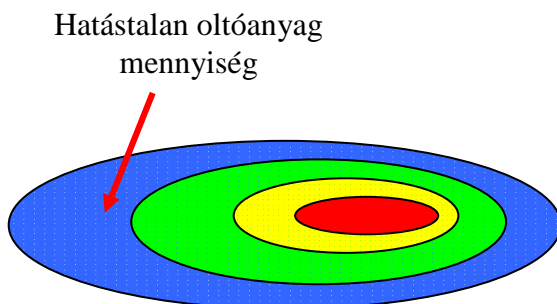
A porlasztást külön berendezés is elősegítheti, vagy a már részletezett módon a kibocsátáskor a levegővel való ütközés, sűrűlódás okozza. A repülési sebesség növelésével a porlasztás mértéke is nő. Ez lehetővé teszi, hogy a nagyon apró cseppek veszteségként elhagyják a kívánt teret, anélkül hogy a felszínre történő kihullása mérhető lenne (40. kép).



40. ábra. A kibocsátások vesztesége. Forrás: a képek alapján a Szerző.

Hatásküszöb alatti veszteség

A hatékony oltáshoz biztosítani kell az adott tűzintenzitás csökkentéséhez elegendő mennyiségű oltóanyagot. Amennyiben ez a mennyiség nem éri el a kívánt szintet, akkor az oltás hatástalan, a kibocsátott oltóanyagot veszteségként értékelem. Mivel az oltóanyag



41. ábra. A felületi eloszlás hatástalan része.
Forrás: Szerző.

felületi eloszlása nem homogén, a szélek irányába csökkenő, ezért az oltást elősegítő minimális szint alatti mennyiség már veszteségként értékelhető. A 41. ábrán a szórásképet megrajzoló vonalakon túl eső oltóanyag-mennyiség valószínűleg szintén veszteségként értékelhető, mivel a felszínre hulló mennyisége várhatóan nem éri el az oltástaktikailag megkívánt $0,2 \text{ lm}^{-2}$ minimális

értéket [67]⁶¹. A fenti veszteségeket lehetőleg korigálni kell.

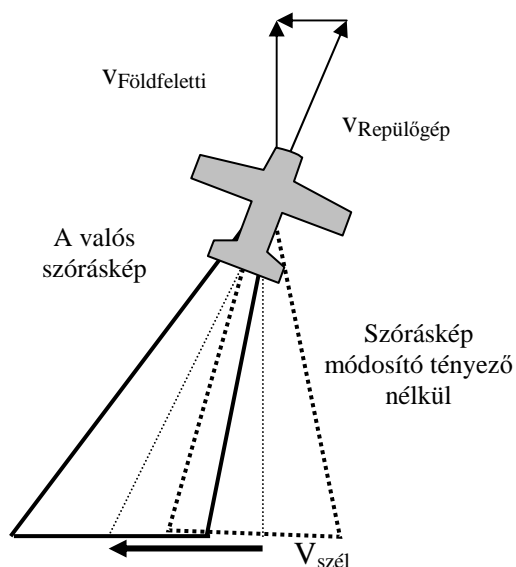
⁶¹ A szakirodalomban megadott minimális értéke eltér: $0,5 \text{ lm}^{-2}$ [68]; $0,8 \text{ lm}^{-2}$ [20].

4.4.4 A szél hatása az ürítésre

A levegő saját mozgása állandó kísérője a repüléseknek. A gyakorlott repülőgépvezetőknek a pontos útvonaltartás oldal irányú szél esetén sem okoz különösebb problémát. A szél irányának és sebességének ismeretében bizonyos „rátartással” repülve az útvonal pontosan tartható. Igaz ez a légi tűzoltás esetén is. A problémát a kibocsátott oltóanyag viselkedése okozza, mivel szél, mint a környező közeg saját mozgása erős hatást gyakorol rá. Ennek eredményeként a repülőgép pontos iránytartásától függetlenül a szóráskép torzul, a szél mozgásának irányába a levegő közeggel együtt „elcsúszik”. Az elcsúszás mértéke a következő tényezőktől függ:

- a szél erősségétől és irányától;
- a porlasztás mértékétől;
- a repülési sebességtől;
- a repülési magasságtól.

A szél erősségével az elcsúszás mértéke egyenesen arányos. A szélerősség meghatározott értékétől már maga a repülés sem lehetséges, de ilyenkor az oltás



42. ábra. A szóráskép elmozdulása a szél hatására. Forrás: Szerző.

hatékonysága sem érné már el a megkívánt értéket. A szél irányának a repülésre merőleges vetülete szögfüggvénnyel számítható. Minél nagyobb a szélirány repülési irányra merőleges összetevője, az annál inkább befolyásolja az elcsúszást.

Azonos, illetve ellentétes irányok estén a repülőgép földfeletti és valóságos sebessége közötti különbséget adja, aminek hatása a sebességtől függő tényezők vizsgálatából kikövetkeztethető. A kibocsátott oltóanyag felülete a porlasztás mértékével arányos, ami a szél kedvezőtlen hatását befolyásolja.

Az erősen porlasztott víz megnövelt felületére a szél könnyebben fejt ki elsodró hatását, mint nagyobb vízcseppek esetén. A porlasztás mértéke sebességtől, valamint a repülési magasságtól is függ.

4.5 A hatékony oltás feltétele - a szükséges felületi eloszlás meghatározása

A légi tűzoltás akkor sikeres, ha a kibocsátott oltóanyaggal az égő frontvonal terjedését meg tudjuk akadályozni. A terjedés megakadályozásához különböző vegetáció típusokhoz eltérő mennyiségű oltóanyag felhasználására van szükség. Az elégséges és szükséges mennyiség meghatározása nagyon fontos, mert a szükségesnél kevesebb mennyiség esetén a tűz tovább ég, az oltás hatástalan lesz, az ehhez felhasznált erőforrások fölöslegesen kárba vesznek. Az elégséges mennyiség jelentős túllépése viszont pazarlást jelent, a máshol is szükséges erőforrások fölösleges lekötését eredményezi.

A fenti indokok miatt hatékony tűzoltás csak úgy végezhető, ha ismerjük az égés jellemzőitől függő oltóanyag szükségletet.

A vegetációtípusok az oltáshoz szükséges oltóanyag szükséglet alapján különböző kategóriákba sorolhatók. Elterjedt a BEHAVE⁶² modell által alkalmazott 13 kategória használata, amelynél minden egyes kategóriához különböző módosító tényezők tartoznak (13. táblázat). A modell a felszíni biomassza mennyiségét veszi figyelembe, így nem számol a sem a korona magasságában található éghető anyag mennyiséggel, sem a koronatűz lehetőségével. A szükséges oltóanyag mennyiség (D) a kategóriákhoz tartozó tényezők segítségével különböző képletekkel számítható.

	Éghető anyag modell	W (kgm ⁻²)	C _R	k	D (kgm ⁻²)
1	Alacsony fű	0,16	1	0,010	0,4074
2	Fű, vastag biomasszán	0,89	0,7	0,056	0,4074
3	Magas fű	0,67	0,8	0,042	1,2222
4	Magas, dús cserje	3,59	0,9	0,224	1,6296
5	Alacsony cserje	0,78	0,3	0,049	1,2222
6	Cserje elhalt biomasszával	1,35	0,6	0,084	2,4405
7	Fiatal csemetés	1,09	0,5	0,068	2,6571
8	Összefüggő vágástéri hulladék	1,12	0,1	0,070	0,8148
9	Vastag aljnövényzet	0,77	0,4	0,048	0,8148
10	Fa hulladék aljnövényzettel	2,69	0,2	0,168	1,6296
11	Könnyű vágástéri hulladék	2,58	0,15	0,161	1,2222
12	Vágástéri hulladék	7,74	0,12	0,484	2,8519
13	Nehéz vágástéri hulladék	13,01	0,1	0,813	2,8519

13. táblázat. A BEHAVE modell kategóriái és néhány adata. Forrás: Silva.

⁶² Felületi tűzterjedési modell.

A táblázatban szereplő jelölések:

W - a kategóriához tartozó éghető anyag mennyisége egységnyi felületen (kgm^{-2});

C_R - éghetőségi viszonyszám, amely megmutatja, hogy az adott kategóriához tartozó biomassa mekkora hányada nem ég el azonnal a tűzfront terjedése során;

k - a tűzterjedés viszonyszáma, az éghető anyagok eloszlásának jellemzőjéből;

D - a hatékony oltáshoz szükséges minimális oltóanyag szükséglet (kgm^{-2}).

Az éghetőségi viszonyszám értéke a biomassa típusától függően nagyon tág határok között mozoghat. A száraz gyepek teljesen eléghet, míg a vágásérett fák esetén az elégtelen biomassa akár 10 % alatti is lehet (14. táblázat.).

	Biomassa	Mennyiség (kgm^{-2})	Az elégett rész aránya (%)
1.	Gyep	0,2 – 1,2	100
2.	Cserje	5 – 10	5 - 95
3.	Vágástéri hulladék	7,5 – 50	10 – 70
4.	Vágásérett fa	25 - 150	5 - 25

14. táblázat. A különböző biomassa típusokhoz tartozó anyag mennyiségek és a tűz által azonnal elégtelen rész aránya (C_R). Forrás: Nagy.

Az egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyiség szükségességére a következő tapasztalati képletet alkalmazzák [67].

$$D = kF_i \sqrt{C_R} \quad (4.7)$$

F_i - a tűz terjedési sebességéből számított együttható;

A terjedési index a tűz terjedési sebességéből számítható érték, amelyet külön kell számítani 15 kmh^{-1} érték alatt és fölött. A 15 kmh^{-1} érték alatti képlet megadása [67]:

$$F_i = 1,25C_R \sqrt{\frac{v_t}{0,35}} \quad (4.8)$$

4.6 A fejezet eredményeinek összegzése

A fejezetben az oltóanyag útját vizsgáltam, nyomon követtem a kijuttatásától a felszínen történő eloszlás kialakulásáig. Ez a hatékony légi tűzoltás végrehajtásához szükséges háttérismereteket biztosítja, elméleti alapokat nyújt a tűzoltás-taktikai szempontból előnyös beavatkozáshoz.

Vizsgálat tárgyává tettem az oltóanyag kibocsátását, annak deformációját, modellek segítségével a szóráskép kialakulását, az azt módosító tényezőket, a veszteségeket és a hatékony oltáshoz szükséges felületi eloszlás meghatározását.

A kibocsátás vizsgálata során az oltóanyag deformációját szakaszokra bontottam és meghatároztam azok alapvető jellemzőit. Jellemeztem az enyhe deformáció, a szétesés és a porlasztott eső szakaszát, a kiömlőnyílástól számított távolságok megadásával.

A szóráskép vizsgálatához a leírást megkönnyítő háromszög és parabola modelleket alkottam. A háromszög modell alkalmazhatóságát gyakorlati tapasztalatok alapján igazoltam.

Megvizsgáltam az oltóanyag felszínen történő eloszlásának jellemzőit, amely elliptikus-, ellipszis-, vagy téglalap-formára torzítva kerül alkalmazásra. Rámutattam, hogy a felületi eloszlás sem egyenletes, torzítása koncentrikusan közép irányba növekedő, vagy homogénnek számított.

Elemzéseket végeztem a repülési paraméterek vonatkozásában. Meghatároztam a repülési magasság tárgykör szerinti összetevőit, amelyet helikopterek külső függesztménnyel történő repülése esetén azok függőleges vetületéből, a növényzet magasságából és a kettő között kialakuló szórásképből származtatok.

A repülési magasság és sebesség függvényében összehasonlítottam a nedvesített felület nagyságát és az oltóanyag egységnyi felületen való eloszlását, belőlük következtetéseket vontam le. A sebesség és az ürítési idő különböző értékeinek megadásával a benedvesített felület hosszára vonatkozó táblázatot szerkesztettem.

Vizsgáltam a különböző oltási módszerek oltóanyag veszteségeit. Figyelembe vettem a szállítási-, a kibocsátási-, és a hatásküszöb alatti veszteséget. A külső függesztménnyel történő oltás során a szállítási veszteség különösen jelentős lehet.

Meghatároztam a szél szórásképre gyakorolt torzító hatásának tényezőit és mértéküket.

Táblázatos és képletes formában meghatároztam a különböző biomassza típusok hatékony oltásához egységnyi felületre szükséges minimális oltóanyag mennyiségeket.

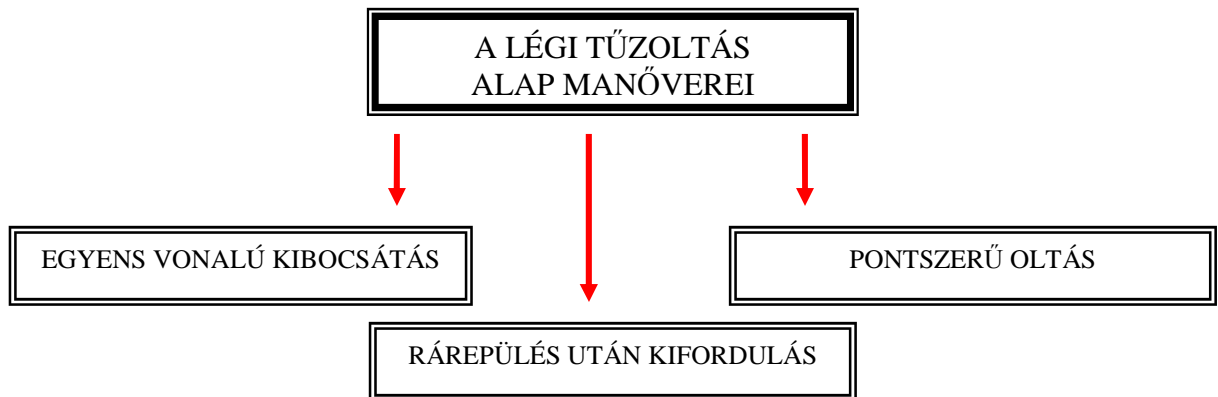
5 A LÉGI TŰZOLTÁS TAKTIKÁJA

A légi tűzoltás gyakorlati végrehajtása során az eddig ismertett valamennyi tényezőt figyelembe kell venni. A cél az, hogy a tűzoltás szempontjából a legeredményesebb eljárást alkalmazzuk, ami szoros összefüggésben áll a megmentett érték fogalmával.

A legeredményesebb eljárás során a repülési manőverek speciális alkalmazására kerül sor, amiben szerepet kapnak a földközeli repülés sajátosságai, a tűzoltástaktikai szempontból hatékonyságot biztosító kibocsátás alkalmazása, az általános meteorológián túl a tűz környezetében kialakuló mikrometeorológiai körülmények, valamint a repülés biztonságát folyamatosan magas szinten tartó rendszabályok.

5.1 A légi tűzoltás alap manőverei

A repülési feladatok során nagyon sokféle manőver kerülhet végrehajtásra. Ilyen a felszállás, emelkedés, a célterület megközelítése, a célterületre történő ráfordulás, stb... Ezek részletes bemutatása nem tartozik a tárgykörbe, de a tűz frontvonalának közvetlen közelében a tűzoltással kapcsolatba hozható manőverek meghatározását elvégzem. A 43. ábrán a rendszerezve vázolom a légi tűzoltás alap manővereit.

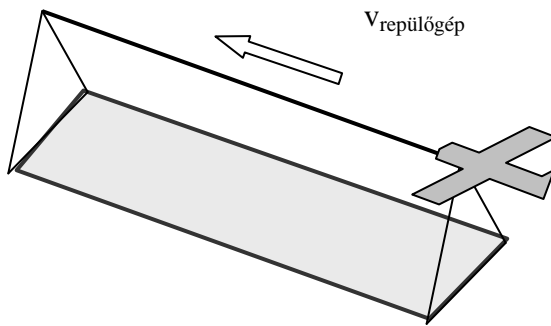


43. ábra. A légi tűzoltás alap manőverei. Forrás: Szerző.

5.1.1 Egyenes vonalban végrehajtott oltóanyag kibocsátás

Amennyiben korlátozó tényező nincs ez a legegyszerűbben végrehajtható manőver. Ilyenkor a pilóta a tűz frontvonala fölött, vagy ahhoz közel, azzal párhuzamosan repülve végzi a tartály nyitását. A repülési sebesség és magasság a manőver közben állandó. A manőver tűz frontvonala fölött történő végrehajtása során a repülési magasságot leginkább a tűzvonal intenzitás és a mikrometeorológiai viszonyok határozzák meg. Az intenzív

feláramlások⁶³, illetve a koronatüzek magas lángoszlopai⁶⁴ ezt megghiúsíthatja [34] [77], vagy jelentősen nagyobb magasságon teszi lehetővé. A manőver ez utóbbi esetben már nem a tűz közvetlen oltását célozza, hanem a lánghőmérséklet, tűzintenzitás csökkentését, a következő kibocsátás kedvezőbb feltételeinek megteremtését (előhűtés).



44. ábra. Egyenes vonalban végrehajtott kibocsátási manőver.
Ábra forrása: Szerző. Kép forrása: Internet.

A sebesség megváltoztatásának lehetősége a manőver folyamán elvileg megvan, de a kibocsátás rövid ideje miatt (1 – 4 sec.) ez gyakorlatilag kizárt. A magasság megváltoztatásának szükségszerűségét nem az oltás taktikája, hanem a terepviszonyok által okozott kényszer, a láng-, és füstoszlop elkerülésének szándéka okozza. A nem szándékolt magasságnövekedés indoka a repülőgép saját tömegéhez viszonyított jelentős és hirtelen



25. számú kép. Egyenes vonalban végrehajtott vízkibocsátás. Forrás: Internet.

bekövetkező tömegcsökkenés, a kibocsátás kezdetkor fennálló erőegyensúly hirtelen és nagyarányú megváltozása. A magasság megváltozásának ez egy sokkal gyakoribb megnyilvánulása, ami a bevetések kezdetén rendszerint előfordul. Néhány rárepülés végrehajtása után azonban a pilóta „hozzászokik”, mintegy „begyakorolja” a hirtelen tömegcsökkenés okozta magasságváltozás korrigálásának mértékét, az üzemmód változtatásnak a módját.

⁶³ Az intenzív feláramlások tipikus esete az ún. tűzvihar kialakulása, amely során a lángoszlop tölcser formájú és igen intenzív hanghatással párosul.

⁶⁴ Fenyvesek koronatüze esetén előfordulhat 40 – 50 méter magas lángoszlop is.

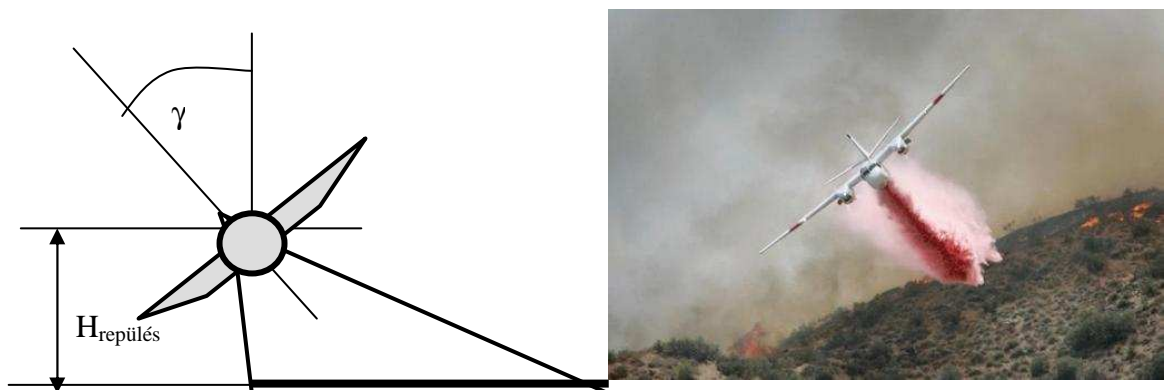
5.1.2 Rárepülés után kifordulással történő vízkibocsátás

A manőver végrehajtása során a pilóta, miután a kiválasztott frontvonal szakaszt megfelelő magasságon és megfelelő sebességgel megközelítette egy célszerűen megválasztott helyen a gépet bedöntéssel fordulóba viszi és elhagyja az adott területet. Az oltóanyag kibocsátásának kezdete a forduló megkezdése előtt, vagy azzal azonos időben történik.

A frontvonalra történő rárepülés célszerűen nem a tűzvonalal párhuzamosan, hanem azzal valamilyen szöget bezárva történik. Hosszú idejű kibocsátás esetén ezzel a manőverrel egy görbe vonalú szórt felület keletkezik, de a manőver célja nem a görbe felület létrehozása. Sokkal inkább ez az egyetlen lehetőség az oltóanyag hatékony célba juttatására. A szórt felület görbeségét a rövid idejű kibocsátások miatt – magyarországi viszonyok – elhanyagolhatónak ítélem.

A manőver végrehajtásánál a biztonságos repülési feltételek megtartása különösen nehéz, mert az erdőtüzek jellemzőjeként megjelenő koronaégés igen magas láng-, és füstoszlopai, valamint intenzív feláramlásai magukkal sodorhatnak a repülés biztonságára is veszélyt jelentő parazsat és égő anyagokat. Az ilyen részek fölött történő átrepülést mindenképpen kerülni kell.

A fentiek alapján a tűzvonal fölé, vagy közvetlen közelébe repülni nem csak veszélyes, de esetleg lehetetlen is. Ez a tűzvonal felülről történő oltását akadályozza meg, aminek áthidalására a kifordulás manővere nyújthat megoldást. Ennek alkalmazásával a repülőgép a legveszélyesebb zónát elkerüli és a vizet is a megadott területre képes juttatni.



45. ábra. Rárepülés után kifordulással történő kibocsátás.

Ábra forrása: Szerző. Kép forrása: Internet.

A manőver célja általánosan a tájékozódást olykor lehetetlenné tevő sűrű füst elkerülése is lehet. Ezért a manőver végrehajtása különös precizitást igényel, hiszen a füstöt, parazsat magával hozó intenzív feláramlás így is csupán néhány méterre van a repülőgép szárnyvégétől. A különösen pontos végrehajtást és gyakorlottságot az itt nem tárgyalt tényezők - mint a szél, vagy a terepdomborzat – szintén kikényszerítik.

Annak ellenére, hogy ez a manőver egy görbe sávot, felületet eredményez, a görbület mértékét az egyéb módosító tényezőket is összevetve taktikailag nem tartom számottevőnek.

5.1.3 Pontszerű oltás

Pontszerű oltás esetén a helikopter a célterület fölé repül, egyre csökkenő sebességgel. A manőver során nem feltétlenül kell a sebességnek zérusra csökkennie, de olyan minimális értékű kell, hogy legyen, ami biztosítja a lehető legpontosabb ürítést, valamint a kívánt egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyiségének – ami rendszerint többszöröse a hatékony mennyiségnek - kibocsátását. Ez történhet a már leégett területen visszamaradt tartósan égő - és így a szél segítségével újra potenciális gyújtóforrást jelentő - fatörzsek, vastag avarréteg helyi oltására, vagy kiemelten fontos (legfeljebb néhányszor tíz négyzetméteres) terület előzetes védelmének biztosítására is.

A pontszerű oltás azon kritériuma, hogy minimális terület minél jobb átáztatására kerüljön sor, az ürítési idő minimálisra csökkentésével is biztosítható. Repülőgépek esetén ez az értelmezési tartomány kiterjesztésével valósítható meg, amennyiben elfogadjuk a rövid idő alatti (1 másodperc, ill. ez alatti) ürítést a még biztonságos legalacsonyabb repülési sebességgel.



26. kép. Pontszerű oltás. Forrás: Internet.

5.2 A repülési paraméterek tűzoltás taktikai meghatározása

A repülési paraméterek célszerű megválasztásával segíthető elő a rendelkezésre álló oltóanyag hatékony felhasználása, így tűzoltástaktikai hatásuk vizsgálata nélkülözhetetlen.

5.2.1 A repülési magasság megválasztása a tűzoltás taktika függvényében

A tűz frontvonalának közvetlen oltása

A repülési magasság oltástaktikailag hatékony megválasztására számos kísérletet végeztek [15] [30]. Az oltóanyag minél hosszabb esési utat tesz meg, az egységnyi felületre jutó mennyisége annál kevesebb lesz. A repülési magasság változtatásával jelentősen módosítani lehet az egységnyi felületre jutó oltóanyagot. A hatékony oltáshoz szükséges víz mennyiségét a tűz frontvonalának égési jellemzői határozzák meg.

A magasabb tűzintenzitással égő frontvonal nagyobb egységnyi felületre jutó oltóanyaggal oltható el és fordítva. Az alacsonyabb tűzintenzitású részek megfékezéséhez elegendő kevesebb vízmennyiség is. A 15. táblázatban a tűzintenzitás mértéke és a hatékony oltást már lehetővé tevő kibocsátási magasságok közötti összefüggés látható a 26. ábrán látható jelöléseknek megfelelően. [30].

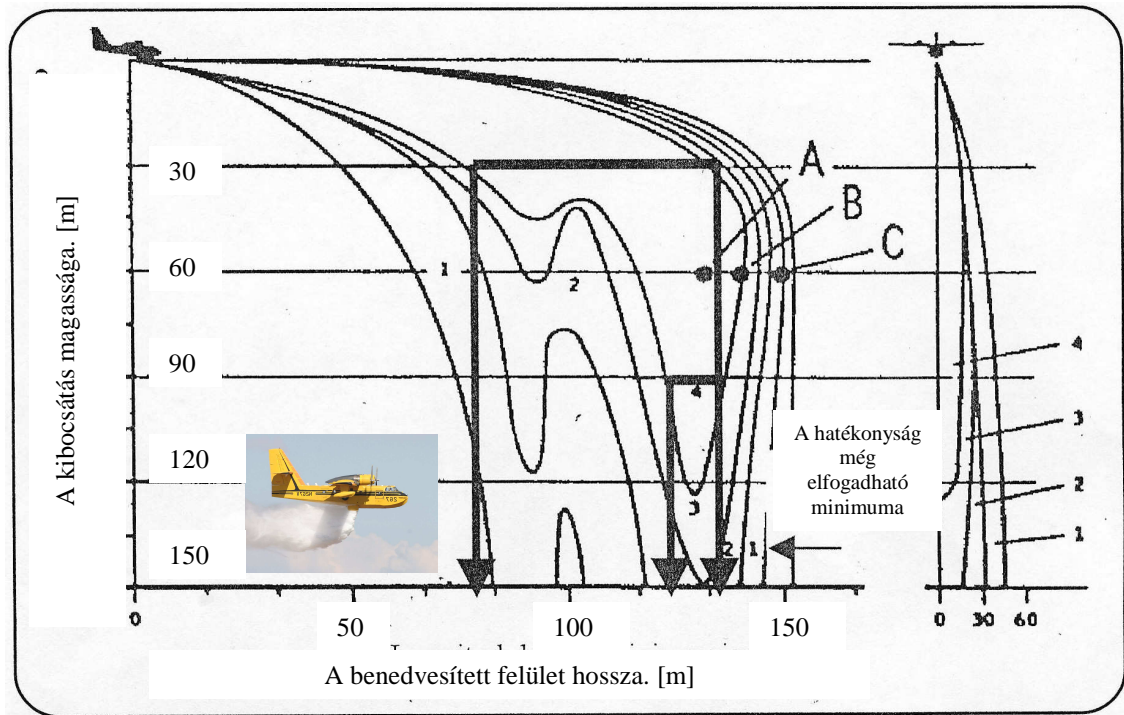
A táblázat első sora azt mutatja, hogy 350 kWm^{-1} tűzintenzitásig az ürítési magasság a 26. ábrának megfelelően a harmadik szakaszhoz tartozhat, azaz a hatékony oltás porlasztott esővel is lehetséges. Ebben az esetben a repülés nagy magasságban történhet, az egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyisége alacsony, de a benedvesített felület, így az oltás vonala a leghosszabb. A már oltástaktikailag értékelhető mennyiségnek el kell érnie a $0,2 \text{ kgm}^{-2}$ értéket. Az ez alatti mennyiség veszteségként értékelhető.

	Tűzvonal intenzitás (kWm^{-1})	Oltási magasság tartománya (26. számú ábra alapján)
1.	- 350	HC – porlasztott eső
2.	351 – 1700	HB – szétesés szakasza
3.	1701 – 3400	HA – enyhe deformáció
4.	3400 -	-

15. táblázat. A tűzvonal intenzitás és a lehetséges, illetve szükséges repülési magasság közötti összefüggés. Forrás: Szerző.

A táblázat második sorában a tűzintenzitás $351 - 1700 \text{ kWm}^{-1}$ értékei között a hatékony tűzoltás érdekében egységnyi felületre nagyobb oltóanyag mennyiség kijuttatása szükséges, ezért az ürítés magasságát alacsonyabban kell megválasztani. Az alacsonyabb ürítési magasság esetén csökken a benedvesített felület nagysága. A szakasz további

jellemzője, hogy az oltóanyag még számottevő vízszintes irányú sebesség komponenssel is rendelkezik. A cseppek becsapódása – un. ütő hatás – növeli az oltóanyag oltóhatását.



46. ábra. Az egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyisége a reológiai görbék segítségével és a repülési magasság függvényében. Forrás: Hardy, C. nyomán a Szerző.

A táblázat harmadik sorában a tűzintenzitás $1701 - 3400 \text{ kWm}^{-1}$ értékei között a hatékony oltás az elérhető legnagyobb egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyiség kibocsátásával érhető csak el. A 46. ábrán látható, hogy ez alacsony üritési magasságot követel. Ebben az esetben az oltóhatások között jelentőssé válik az ütő hatás, amelynek kihasználása pontos repülési manőver végrehajtását követeli meg.

A kibocsátott oltóanyag repülési pályájának függőleges és vízszintes komponenseinek felrajzolásával, valamint az oltóanyag térbeli koncentrációjának feltüntetésével un. reológiai görbéket kapunk. A görbék jól reprezentálják az egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyiségét. A 46. ábrán egy CL – 215 repülőgépből 150 méter magasságból 5000 kg mennyiségű vízkibocsátás elemzése látható. A reológiai görbék közötti 1 – 4 számok a jellemző koncentrációkat növekvő sorrendben jelölik. A célterület fölött 30 méter magasságból elvégzett ürités esetén a legmagasabb koncentrációt kb. 60 méter hosszú szakaszon lehet elérni. Ugyanez a koncentráció 90 méter magas ürités esetén csak 13 méter hosszú szakaszon érhető csak el. A repülési magasság 150 méteres megválasztásával a jellemzett legmagasabb koncentráció már el sem érhető. [25] [30].

A tűz frontvonalának közvetett oltása

A 14. táblázat utolsó sorában a 3400 kWm^{-1} tűzintenzitást meghaladó érték található, amelyhez nincs repülési magasság meghatározva. Ennek oka, hogy a tűz okozta turbulencia ilyen tűzvonal intenzitás esetén már olyan erős, hogy a közvetlen tűzoltás nem lehetséges, a frontvonal közelében történő repülés már veszélyes. Ilyen magas tűzintenzitással éghetnek pl. az összefüggő és sűrű, vágásérett fenyves erdők koronatüzei, ami már nem teszi lehetővé a közvetlen oltást. A helyes taktika ebben az esetben egy védelmi vonal kialakítása.

A hatékony védelmi vonal tűzfronttól való távolságának meghatározására a gyakorlati tapasztalat a tűz terjedési sebességét és az ürítések gyakoriságát figyelembe véve a következő képlet használatát javasolja [67].

$$L_{\text{VÉD}} = \frac{3}{4} v_t \Delta t_{\text{ürítés}} \quad (5.1)$$

$L_{\text{VÉD}}$ - a védelmi vonal frontvonaltól számított távolsága [m];

v_t - a tűz terjedési sebessége [mmin^{-1}];

$\Delta t_{\text{ürítés}}$ - az ürítések közötti idő [min].

A közvetett tűzoltási módok közé sorolom annak lehetőségét, hogy a tűzfront láng hőmérséklete, tűzintenzitása a nagy magasságból történő vízkibocsátással csökkentésre kerül. Ezzel lehetővé válik, hogy egy röviddel utána következő kibocsátás során ne legyen akadálya a tűz közvetlen oltásának.

5.2.2 A repülési sebesség és magasság tűzoltás taktikai hatása

Az oltóanyag kibocsátásához megválasztott repülési sebesség jelentősen befolyásolja az oltás hatékonyságát. A nehézségi erő hatására kiömlő víz kezdetben a repülőgéppel megegyező nagyságú vízszintes irányú sebességgel rendelkezik. A víz a levegővel ütközve ebből a vízszintes irányú sebességből pillanatok alatt jelentősét veszít. A függőleges esés idejéig ez a vízszintes irányú csökkenő sebesség egy meghatározható hosszúságú út megtételét jelenti. Azt a távolságot, ami a kibocsátás helyének felületi vetülete és a földet érési pont között keletkezik a pontos célzás miatt figyelembe, kell venni. Ez azt jelenti, hogy a pilótának az ürítést a célterület elérése előtt meg kell kezdeni.

A fenti folyamat a vízszintes hajítás egy speciális esete, amelyet annak általános pályaeqnyenletéből (5.2 képlet) fejezek ki:

$$y = \frac{g}{2v_0^2} x^2 \quad (5.2)$$

$$L_{cél} = k \sqrt{\frac{2v_{rep} H_{rep}}{g}} \quad (5.3)$$

v_0 – a hajítás kezdősebessége;

g – nehézségi gyorsulás;

$L_{cél}$ - a kibocsátás és a célterület kezdetének vízszintes távolsága;

v_{rep} - repülési sebesség;

H_{rep} - a növénytakaró felszíne és a tartálynyílás közötti távolság;

k - korrekciós tényező.

A korrekciós tényező értékét az oltóanyag jellemzői és a porlasztás mértéke befolyásolja. Alapesetben - a befolyásoló tényezők figyelmen kívül hagyása esetén – a korrekciós tényező értéke egy. Ez megítélés alapján a gyakorlatban is alkalmazható, mivel az alacsony magasságú kibocsátások miatt az oltóanyag legfeljebb néhány másodpercig tartó esése alatt a módosító tényezők hatása nem jelentős.

5.2.3 A kibocsátás hatékonysági indexe és javításának lehetősége

A kiürített oltóanyag nem minden esetben képes a tüzet eloltani, vagy a további terjedését meggátolni. A tűznek az oltás utáni és oltás előtti viselkedési paramétereinek hányadosa jól reprezentálja az ürítés hatékonyságát. A hányadosból egy indexet képezek, amelyet a kibocsátás hatékonysági indexének (Y) nevezek.

A viszonzszámot adó érték lehet az oltás helyén szabad szemmel is könnyen felismerhető terjedési sebesség, vagy a lánghossz, vagy származtatott értéként a tűzvonal-intenzitás. Ezek a paraméterek szoros kapcsolatban állnak, így a gyakorlatban elfogadható hibahatáron belül helyettesíthetők egymással. Homogénnek vehető frontvonal esetében egyszerű összehasonlítási lehetőséget nyújt az oltott és nem oltott frontvonal szakaszok jellemző paramétereinek összevetése is. Az ürítés hatékonysági indexe annál kedvezőbb, minél nagyobb az értéke.

Ha az ürités előtti és utáni paraméterek nem változnak, akkor az index értéke 0, az oltási kísérlet hatástalan volt. Amennyiben a tűz terjedési sebessége az adott szakaszon megállt, az index értéke 1, azaz maximális. Az index értéke a paraméterek függvényében lineárisan változik.

$$Y = 1 - \frac{v_U}{v_E} \quad (5.4)$$

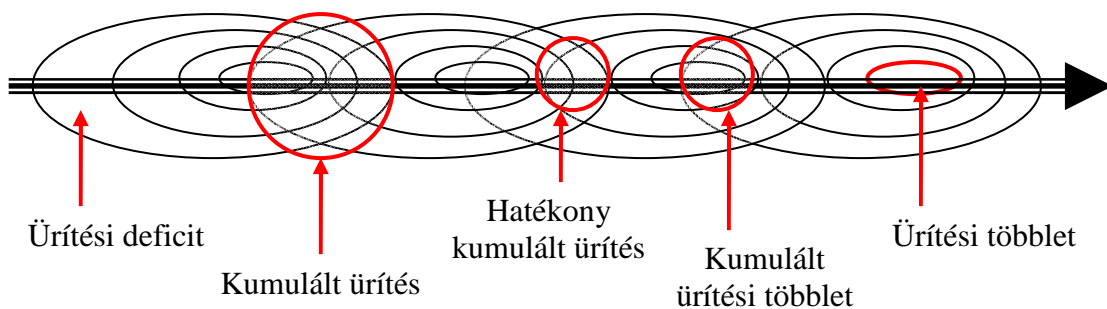
Y - az ürités hatékonysági indexe;

v_U - a tűz terjedési sebessége az oltás után;

v_E - a tűz terjedési sebessége az oltás előtt.

5.2.4 A veszteségek csökkentésének tűzoltás taktikai lehetősége

Az oltás vonala, vagy védelmi sáv kialakításához megfelelő számú ürités végrehajtása szükséges. Az egyes üritések során az egységnyi felületre juttatott oltóanyag-mennyiség az egész benedvesített felületet vizsgálva nem homogén. Az hatékony oltáshoz szükséges minimális oltóanyag-mennyiség alatti rész veszteség, amely minden egyes kibocsátásnál jelentkezik. Ha az üritési ciklusok közötti idő rövid, a kibocsátott oltóanyag elpárolgása nem jelentős, a benedvesített felületek átfedésével a veszteségek akár csökkenthetők is. Az átfedések nélkül veszteségként jelentkező nedvesített felületek egymásra takarásával az egységnyi felületre eső oltóanyag-mennyiség értéke kumulálódik és összefüggő hatékony oltási sávot hozhat létre. A hatékony oltáshoz szükséges oltóanyag mennyiség hiányát *üritési deficitnek* nevezem. A hatékony oltáshoz szükséges mennyiség fölötti részt *üritési többletnek* nevezem. A folyamatos átfedésekkel történő üritések során az egyes kibocsátásokhoz tartozó üritési veszteségek kumulálódnak és az üritési deficitnek csökkenéséhez vezetnek.



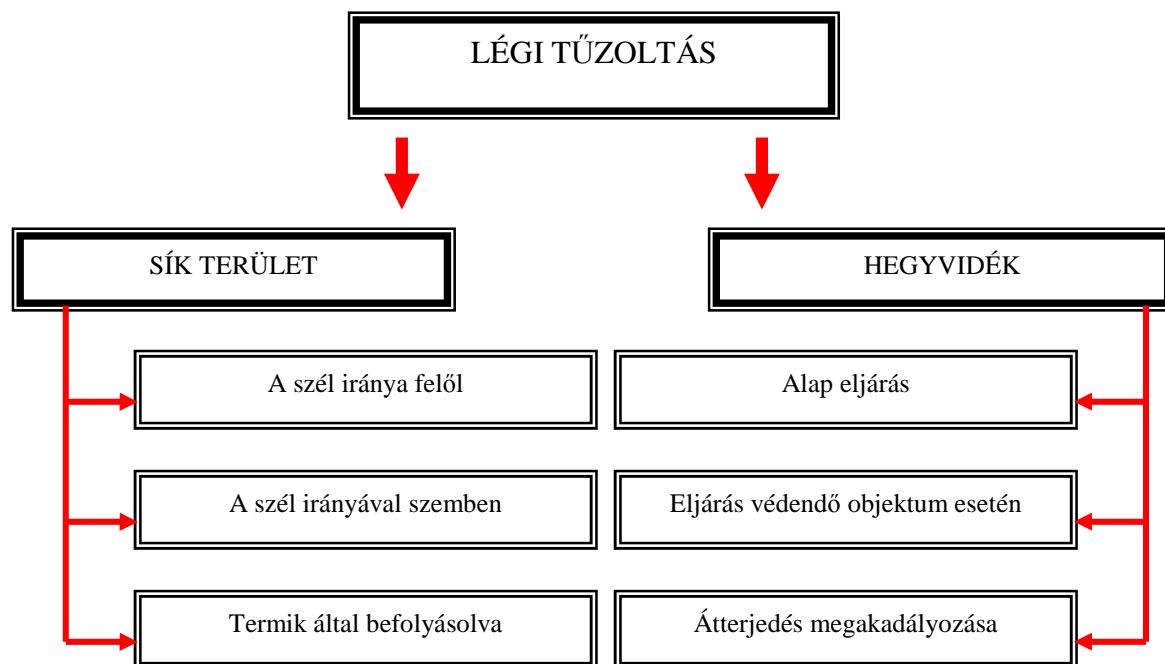
47. ábra. A védelmi vonal szórás mennyiségének kialakulása. Forrás: Szerző.

Ha a kumulált mennyiség eléri az oltáshoz szükséges mennyiséget, úgy azt *hatékony kumulált ürítésnek* nevezem. Amennyiben a szükséges mennyiséget az átfedések jelentősen túllépik, úgy annak elnevezése *kumulált ürítési többlet*.

A védelmi vonalon kialakuló egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyiség a fentiek alapján nem egyenletes, az egyes kibocsátások nem homogén eloszlásán túl az egymás átfedéséből eredő hatás miatt is változó. Az ürítések helyének egymás átfedését biztosító meghatározásának az a célja, hogy a védelmi vonal teljes hosszában az egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyisége elérje a tűz eloltásához szükséges minimális szintet.

5.3 A légi tűzoltás gyakorlata

A légi tűzoltás gyakorlati végrehajtására a domborzati és meteorológiai viszonyok jelentős befolyást gyakorolnak. Sík terület fölött a meteorológiai, mikrometeorológiai viszonyok meghatározóak, leginkább a szél iránya és erőssége. Mivel ezek a tűz terjedésére is alapvető hatást gyakorolnak, így a beavatkozás irányának meghatározását és a hatékonyan végrehajtható manővert is befolyásolják. Így megkülönböztetem a szél irányából és azzal ellentétesen történő, valamint a dominánsan intenzív feláramlás körzetében jellemezhető beavatkozást. A magyarországi beavatkozások eddig döntő többségében sík vidéken történtek.



48. ábra. A légi tűzoltás eljárásai sík és hegyvidék esetén. Forrás. Szerző.

Erősen átszegdelt terület, hegyvidék esetében a domborzat tűzterjedésre gyakorolt hatása az extrém esetektől eltekintve jelentősebb, mint az általános szélirány. Ezért itt ehhez kell illeszteni a célszerű oltási taktikát. A tűz terjedése jellemzően a domborzat gerinc irányába domináns, ezért az ennek megállítására irányuló törekvést alapeljárásnak nevezem. Amennyiben a domboldalon védendő objektum található, úgy a védekezés fókuszába azt kell állítani, amely célszerűen módosíthatja az alapeljárást. A hegygerinc közeléig jutott frontvonalak esetében a tűz átterjedésének megakadályozása a helyes oltási taktika.

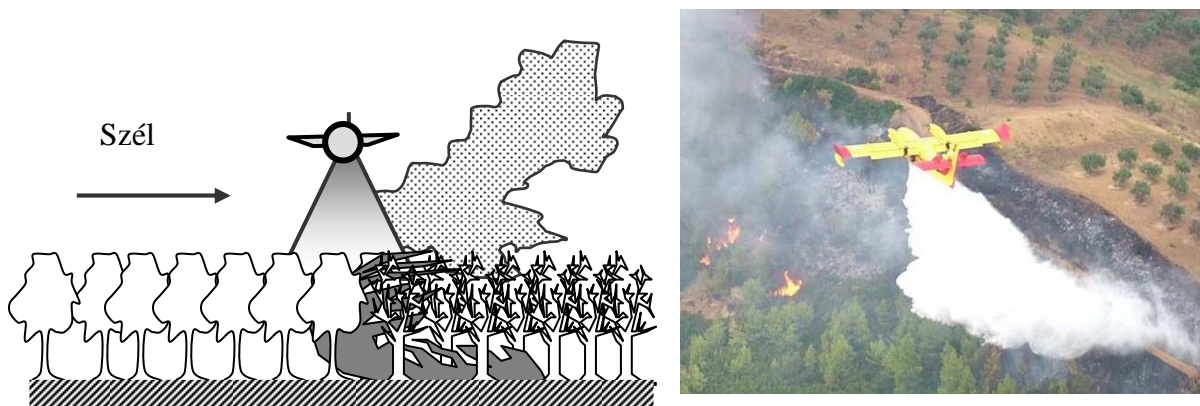
5.3.1 Az oltás taktikája sík terület fölött

A légi tűzoltás során a sík terület és a hegyes vidék között alkalmazott taktika nem lényegi különbséget, hanem hangsúlybeli eltolódást jelent. A sík vidéknél alkalmazott eljárások a természetes domborzati elemek hiánya miatt egyszerűbbek.

Oltás a tűz szél felőli oldalán

A légi tűzoltás általános elveként megfogalmazom, hogy a tüzet mindig az erdő még nem égő része felől kell oltani. Ennek megfelelően tűzoltás szempontjából akkor kedvező a helyzet, ha a szél az erdő ép része felől fúj. A levegőből jól látható a tűzvonal, így az könnyen megközelíthető, a célzás pontos lehet.

A szélirány az oltás hatékonyságát is kedvezően befolyásolja. A kibocsátott oltóanyagot az áramló levegő a tűz irányába sodorja. Veszélyt a hirtelen szélirányváltozás jelenthet. A dobás iránya lehet a tűzvonalal párhuzamos vagy akár hátszélben arra merőleges is. Ez utóbbi esetben a kibocsátást intenzív kifordulás követi.

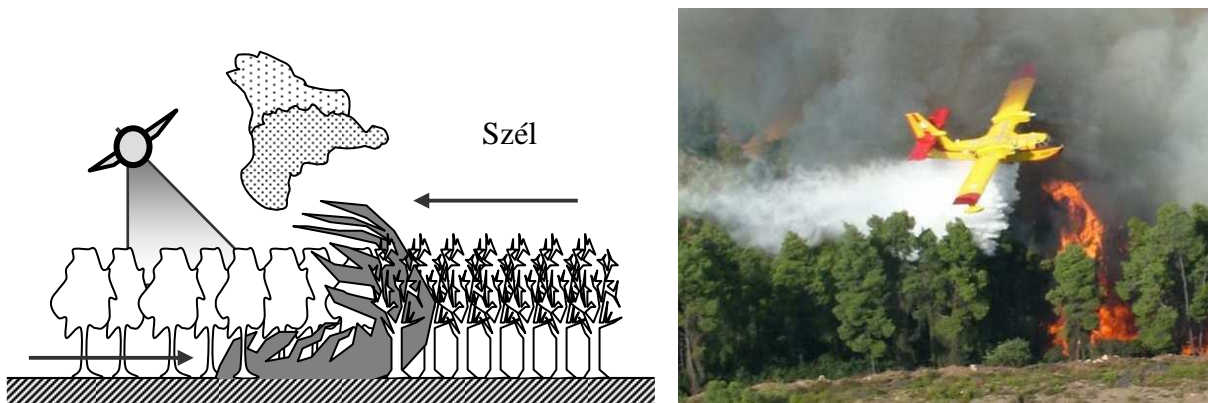


49. ábra. Oltás a tűz szél felőli oldalán. Ábra forrása: Szerző. Kép forrása: Internet.

Oltás a tűz széllel ellentétes oldalán

Az erdőtüzek egyik legjellemzőbb vonása, hogy a tűzterjedés a szélirányban sokkal intenzívebb, mint azzal ellentétesen. Így taktikailag ennek oltása jelenti a fő feladatot. Az intenzív tűzterjedés és a magas hőmérséklet a földi egységek részére gyakran lehetetlenné teszi a tűzvonal megközelítését. A levegőből történő oltás ezekre a problémákra megoldást nyújt, azonban a levegőben történő megközelítés is fokozott veszéllyel jár. Egyrészt ezt a manővert a füst által befolyásolt látáscsökkenés mellett kell végrehajtani, másrészt a hatékony oltás érdekében pontosabb célzás, közelebbi oldás szükséges. A célszerű manőver: a tűzvonalra bizonyos szög alatti rárepülés, majd a repülőgépet fordulóba vinni és a célnak megfelelően az ürítést megkezdeni. Földközeli magasságon forduló végrehajtását – a biztonság érdekében – az emelkedés megkezdésével együtt kell végrehajtani (un. húzott forduló).

A fenti eset jellemző veszélyforrása, hogy a talajon a tűz felé fújó szél könnyen csapdába ejtheti a földi egységeket. Az adott időszakban jellemző uralkodó szélirányt mind a földi, mind a légi egységeknek a magasban elterülő füst mutatja meg.



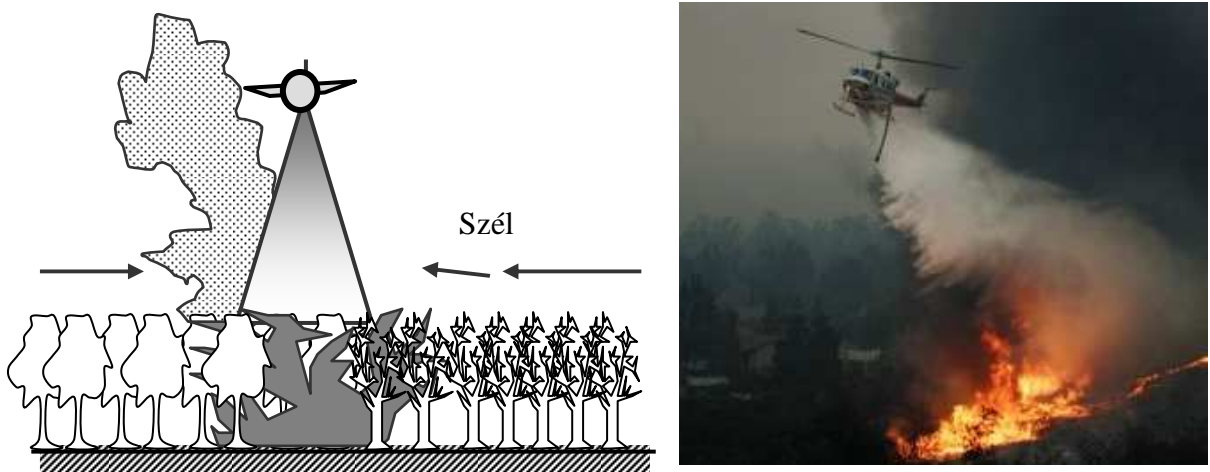
50. ábra. Oltás a tűz széllel ellentétes oldalán. Ábra forrása: Szerző. Kép forrása: Internet.

Oltás a termik által befolyásolt szélirányból

Az erős termikus feláramlás miatt az uralkodó szél erőssége módosul, akár mérséklődhet is. Ez az állapot fokozottan veszélyes, mivel a környező levegő nagy labilitása miatt a tűz ilyenkor bármely irányba kimozdulhat. Ez akár a szél irányával ellentétes elmozdulást is jelenthet.

A kiszámíthatatlanság miatt az oltás célszerű helye közvetlenül a tűz fölött lenne. Amennyiben ez a látási viszonyoktól függően lehetséges, úgy a dobás biztonságos magasságát legalább 50 m-re célszerű megválasztani [77]. Ha a füst lehetővé teszi és kellő

számú, illetve megfelelő típusú repülőgép áll rendelkezésre, az előhűtést az erdő még nem égő része felől is meg lehet kezdeni.



51. ábra. Oltás termik által befolyásolt szél esetén.
Ábra forrása: Szerző. Kép forrása: Internet.

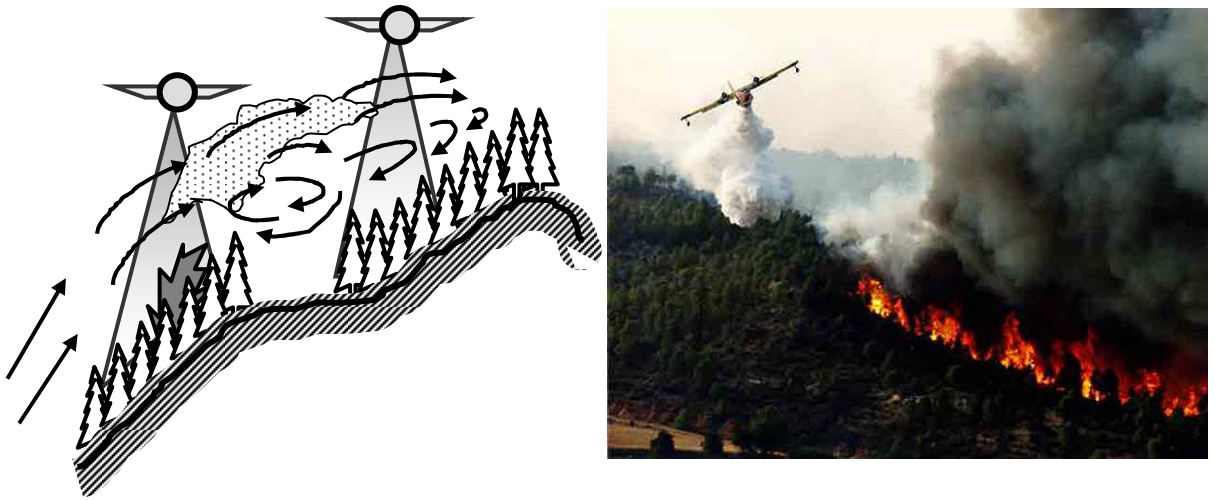
5.3.2 Az oltás taktikája hegyes terep fölött

A lejtőn a tűz terjedésének feltételei többnyire kedvezőbbek, mint sík vidék esetén. Ennek oka egyrészt a lejtőnek ütköző légmozgás felgyorsulása, másrészt a meleg levegő természetes feláramlása. Repüléstechnikailag a levegő turbulenciája és a lejtő meredekségétől függő szárny – talaj közelség okoz nehézséget. A turbulencia mértéke kiszámíthatatlan és rendkívül erős is lehet. Ezt a tűz következtében kialakuló termikus fel- és leáramlások tovább fokozzák. Ez a repülőgép személyzetétől mind a pontos célzás érdekében, mind repüléstechnikai szempontból fokozott figyelmet követel.

Általános eljárás

A hegynek ütközés elkerülésének egyik legbiztosabb módja, hogy a repülés - egyéb kényszerítő körülmények hiányában - a hegygerinc vonalával párhuzamosan történjék. Ezzel az oltóanyag kibocsátása után a kifordulás a völgy irányába lehetővé válik. A gerinc irányába történő kifordulást lehetőleg kerülni célszerű, még akkor is, ha a gép teljesítménye ezt látszólag biztosítaná.

A helyes eljárás az, hogy az oltás a tűz gerinc felőli oldalán kezdődjön, miközben ezzel egyidejűleg egy kedvező, de magasabb részén is történjék védekezés. A védekezés fogalma itt a tűz terjedési sebességének csökkentését, megállítására törekvő tevékenységet jelent.

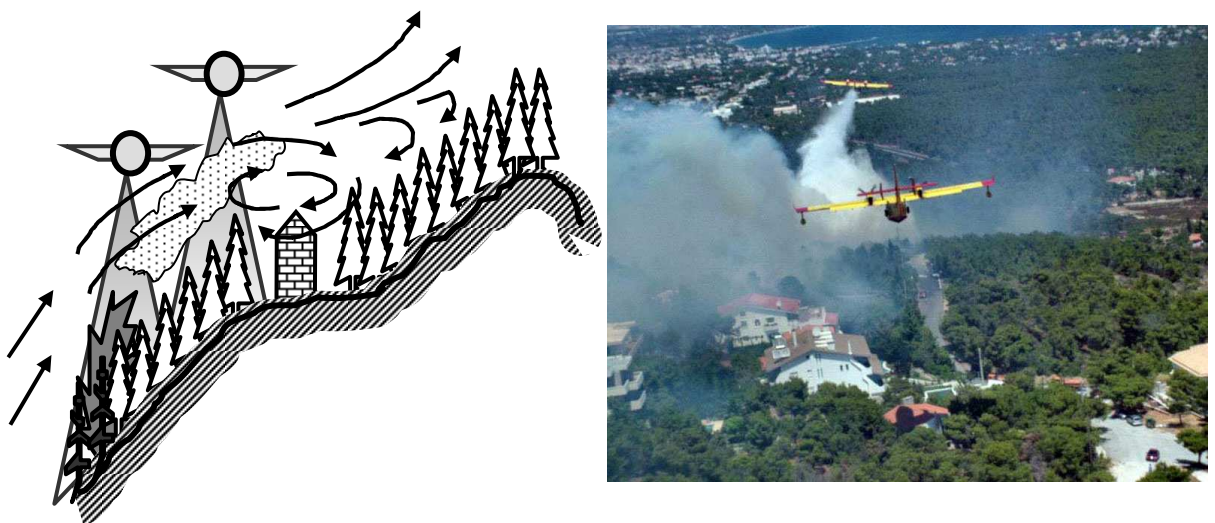


52. ábra. A tűzoltás általános eljárása hegyes terep fölött.
 Ábra forrása: Szerző. Kép forrása: Internet.

Az emelkedő oldali részen - a domborzattól függően - a szél áramlási iránya kedvező hatást is gyakorolhat az oltásra. A lejtő irányában történő oltással megakadályozható, hogy a leguruló égő fenyőtoboz, parázs új tűzgócokat alakítson ki.

Eljárás védendő objektum esetén

Amennyiben a lejtő oldalán kiemelt fontosságú védendő objektum, lakott település vagy épület van, úgy mind az oltási, mind a védekezési helynek a tűz emelkedő felőli részén kell lennie. A védekezést a védendő tárgy irányából a tűz irányába célszerű elkezdni. Ennek mértéke akár a talaj eláztatását is jelentheti, de el kell érnie, hogy a tűz a védendő objektumot semmi esetre se érhesse el.

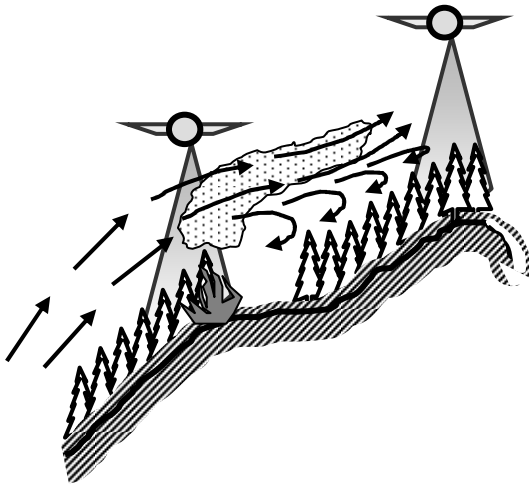


53. ábra. Oltás hegyes terep fölött, védendő objektum esetén.
 Ábra forrása: Szerző. Kép forrása: Internet.

A földközeli oltási manőverek végrehajtását a füst várhatóan fokozottan nehezíti, ezért arra a személyzetnek különös tekintettel kell lennie.

A tűz áttérjedésének megakadályozása

Amennyiben lakott település az emelkedő oldalon nincs veszélyeztetve, úgy az oltást és védekezést a gerinc irányából célszerű megkezdeni, miközben a tűz lejtő felőli oldalán a völgy irányából kezdett védekezést kell végrehajtani. Az emelkedő irányában történő védekezésnek az a célja, hogy a gerincen túl a tűz már semmi esetre se tudjon továbbterjedni.



54. ábra. Oltás hegyes terep fölött, a terjedés megakadályozása.
Ábra forrása: Szerző. Kép forrása: Internet.

5.4 A fejezet eredményeinek összegzése

A fejezetben a légi tűzoltás alap manővereit soroltam be, a tűz jellemzőitől függő, oltástaktikai szempontból hatékony repülési paramétereket és taktikát határoztam meg, a hatásküszöb alatti veszteségek csökkentésére tettem javaslatot és vizsgáltam annak következményeit, valamint a gyakorlati végrehajtás körülményektől függő végrehajtását rendszereztem.

A légi tűzoltás három alap manőverét határoztam meg és vizsgáltam: az egyenes vonalú kibocsátást, a rárepülés után kifordulással történő kibocsátást, valamint a pontszerű oltást.

A tűzvonal-intenzitás függvényében javaslatot tettem a helyes oltási taktika alkalmazására, a tűz frontvonalának közvetlen, illetve közvetett oltására, védelmi vonal kiépítésére.

Megalkottam, és célszerűségét bizonyítva bevezettem a kibocsátás hatékonysági indexét és a veszteségek csökkentésének javítására a nedves felületek átfedésével tettem javaslatot.

A tűzoltás gyakorlati végrehajtásának elősegítésére a sík és hegyvidékre külön bontott, eltérő szempontú funkcionális rendszerezést készítettem. A sík vidékre a szél irányát, míg hegyvidék esetén a védendő objektum elhelyezkedését tartottam szempontnak.

A kutatás lezárva: 2008. február 26-án.

AZ ÉRTEKEZÉS EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Az **első fejezetben** az erdőtüzek oltásának problémakörét vizsgáltam. Elsőként a **tűzgörbe általános formájából megalkottam és értelmeztem az erdőtűzre vonatkozó kiterjesztését**. Ez alapján **bizonyítottam**, hogy a beavatkozás annál hatékonyabb, azaz a kárérték annál kisebb és a megmentett érték annál nagyobb, minél korábban kezdődik meg a beavatkozás. **Bizonyítottam**, hogy a beavatkozás megkezdésének késése az oltási idő elhúzódását okozza, ami további egységek segítségének igénybevételét indukálja, a kárérték indokolatlan növekedését eredményezi és növeli az állampolgárok potenciális veszélyeztetettségét. Saját tapasztalataim alapján, valamint **a tűzoltás folyamatának elemzéséből megállapítottam**, hogy jelenleg a tűzoltóság az erdőtüzeket csak passzív módon észleli, ma már indokolatlannak minősíthető késését okozva a beavatkozások megkezdésének.

Megállapítottam, hogy jelenleg a felderítés többnyire gyalogosan, a terület körbejárásával történik, az elhúzódó információgyűjtéssel indokolatlan késést okozva a hatékony döntéshozatalban.

Megalkottam és bevezettem a frontvonal oltási sebesség fogalmát, amelynek alkalmazásával **bizonyítottam**, hogy annak értéke meg kell, hogy haladja a tűz frontvonalának növekedési mértékét, ellenkező esetben a tűz a hagyományos eszközökkel már nem oltható el. A nemzetközi szakirodalomban már alkalmazott **tűzvonal-intenzitás fogalmának átvételével, és annak vizsgálatából megállapítottam**, hogy annak növekvő mértéke csökkenti a frontvonal oltási sebességet, meghatározott értéken felül objektíven lehetetlenné teszi a földi erők és eszközök támadó jellegű oltásának végrehajtását.

A vizsgálatok alapján arra a **következtetésre** jutottam, hogy a problémák két jól elkülöníthető csoportba sorolhatók. Az **egyik az információ hiányával, a másik a meglévő erőforrások korlátozott alkalmazási lehetőségével jellemezhető**. Az információ teljes, és indokolatlan hiányát mutattam ki a tűz keletkezésétől, annak bejelentéséig tartó időpontig. A kielégítően hatékony döntéshozatalhoz szükséges információ teljes, vagy részleges, de mindenképpen hatékonyabbá tehető hiányát mutattam ki a tűzoltás megkezdése előtt, valamint annak folyamata során. A jelenleg általánosan alkalmazott erőforrások korlátozott lehetősége újak bevezetésére, vagy már kipróbált, de ritkán, nem általánosan alkalmazott módszerek hatékonyabbá tételére ösztönöz, ami a légi eszközök alkalmazásának vizsgálatát és előtérbe kerülését veti fel.

A **második fejezetben** a légi támogatás feltételrendszerét vizsgáltam, amelynek során elsőként áttekintést adtam a repülőgépekkel és helikopterekkel végrehajtható feladatokról. A **légi tűzoltáson kívül a légi támogatás fogalmkörébe soroltam a légi felderítés, a logisztikai támogatás és a légi irányítás lehetőségeit is. A felderítés fogalmát** logikailag a tűzmentes időszak figyelésének idejére is **kiterjesztettem**, így az magában foglalja az erdőtüzek észlelésére, detektálására vonatkozó felderítést, a tűzoltás megkezdése előtti felderítést, a tűzoltás során a folyamatos információszerzést, valamint az utómunkálatok keretében történő megfigyelés biztosítását. A légi irányítás fogalmát a repülőgépek repüléseinek koordinálására, valamint a földi eszközök tevékenységének levegőből történő irányítására értelmeztem. Az utóbbi elősegítése érdekében **javaslatot tettem az erdőtüzeknél alkalmazott földi eszközök levegőből azonosítható jelölésének bevezetésére**. A logisztikai támogatás feladatai közé sorolva **javasoltam, hogy mentési feladatokra speciálisan kiképzett állomány alkalmazásának feltételei kerüljenek kidolgozásra, amely állomány különleges helyzetek magas kockázata esetén álljon készenlétben**.

Rendszereztem, és áttekintést adtam a nemzetközi gyakorlatban tűzoltásra alkalmas **repülőgépekről és helikopterekről, valamint az oltóanyag kibocsátásának eszközeiről**, kiemelve a hazai viszonyok között már alkalmazott eszközparkot. **Javaslatot tettem** a belső tartályok Mi-8T és Mi-17 típusú helikoptereknél történő alkalmazási lehetőségének vizsgálatára és bevezetésére. **Megvizsgáltam** a légi tűzoltás során általánosan használt oltóanyagokat, bemutatva azok oltóhatásait. Az oltás hatékonyságának növelését keresve **rámutattam a sűrített levegős habbal oltási eljárás, valamint a robbantó oltókészülék alkalmazásának lehetőségére, javaslatot tettem** azok vizsgálatára és **bevezetésére**. A repülés biztonságának feltételeként a repülési meteorológia és a mikrometeorológia erdőtüzek légi tűzoltását befolyásoló kapcsolatát tártam fel.

A hatékonyság nemzetgazdasági szempontból való bizonyításának elősegítéséhez általános elveket megfogalmazó gazdaságossági kritériumok meghatározását tűztem ki célul. **Meghatároztam a hagyományos eszközökkel el nem oltató, és az oltható tüzek, valamint komplex összehasonlító elemzés keretében a közös alkalmazás gazdaságossági feltételeit. Bizonyítottam, hogy a gazdaságosság kritériuma repülőgépes tűzoltás alkalmazása esetén akkor valósul meg, ha a légi eszközök igénybevételének összes költsége kevesebb, mint a leégett erdőterület értékének csökkenéséből és a hagyományos eszközök igénybevételi idejének csökkenéséből eredő költségmegtakarítás értéke.**

A **harmadik fejezetben** a légi felderítés fogalmkörébe tartozóan vizsgáltam a tűzjelzést megelőző, a tűz detektálását célzó aktív észlelést; a tűzoltás folyamata során a tűz alakulásának állandó nyomon követését, monitorozását; valamint a tűz oltását követő utómunkálatok közbeni, a visszagyulladás megelőzését szolgáló információszerzést.

A **tűzoltás folyamata során történő légi felderítés hatékonyságát szakmai, nemzetgazdasági és források szűkössége szempontú hipotézisek felállításával vizsgáltam.** A rendszeres alkalmazás példájával **bizonyítottam** a szakmai szempontú hatékonyságot, valamint **meghatároztam** a nemzetgazdasági szempontú hatékonyság teljesülési feltételeit. A szűkös források rendelkezésre állása miatt a légi felderítés költségeinek csökkentési lehetőségét kerestem, amelynek során **a pilóta nélküli repülőgépek hatékony alkalmazási lehetőségét bizonyítottam. Javaslatot dolgoztam ki a tűzoltásnál hatékonyan bevethető pilóta nélküli repülőgépekkel szemben támasztott követelményekre** és a tűzoltóságok között a világon elsőként Szendrőben történő készenlétbe állítással **bizonyítottam** ennek gyakorlati megvalósíthatóságát. **A pilóta nélküli repülőgépek tűzoltók által történő alkalmazásával a tűzoltást megelőző légi felderítés lehetőségét bizonyítottam.**

A **tűzek észlelése céljából történő légi felderítés hatékonyságát szintén szakmai, nemzetgazdasági és források szűkössége szempontú hipotézisek felállításával vizsgáltam. Meghatároztam** a szakmai hatékonyság kritériumának teljesülési feltételét, amelyet a légi felderítés, valamint a külső személy által adott jelzések idejének viszonyításától tettem függővé. **Meghatároztam** a nemzetgazdasági szempontú hatékonyság teljesülési feltételeit is, kikötve, hogy azokat csak eddig még nem alkalmazott objektív mérőszám garantálhatja, amelynek bevezetésére **javaslatot tettem.** A szűkös források rendelkezésre állása miatt a légi felderítés hatékonyságának repülési paraméterek változtatásával történő növelési lehetőségét kerestem, amelynek során **idealizált, sík területre vonatkoztatva - származtatott eredményként - stabil megfigyelő állomások létjogosultságát bizonyítottam.** A sík terület feltételezését feloldva a domborzat tagoltságától függően, valamint különösen száraz időszakokban **bizonyítottam ítélem** a légi járőrözés hatékonyságát, amelynek kritériumát javasolom kidolgozni.

A tűzek eloltása utáni terület-megfigyelés céljára szükség szerint a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását **javasolom**, amelyet különösen alkalmasnak tartok az UAV pilóták képzésére, tréningezésére.

A **negyedik fejezetben** a légi tűzoltás háttérével, elméleti alapjaival foglalkoztam. **Megvizsgáltam a kibocsátást**, ennek során az oltóanyag **deformációját szakaszokra** bontottam és **meghatároztam azok alapvető jellemzőit**. Jellemeztem az enyhe deformáció, a szétesés és a porlasztott eső szakaszát, a kiömlőnyílástól számított távolságok megadásával. A **szóráskép vizsgálatához háromszög és parabola modelleket alkottam**. A **háromszög modell alkalmazhatóságát** gyakorlati tapasztalatok alapján **bizonyítottam**. Megvizsgáltam az oltóanyag felszínen történő eloszlásának jellemzőit, amely elliptikus-, ellipszis-, vagy téglalap-formára torzítva kerül alkalmazásra.

Elemzéseket végeztem a repülési paraméterek vonatkozásában. **Meghatároztam** a repülési magasság tárgykör szerinti összetevőit, amelyet helikopterek külső függesztménnyel történő repülése esetén azok függőleges vetületéből, a növényzet magasságából és a kettő között kialakuló szórásképből származtatok. A repülési magasság és sebesség függvényében összehasonlítottam a nedvesített felület nagyságát és az oltóanyag egységnyi felületen való eloszlását, belőlük **következtetéseket vontam le**. A sebesség és az ürítési idő különböző értékeinek megadásával a benedvesített felület hosszára vonatkozó **táblázatot szerkesztettem**.

Vizsgáltam a különböző oltási módszerek **oltóanyag veszteségeit**. Figyelembe vettem a szállítási-, a kibocsátási-, és a hatásküszöb alatti veszteséget. **Meghatároztam** a szél szórásképre gyakorolt torzító hatásának tényezőit és mértéküket. Táblázatos és képletes formában **meghatároztam** a különböző biomassa típusok hatékony oltásához egységnyi felületre szükséges minimális oltóanyag mennyiségeket.

Az **ötödik fejezetben meghatároztam és megvizsgáltam a légi tűzoltás három alap manőverét**: az egyenes vonalú kibocsátást, a rárepülés után kifordulással történő kibocsátást, valamint a pontszerű oltást. A tűzvonál-intenzitás függvényében **javaslatot tettem** a helyes oltási taktika alkalmazására, a tűz frontvonalának közvetlen, illetve közvetett oltására, védelmi vonal kiépítésére. **Megalkottam, és célszerűségét bizonyítva bevezettem a kibocsátás hatékonysági indexét** és a veszteségek csökkentésének javítására a nedves felületek átfedésével **tettem javaslatot**.

A tűzoltás gyakorlati végrehajtásának elősegítésére a sík és hegyvidékre külön bontott, **funkcionális rendszerezést alkottam**. A sík vidékre a szél irányát, míg hegyvidék esetén a védendő objektum elhelyezkedését tartottam szempontnak.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Az erdőtűzoltás vizsgálatának módszertanát továbbfejlesztettem, hazai viszonyokra adaptáltam a tűzvonál-intenzitás alkalmazását, valamint megalkottam a frontvonal oltási sebesség fogalmát.
2. A légi tűzoltás gazdaságossági vizsgálatára új módszertant dolgoztam ki, melynek keretében meghatároztam a hagyományos eszközökkel el nem oltható tüzek, a hagyományos eszközökkel oltható tüzek, és a közös alkalmazás gazdaságossági feltételeit.
3. A légi felderítés hatékonyságának erdőtüzek esetén történő vizsgálatára új módszertant dolgoztam ki, melynek keretében meghatároztam a szakmai, a nemzetgazdasági és a források szűkössége szempontú hatékonyság teljesülési feltételeit.
4. Bebizonyítottam a pilóta nélküli repülőgépek erdőtüzek felderítésére való hatékony alkalmazhatóságát, kidolgoztam a velük szemben támasztott követelményeket. Valós készenlétbe állítással bebizonyítottam annak gyakorlati megvalósíthatóságát.
5. Az erdőtüzek mielőbbi észlelése céljából sík területre vonatkoztatva - származtatott eredményként - stabil megfigyelő állomások létjogosultságát bizonyítottam.
6. A légi tűzoltás nemzetközi eredményeit hazai viszonyokra adaptáltam, továbbfejlesztettem és elemeit új, a beavatkozás hatékonyságának növelését figyelembe véve eddig még nem alkalmazott módon rendszereztem. Kidolgoztam a tűzoltás szempontjából hatékonyan alkalmazható eljárási módot.

AJÁNLÁSAIM

1. Javasolom az erdőtüzeknél alkalmazott tűzoltó járművek levegőből azonosítható jelölésének kidolgozását és bevezetését.
2. Javasolom, hogy erdőtüzek esetére kerüljenek kidolgozásra egy légi mentési feladatokra kiképzett állomány alkalmazásának feltételei, amely állomány különleges helyzetek magas kockázata esetén álljon folyamatosan készenlétben.
3. A belső tartály segítségével történő tűzoltás kedvező tapasztalatai alapján javasolom annak vizsgálatát, hogy a módszer hogyan adaptálható Mi-8T és Mi-17 típusú helikopterekre.
4. Javasolom a sűrített levegős habbal oltási eljárás, valamint a robbanó oltókészülék helikopterekről történő alkalmazásának vizsgálatát és fejlesztését.
5. Javasolom a nemzetközi gyakorlatban már általánosan alkalmazott valamely erdőtűz kockázati mérőszám, tűzveszélyességi index adaptálását és bevezetését.
6. Javasolom a pilóta nélküli repülőgépek felderítésre történő alkalmazásának bevezetését azoknál a tűzoltóságoknál, amelyeknél a környező területek különösen értékesek, vagy oltásukat a domborzati viszonyok jelentősen hátráltatják (nemzeti parkok, természetvédelmi területek, hegyvidékek).
7. Javasolom továbbfejleszteni a stabil megfigyelőállomások és a légi őrzésközvetítés domborzat és időjárás függő hatékonysági feltételeinek meghatározását.
8. Javasolom továbbfejleszteni és kidolgozni a pilóta nélküli repülőgépek egyéb speciális alkalmazási lehetőségeit (pl. árvízvédelem, sugárszennyezett terület felderítése, légszennyezettség mérés, nyomkövetés).
9. Javasolom, hogy az ország területére légi tűzoltással és bevetéssel kapcsolatos terv kerüljön kidolgozásra, különös tekintettel a gazdaságossági kritériumok, a rendelkezésre álló eszközpark és az elérhető vízforrások figyelembe vételével.
10. Javasolom, hogy az értekezésem egyes fejezeteit a tűzoltók, a tűzoltás irányítását végzők, valamint a légi tűzoltást végrehajtó hajózó állomány részére szükség szerinti oktatásuknál, képzéseiknél segédanyagként célszerűen felhasználják.

Szendró, 2008. április 30.

Restás Ágoston

Felhasznált irodalom

1. Alexander, M.E.: Crown fire thresholds in exotic pine plantations of Australasia. Ph.D. Thesis, Australian National University, ACT, 228 oldal, Canberra, Ausztrália, 1998
2. Bányai, P., Horváth B., Mészáros K., Nagy L., Paksy P., Szedlák T.: Az erdőtüzek elleni védekezés kérdései. Védelem, XI. évfolyam, 2. szám, 11 – 14 oldal. Budapest, 2004, ISSN: 1218-2958
3. Belo-Caban, M.: Takticke cvicenie”Lesny pozi Vojensky vycvikovy priestor lest, Előadás, FIRECO 2003 Trencin, Szlovákia, 2003
4. Bleken, E., Mysterud, I., Mysterud, I.: Forest Fire and Environmental Management–technical report on forest fire as an ecological factor. 5-10 oldal, Oslo, Norvégia, 2003, ISBN 82-7768-051-1
5. Bleszity, J., Zelenák. M.: A tűzoltás taktikája. Tankönyv, BM Könyvkiadó, Budapest, 1989
6. Brass, J.A., Ambrosia, V.G., Rieker, J.D., Robert, A.C.: Forest Fire Fighting From Real Time Air Borne Infrared Remote Sensing, Előadás, ISPRS 4, Bécs, Ausztria, 2001
7. Bryan, L.: Fire Danger, Fire Risk, Fire Threat–Mapping Methods. Előadás, EARSeL, Int. Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management, Ghent, Belgium 2003.
8. Bukovics, I.: A klímaváltozás és a katasztrófavédelem. Katasztrófavédelem, XLVII. Évfolyam 2. szám, 5. oldal, Budapest, 2005. ISSN: 1218-2958
9. Bukovics, I.: A klímaváltozás lehetséges hatásai és a lakosságot érintő katasztrófavédelem. Összefoglalás, OTM OKF honlapján: <http://www.katasztrofavedelem.hu/tartalom.php?id=175> ; Letöltés ideje: 2007.04.12.
10. Bussay, A.: Az erdőtűz meteorológus szemmel. Légkör XL. Évfolyam, 2. szám, 15 – 17 oldal, Budapest, 1995
11. Bussay, A., Szinell, Cs., Szentimrei, T.: Az aszály magyarországi előfordulásainak vizsgálata és mérhetősége. Tanulmány, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 1999.
12. Catchpole, W.R, Marsden-Smedley, J.B., Rudman, T., Pyrke, A.: Buttongrass moorland fire behaviour prediction system. Előadás, Conference proceedings of Australian Bushfire Conference, Albury, Ausztrália, 1999
13. Catchpole, E.A., Alexander, M.E., Gill, A. M., Elliptical-fire perimeter- and fire intensity distributions, Canadian Journal of Forest Research, No. 22. 968-972. oldal, Kanada, 1992, ISSN 0045-5067
14. Caballero, D., Xanthopoulos G., Viegas X.D., Bovio G., Macé P.: Role of Internet in the decesion-making sequence for wildland fire management in Europe: the E-FIS service; Forest Fire Research & Wildland Fire Safety, Viegas (ed.) 2002 Millpress, Rotterdam, Hollandia, ISBN 90-77017-72-0
15. Chromek, I.: Testing of efficiency technical means in extinguishing forest fires. Előadás, Fire Engineering, I. International scientific conference, Lucenec, Szlovákia, 2002, ISBN 80-89029-51-5
16. Chromek, I.: Vyuzitie leteckej techniky pri hasení lesnych poziarov, dizertacna praca, technicka Univerzita vo Zvolene, Szlovákia, 2005
17. Csutorás, G.: A helikopteres tűzoltás tapasztalatai a Magyar Honvédségben, ZMNE TDK Dolgozat, Budapest, 1997
18. Cziva, O., Tanulmány a légi mentés hazai helyzetéről; Tanulmány, 2005, www.langlovagok.hu, Letöltés ideje: 2007.03.25.
19. Davidenko, E.: The 2003 Forest Fire Season in the Russian Federation, Előadás, Conference on Forest Fire Management and International Cooperation in Fire Emergencies in the Eastern Mediterranean, Balkans and Adjoining Regions of the Near East and Central Asia. Antalya, Törökország, 2004.
20. Delforge, P.: Guide d’emploi des moyens aeriens en feux de forets, Minister de L’Interieur, Párizs, Franciaország, 2001
21. Fernández, C., Linari, F.: Manual del Extintor de Explosión, AIFEMA, Granada, Spanyolország, 2004, ISBN 84-609-2126-3.
22. Fernandes, P. M., Botelho H.S., Loureiro, C.: Models for the sustained ignition and behaviour of low-to-moderately intense fires in maritime pine stands. Forest Fire Research & Wildland Fire Safety, Viegas (ed.) 2002 Millpress, Rotterdam, Hollandia, ISBN 90-77017-72-0
23. Finney, M.: Fersite: Fire Area Simulator – Model Development and Evaluation. USDA Forest Service. Research paper RMRS-RP-4, Rocky Mountain Research Station, Egyesült Államok, 1998
24. Geleta, F.: Az erdőtüzekekről – EU csatlakozás előtt. Védelem, X. évfolyam 2. szám, 25-28 oldal, Budapest, 2003. ISSN: 1218-2958
25. Georges, W. C.: Fire retardant ground distribution Patterns from CL-215 air Tanker, USDA Forest service – Research note, INT-165. Egyesült Államok, 1975
26. Goldammer, J. G.: The Global Wildland Fire Network: Building Regional Wildland Fire Networks in the Mediterranean, Balkans and Central Asia Regions. Előadás, Conference on Forest Fire Management and International Cooperation in Fire Emergencies in the Eastern Mediterranean, Balkans and Adjoin Regions of the Near East and Central Asia, Antalya, Törökország, 2004

27. Goldammer, J. G. : Towards Developing a Global Wildland Fire Strategy. Előadás, 2nd Symposium on Fire Economics, Planning and Policy, Córdoba, Spanyolország, April 2004.
28. Grünwald, I.: Vegyivédelmi meteorológia III. Rész, Tansegédlet, ZMNE, Budapest, 2001
29. Hadnagy, I.J.: Repülőgépek és helikopterek a tűzoltás szolgálatában, Védelem nyomán: A repülőgép szerepe a tűzoltásban, Magyar Tűzoltó, XI. Évfolyam 1. szám, 1959, hivatkozva a Fire Engineering 1957 májusi számára. www.vedelem.hu 2006
30. Hardy, C.: Chemicals for Forest Fire Fighting, Tanulmány, NFPA, National Fire Protection Association , Boston, Egyesült Államok, 1985
31. Hinkley, E.: Tactical Fire Remote Sensing Advisory Committee, Előadás, 11th Biennial Forest Fire Remote Sensing Applications Conference, Salt Lake City, Egyesült Államok, 2006
32. Horváth, Á.: Erdőtűzek felderítése, elsődleges beavatkozások, www.langlovagok.hu , Letöltés ideje: 2002. 11. 22.
33. Imreh, L.: Tűzoltás a Kiskunságon, Kézirat, Forgószárny Kft., 2007
34. Jambrik, R.: Légi támogatás nélkül nehéz lett volna, Védelem, XIV. Évfolyam 6. szám, 51 – 53 oldal, Budapest, 2007, ISSN: 1218-2958
35. Jurvélius, M. : Legal Frameworks for Forest Fire Management: International Agreements and National Legislation. Előadás, 2nd Symposium on Fire Economics, Planning and Policy, Córdoba, Spanyolország, 2004
36. Kelemen, S.: Az erdők tűzvédelmének fejlesztése keretében megvalósuló tűzvédelmi kockázat elemző és döntés-támogató informatikai rendszer. Kézirat, Tűzoltóparancsnokság, Tiszafüred, 2002
37. Kührt, E., Behnke, T., Jahn, H., Hertzheim, H., Kollneberg, J., Mertens, V., Schlotzhauer, G.: Autonomous Early Warning System for Forest Fires Tested in Brandenburg (Germany), International Forest Fire News, 22. szám, 84-90 oldal, 2000, ISSN 10208518.
38. Leone, V., Lovreglio R.: Human Fire Causes: A Challenge for Modeling. Előadás, EARSeL, 4th International Workshop on RS and GIS Appl. to Forest Fire Management, Ghent, Belgium, 2003
39. Láng, I.: Klímaváltozás, hatások, válaszadás. Katasztrófavédelem, XLVII. Évfolyam 2. szám, 2. oldal, Budapest, 2005. ISSN: 1218-2958
40. Martell, D.L., Drysdale, R.J., Doan, G.E., Boychuk, D.: An Evaluation of Forest Fire Initial Attack Resources. Előadás, INTERFACES, The Institute of Management Sciences, University of Toronto, Ontario, Kanada, 1984
41. Mika, J.: A globális felmelegedés regionális sajátosságai a Kárpát-medencében; Időjárás, XIIC. Évfolyam, 178 – 189 oldal Budapest, 1988
42. Mészáros, K., Bányai, P., Horváth, B., Horváth, I., Kocsó, M., Nagy, D., Szedlák, T., Traser, Gy., Varga, Sz., Veperdi, G.: Erdőtűzek elleni integrált védekezés fejlesztése, Projekt zárójelentés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2003
43. Mladen, V.: Fenix UAV. Előadás, UAVNET Regionális Munkaértekezlet, Szendrő, 2005
44. Nagy, D.: Erdőtűzek megelőzési és oltási gyakorlata és problémái Magyarországon. Erdészeti Lapok, 139. Évfolyam, 5. szám, 156 – 159 oldal Budapest, 2004, ISSN 1215-0398
45. Nagy, D.: A közvetlen taktika korlátainak fizikai/égeselméleti háttere, Védelem, XIV. Évfolyam 6. szám, 7-9 oldal, Budapest, 2007, ISSN: 1218-2958
46. Németh, Á., Konkolyiné Bihari, Z., Szalai S.: A júliusi erdőtűzek klimatológiai háttere. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest www.met.hu/pages/erdotuz20070801/php letöltés ideje: 2007.02.11.
47. Ollero, A., Martínez-de-Dios, J.R., Merino, L.: Unmanned aerial vehicles as tools for forest-fire fighting, Előadás, 5th ICFFR, Figueira da Foz, Portugália, 2006, ISSN 0378-1127
48. Olsar, L., Potocek, T.: Skúsenosti s likvidáciou lesnych poziarov a vinich krajinách, Előadás, Crisis Management, Scientific-Technical Magazin of Faculty of Special Engineering at University of Zilina in Zilina, Szlovákia, 2/2003, ISSN 1336-0019
49. Restás, Á.: Felejtsen el mindent, amit eddig az oltóhabról hallott! Fordítás: Vergessen Sie alles, was Sie bisher über Schaum gehört haben! ÖTM Katasztrófavédelmi Oktatási Központ Könyvtár, 1999
50. Restás, Á.: A tűzoltásvezető döntéshozatali mechanizmusa. Védelem, VIII. Évfolyam 2. szám, Budapest, 28-30 oldal, 2001, ISSN: 1218-2958
51. Restás, Á.: Szendrő-Type Integrated Vegetation Fire Management: A Vegetation Fire Management Program from Hungary. Előadás, Monitoring Science and Technology Symposium, Denver, Egyesült Államok, 2004
52. Restás, Á.: Wildfire Management – Problems and solutions. Előadás, Veda a Krízové Situácie, Konferencia, Zilina, Szlovákia, 2004, ISBN 80-8070-325-6
53. Restás, Á.: Pilóta nélküli repülőgép alkalmazása vegetációtűzek felderítésére. A Szendrői Tűzoltóság eredményei. Előadás, Robothadviselés 4. Konferencia, ZMNE, Budapest, 2004

-
54. Restás, Á.: Robot Reconnaissance Aircraft. Előadás, UAVnet 9th Meeting, Amszterdam, Hollandia, 2004.
 55. Restás, Á.: How To Measure the Utility of Robot Reconnaissance Aircraft Supporting Fighting Forest Fire. Előadás, UAVnet 10th Meeting, London, Anglia, 2004
 56. Restás Á.: Robot reconnaissance aircraft for fighting forest fires. Academic and Applied Research in Military Science, III. Évfolyam, 5. szám, 653-664 oldal, Budapest, 2004, ISSN 1588-8789
 57. Restás, Á.: Erdőtűz – katasztrófák légi tűzoltás-taktikájának elméleti alapjai és gyakorlati megvalósulása. Előadás, Fél évszázad forgószárnyakon a magyar katonai repülésben, Konferencia, Szolnok, 2005, HU ISSN 1789-770X
 58. Restás, Á.: Szendrő - type Integrated Vegetation Fire Management - based on remote sensing modules. Wildfire Management Program from Hungary. Előadás, 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management, EARSeL Forest Fire SIG Meeting, Zaragoza, Spanyolország, 2005 ISBN 84-96214-52-4
 59. Restás, Á.: Remote Sensing Based Wildfire Detection and Intervention Monitoring. Szendrő – type Integrated Vegetation Fire Management - Wildfire Management Program from Hungary; Előadás, International Symposium on Remote Sensing of Environment, Szentpétervár, Oroszország, 2005
 60. Restás, Á.: Wildfire Management at Aggtelek National Park, Hungary Integrated Vegetation Fire Management. Előadás, IV Simposio Internacional sobre el Manejo Sostenible de los Recursos Forestales I Taller Internacional sobre Manejo del Fuego, Pinar del Río, Kuba, 2006
 61. Restás, Á., Nagy, D., Rózsa, S.: Wildland Fire Decision Support System in Aggtelek National Park. Előadás, 2nd Fire Behaviour and Fuel Management Conference, Destin, Egyesült Államok, 2007
 62. Restás, Á.: Using Small UAVs for Forest Fire Reconnaissance as on Everyday Practice! It is reality at Szendro Fire Department, Hungary, Előadás, UAS2007 Konferencia, Párizs, Franciaország, 2007
 63. Rimbart, N, Calogine, D & Séro-Guillaume: Modelling of retardant dropping and atomisation, Forest Fire Research & Wildland Fire Safety, 2002. Millpress, Rotterdam, ISBN 90-770117-72-0,
 64. Roldán, F.A.: Los Medios Aéreos en el Plan INFOCA, Ier Simposium Nacional Técnicas de los Medios Aéreos en Incendios Forestales, Córdoba, Spanyolország, 2001
 65. Rothermel, R.C.: How to predict the spread and intensity of forest and range fires. Gen. Tech. Rep. INT-143. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, Egyesült Államok, 1983
 66. Sharkey, B.: Work Capacity Tests for Wildland Firefighters, USDA Forest Service Technology and Development Program 4E42P30 – Firefighter Work Capacity, Missoula, Egyesült Államok, 1998.
 67. Silva, F. R.: Investigación y Capitalización de la Experiencia en el Empleo de Medios Aéreos en la Defensa Contra los Incendios Forestales, La gestión de los Medios Aéreos en la defensa conzta los incendios forestales, I. Simposium Internacional, Córdoba, Spanyolország, 2002
 68. Szabó, G.: Erdőtűz, Tanulmány, 1994. <http://speed.eik.bme.hu/~gergo/html>, letöltés: 1999.05.10.
 69. Szalai, S.; Vígh P.: Új térképek és adatok a klímaváltozás trendjéről. Előadás, Klímaváltozás és az erdők – Erdészeti Fórum, Budapest, 2005
 70. Taylor, A.R.: Ecological aspects of lightning in forests. Előadás, Proceedings of of the Annual Tall Timbers Fire Ecology Conference 13, Tallahassee, Egyesült Államok, 1973
 71. Tomé, M. & Borrego, C, Fighting wildfires with retardants applied with airplanes, Forest Fire Research & Wildland Fire Safety, Viegas (ed.) 2002. Millpress, Rotterdam, ISBN 90-770117-72-0,
 72. Trujillo, F.S.: Plan de emergencias incendios forestales de Andalucía Plan INFOCA, Ier Simposium Nacional Técnicas de los Medios Aéreos en Incendios Forestales, Córdoba, Spanyolország, 2001.
 73. Xanthopoulos, G.: A practical methodology for the development of shrub fuel models for fire behavior prediction, Forest Fire Research & Wildland Fire Safety, Viegas (ed.) 2002 Millpress, Rotterdam, Hollandia, ISBN 90-77017-72-0
 74. Vidra, R.: Hasenie Lesnych poziarov pomocou leteckej techniky, Zilinska Univerzita v Ziline, Zsolna, Szlovákia, 2005
 75. Viegas, D. X., Cruz, M. G., Ribeiro, L. M., Silva, A. J., Ollero, A., Arrue, B. Dios, R., Gómez-Rodríguez, Merino, L., Mirinda, A. I., Santos, P.: Gestosa fire spread experiments. Forest Fire Research & Wildland Fire Safety, 2002 Millpress, Rotterdam, Hollandia, ISBN 90-77017-72-0
 76. Vilches, D.E.D.: La utilización de los medios aéros en la conservación de la naturaleza, Ier Simposium Nacional Técnicas de los Medios Aéreos en Incendios Forestales, Córdoba, Spanyolország, 2001
 77. Vlaszák, L.: Légi tűzoltás; Kézirat, Erdők Védelméért Alapítvány, Matkó Airport, Kecskemét, 2001
 78. Wright, B., El-Sheimy, N.: Real Time Direct Georeferencing of Thermal Images for Identification and Location of Forest Fire Hotspots; 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Zürich, Svájc, 2003

79. 57/2005. (XI. 30.) BM rendelet a Riasztási és Segítségnyújtási Tervről, a hivatásos önkormányzati és az önkéntes tűzoltóságok működési területéről, valamint a tűzoltóságok vonulásaival kapcsolatos költségek megtérítéséről.
80. 1/2003. (I. 9.) BM rendelet a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési tevékenységének szabályairól
81. 14/2000. (XI. 14.) KöViM rendelet a Magyar Köztársaság légterében és repülőterein történő repülések végrehajtásának szabályairól.
82. 3/2006. (II. 2.) HM rendelet az állami repülések céljára kijelölt légterekben végrehajtott repülések szabályairól.

Képek, táblázatok és ábrák jegyzéke

Képek jegyzéke

1. sz. kép. Az első szervezett szerű légi őrjáratozás híradása. Forrás: <http://www.bushplane.com/forestfire>
Letöltés ideje: 2006.06.15.
2. sz. kép. Ejtőernyős tűzoltó. Forrás: <http://www.ibabuzz.com/transportation/category/freeway-collapse/>
Letöltés ideje: 2006.10.10.
3. sz. kép. Légi tűzoltás kísérlet. Forrás: http://www.uss-hornet.org/posters/aerial_firefighters/ Letöltés ideje: 2006.06.15.
4. sz. kép. Lengyel PZL M-18 Dromedár a földön és tűzoltás közben. Forrás: txforestservicetamu.edu
Letöltés ideje: 2007.05.05.
5. sz. kép. ZLIN Z-137 Smelák tűzoltás és kiszolgálás közben. Forrás 1: txforestservicetamu.edu. Letöltés ideje: 2007.05.05.; Forrás 2: Cifka M.: Tűzoltás a levegőből. <http://www.sg.hu/cikkek/39094>; Letöltés ideje: 2006.02.10.
6. sz. kép. MI-8T külső függesztménnyel és MI-2 belsőtartályos helikopterek. Forrás 1: Cifka M.: Tűzoltás a levegőből. <http://www.sg.hu/cikkek/39094>; Letöltés ideje: 2006.02.10.; Forrás 2: [34]
7. sz. kép. CL-415 belső tartálya és kiömlő nyílása: Forrás: <http://www.haf.gr/en/mission/weapons> Letöltés ideje: 2008.01.22.
8. sz. kép. Bambi Bucket. Forrás: a Szerző magánarchívuma.
9. sz. kép. Bambi Bucket alkalmazás közben. Források: www.airlines.net/photo/ Letöltés ideje 2006.04.23.
10. sz. kép. Air-Crane S-64 helikopter speciális sugárcsővel. Forrás: Cifka M.: Tűzoltás a levegőből. <http://www.sg.hu/cikkek/39094>; Letöltés ideje: 2006.02.10.
11. sz. kép. A vasoxid által láthatóvá vált kibocsátás egy kísérlet során. Forrás: [71].
12. sz. kép. Robbanó oltókészülék alkalmazása. Forrás: Benigno G.C., Beaextin S.L.,
13. sz. kép. A légi felderítés során a fedélzeten lévő és a tűz frontvonalát oltók által látható képek összehasonlítása. Forrás: <http://learnline.cdu.edu.au/wip/fire2/fundamentals/regime.html>. Letöltés ideje: 2007.10.20.
14. sz. kép. Hőkamerával felszerelt EC-145 és MI-2 típusú helikopterek. Forrás 1: EC-145: www.airlines.net/photo/ Letöltés ideje 2007.02.23.; Forrás 2: MI-2: [3].
15. sz. kép Kísérleti tűz vizuális és hőképe. Forrás: a Szerző magánarchívuma.
16. sz. kép. A horvát Fenix, a COMETS projekt helije és a NASA APV 3 pilóta nélküli kísérleti repülői. Forrás: szerző magánarchívuma, Ollero, Hinkley.
17. sz. kép. Területtűzről PNR segítségével készített felvételek. Forrás: a Szerző magánarchívuma.
18. sz. kép. Közeli és távoli képek információtartalmának összehasonlítása. Forrás: a Szerző magánarchívuma.
19. sz. kép. A készenléthe helyezett PNR –ek képei. Forrás: a Szerző magánarchívuma.
20. sz. kép. A PNR -ek alkalmazásának bemutatása. Forrás: a Szerző magánarchívuma.
21. sz. kép. Eloltott terület megfigyelése hőkamerával. Forrás: a Szerző magánarchívuma.
22. sz. kép. MI – 17 helikopter és CL – 415 repülőgép oltóanyag kibocsátása. Letöltés ideje: 2007.02.23. Forrás: www.airlines.net/photo/.
23. sz. kép. A valós kibocsátás képei szemből. CL-415, Forrás: <http://www.haf.gr/en/mission/weapons>
24. sz. kép. Bravúros, de biztonságosnak aligha nevezhető manőverek...Forrás1: <http://www.uss-hornet.org>; Letöltés ideje: 2007.11.20.; Forrás2: <http://machinedesign.com> Letöltés ideje: 2007.11.20.
25. sz. kép. Egyenes vonalban végrehajtott vízkibocsátás. Forrás: www.airlines.net/photo/ Letöltés ideje: 2006.07.12.
26. sz. kép. Pontszerű oltás. Forrás: www.airlines.net/photo/. Letöltés: 2007.02.23.

Táblázatok jegyzéke

1. sz. táblázat. A tűz terjedési sebessége különböző viszonyok esetén. Forrás: [5].
2. sz. táblázat. A leggyakrabban alkalmazott merevszárnyú repülőgép típusok. Forrás: [16].
3. sz. táblázat. Légi tűzoltásra gyakrabban alkalmazott helikopter típusok. Forrás: [16].
4. sz. táblázat. A Bambi Bucket termékcsalád paraméterei. Forrás: [16].
5. sz. táblázat. Habosított víz ajánlott kibocsátási sebessége különböző növényzetek esetében. Forrás: <http://www.sei-ind.com/temp/200832519970/Sacksaform-I-Intl.pdf>. Letöltés ideje: 2007.11.22.
6. sz. táblázat. A készenlétbe helyezett PNR –ek adatai. Forrás: Szerző.
7. sz. táblázat. A repülési sebesség változásának hatása. Forrás: Szerző.
8. sz. táblázat. A repülési magasság változásának hatása. Forrás: Szerző.
9. sz. táblázat. A megfigyelés látószöge változásának hatása. Forrás: Szerző.
10. sz. táblázat. A kibocsátás szórászsögének meghatározása. Forrás: Szerző.
11. sz. táblázat. A szórt felület hosszának változása a sebesség és az ürités függvényében. Forrás: Szerző.
12. sz. táblázat. Helikopterrel történő kibocsátás tapasztalati adatai az oltás középvezetékén. Forrás: [67].
13. sz. táblázat. A BEHAVE modell kategóriái és néhány adata. Forrás: [67].
14. sz. táblázat. A különböző biomassza típusokhoz tartozó anyag mennyiségek és a tűz által azonnal elégtő rész aránya. Forrás: Tűztér projekt.
15. sz. táblázat. A tűzvonallal intenzitás és a lehetséges, illetve szükséges repülési magasság közötti összefüggés. Forrás: Szerző.

Ábrák jegyzéke:

1. sz. ábra. A tűz terjedési sebessége és a levegő relatív páratartalma közötti összefüggés. Forrás: [12].
2. sz. ábra. Kárérték–Idő függvény különböző riasztási időpontokra vonatkoztatva. Kárérték az oltás megkezdésének függvényében. Forrás: Bleszity nyomán a Szerző.
3. sz. ábra. Kárérték–Idő függvény erdőtűzre vonatkoztatva. Forrás: Szerző.
4. sz. ábra. A tűzvonallal intenzitás becsléséhez vett lánghosszúság mérésének értelmezése. Forrás: Szerző.
5. sz. ábra. A tűz terjedése ideális körülmények között. Forrás: Szerző.
6. sz. ábra. Az oltási teljesítmény változása a tűzintenzitás függvényében. Forrás: Szerző.
7. sz. ábra. A tűzoltás folyamata a Tűzoltási Szabályzat pontjai alapján. Forrás: Szerző.
8. sz. ábra. A tűzoltás folyamata és a problémák végső konklúziójának összevetése. Forrás: Szerző.
9. sz. ábra. Az erdőtűzök légi támogatásának lehetőségei. Forrás: Szerző.
10. sz. ábra. Sacksafoam rendszer vázlatja. Forrás: <http://www.sei-ind.com>. Letöltés ideje: 2007.11.22.
11. sz. ábra. A retardánsok átlagos cseppmérete a sebesség függvényében. Forrás: [71].
12. sz. ábra: Mechanikus turbulencia. Forrás: Szerző.
13. sz. ábra. A buborék kialakulásának fázisai. Forrás: [77].
14. sz. ábra. A légi tűzoltás gazdaságossági vizsgálatának alapesetei. Forrás: Szerző.
15. sz. ábra. A megmentett erdő és a leégett terület. Forrás: Szerző.
16. sz. ábra. A megmentett erdő és a leégett terület hagyományos eszközökkel oltáskor. Forrás: Szerző.
17. sz. ábra. A leégett terület hagyományos és repülőgépes oltás közös alkalmazása esetén. Forrás: Szerző.
18. sz. ábra. A légi felderítés lehetőségei a tűzoltás támogatása során. Forrás: Szerző.
19. sz. ábra. Az útvonal lerepülésének ideje a sebesség változásának függvényében. Forrás: Szerző.
20. sz. ábra. A repülési útvonal modellje. Forrás: Szerző.
21. sz. ábra. A repülés útvonalának változása a magasság növelésével. Forrás: Szerző.
22. sz. ábra. A repülési magasság változásának hatása. Forrás: Szerző.
23. sz. ábra. A repülési útvonalának változása a magasság növelésének hatására. Forrás: Szerző.
24. sz. ábra. A holt és megfigyelt területek aránya a repülési magasság és a kamera látószögének változása függvényében. Forrás: Szerző.
26. sz. ábra. Az oltóanyag viselkedése a kibocsátás után. Forrás: [30].
27. sz. ábra. A cseppméretek gyakorisága. Forrás: [71].
28. sz. ábra. Az oltóanyag kibocsátásának vizsgálata több metszetben. Forrás: [12].
29. sz. ábra. A kibocsátott oltóanyag szórásképeinek leegyszerűsített formái. Helikopterrel Bambi Bucket –ből és Canadair CL 415 repülőgépből. Forrás: a képek alapján a Szerző. Képek forrása: www.airlines.net/photo/. Letöltés: 2007.02.23.
30. sz. ábra. A kibocsátás parabola modellje. Forrás: Szerző.
31. sz. ábra. A háromszög modell. Forrás: Szerző.
32. sz. ábra. Az oltóanyag felületi eloszlása. Forrás: [71].

33. sz. ábra. Az egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyiség két-, és háromdimenziós megjelenítéssel. Forrás: Tomé nyomán a Szerző.
34. sz. ábra. A függesztmény vetülete üres tartály esetén. Forrás: a kép alapján a Szerző. Kép forrása: www.airlines.net/photo/. Letöltés: 2007.01.20.
35. sz. ábra. A benedvesített felület keresztmetszetének változása különböző magasságú növényzet esetén (lábás erdő, bozótos, füves talaj). Forrás: Szerző.
36. sz. ábra. A repülési magasság és a szórt felület metszetének viszonya. Forrás: Szerző.
37. sz. ábra. A repülőgép emelkedése kibocsátáskor korrigálás nélkül. Forrás: Szerző.
38. sz. ábra. Szórási felületek a repülési magasság függvényében. Forrás: Szerző.
39. sz. ábra. A repülési sebesség változásának hatása a szórt felület nagyságára. Forrás: Szerző.
40. sz. ábra. A kibocsátások vesztesége. Forrás: a képek alapján a Szerző. Képek forrása: Cifka M.: Tűzoltás a levegőből. <http://www.sg.hu/cikkek/39094>; www.airlines.net/photo/. Letöltés: 2007.01.20.
41. sz. ábra. A felületi eloszlás hatástalan része. Forrás: Szerző.
42. sz. ábra. A szóráskép elmozdulása a szél hatására. Forrás: Szerző.
43. sz. ábra. A légi tűzoltás szabványmanőverei. Forrás: Szerző.
44. sz. ábra. Egyenes vonalban végrehajtott kibocsátási manőver. Ábra forrása: Szerző.
45. sz. ábra. Rárepülés után kifordulással történő kibocsátás. Ábra forrása: Szerző.
46. sz. ábra. Az egységnyi felületre jutó oltóanyag mennyisége a reológiai görbék segítségével és a repülési magasság függvényében. Forrás: Hardy nyomán a Szerző.
47. sz. ábra. A védelmi vonal szórásmentességének kialakulása. Forrás: Szerző.
48. sz. ábra. A légi tűzoltás eljárásai sík és hegyvidék esetén. Forrás: Szerző.
49. sz. ábra. Oltás a tűz szél felőli oldalán. Ábra forrása: Szerző.
50. sz. ábra. Oltás a tűz széllel ellentétes oldalán. Ábra forrása: Szerző.
51. sz. ábra. Oltás termik által befolyásolt szél esetén. Ábra forrása: Szerző.
52. sz. ábra. A tűzoltás általános eljárása hegyes terep fölött. Ábra forrása: Szerző.
53. sz. ábra. Oltás hegyes terep fölött, védendő objektum esetén. Ábra forrása: Szerző.
54. sz. ábra. Oltás hegyes terep fölött, a terjedés megakadályozása. Ábra forrása: Szerző.

Publikációk jegyzéke

Szakkikkek

1. **A tűzoltásvezető döntéshozatali mechanizmusa**; Védelem, VIII. Évfolyam 2. szám, Budapest, 2001, ISSN: 1218-2958
2. **A légi tűzoltást befolyásoló tényezők**; Védelem IX. Évfolyam 5. szám, Budapest, 2002, ISSN 1218-2958
3. **A légi tűzoltás manőverei**; Védelem, IX. Évfolyam 5. szám, Budapest, 2002, ISSN 1218-2958
4. **Mikro-meteorológiai tényezők a tűzoltásban**; Védelem, IX. Évfolyam 5. szám, Budapest, 2002, ISSN 1218-2958
5. **Légi tűzoltás a gyakorlatban**; Védelem, IX. Évfolyam 6. szám, Budapest, 2002, ISSN 1218-2958
6. **Döntéstámogatás légi eszközök alkalmazására**; Védelem, X. Évfolyam 3. szám, Budapest, 2003, ISSN 1218-2958
7. **Repülőgépek és helikopterek kiszolgálása**; Védelem, X. Évfolyam 3. szám, Budapest, 2003, ISSN 1218-2958
8. **A tűzoltóság tevékenységének logisztikai alapjai**; Katonai Logisztika, XI. évfolyam 4. szám, 2003, ISSN 1588-4228
9. **Integrált vegetációtűz menedzsment**; Védelem XI. Évfolyam 3. szám, Budapest, 2004, ISSN 1218-2958
10. **Erdőtűzek felderítésének támogatása levegőből**; Védelem XI. Évfolyam 6. szám, Budapest, 2004, ISSN 1218-2958
11. **Robot reconnaissance aircraft for fighting forest fires**; Academic and Applied Research in Military Science, III. Évfolyam, 5. szám, Budapest, 2004, ISSN 1588-8789
12. **Kiseb területű tüzek esetén is gazdaságos I**; Florian Press, XIV. Évfolyam 11. szám, 2005, ISSN 215-492X
13. **Ki gépen száll fölébe...**; Tűzvonalban, III. Évfolyam, 11. szám, 2005, ISSN 1589-6889
14. **Az UAVNET regionális munkaértekezlete Szendrőn**; Védelem XII. Évfolyam 6. szám, Budapest, 2005, ISSN 1218-2958
15. **Kiseb területű tüzek esetén is gazdaságos II**; Florian Press, XIV. Évfolyam 12. szám, 2005, ISSN 215-492X

-
16. **Active fire detection and Characterization with the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)** (Társszerzők: L. Giglio, I. Csiszar, J.T. Morisette, W. Schroeder, D. Morton, C.O. Justice) Elsevier Science, Bírálattal. Kézirat: RSE-D-07-00563

Előadások

1. **Robot Reconnaissance Aircraft An Opportunity To Use Robot Technology For Fighting Forest Fires**; Robotwarfare 3. Konferencia, ZMNE, Budapest, 2003. november 25.
2. **An opportunity to use robot technology for fighting forest fire**; UAVNET 9th Meeting, Amszterdam, Hollandia, 2004. január 26 –27.
3. **How to measure the utility of robot reconnaissance aircraft supporting fighting forest fire**; UAVNET 10th Meeting, London, Anglia, 2004. május 6 – 7.
4. **UAV based fire detection result of test flyings in summer 2004**; UAVNET 11th Meeting, Budapest, 2004. szeptember 6 –7.
5. **Szendró-Type Integrated Vegetation Fire Management: A Vegetation Fire Management Program from Hungary**; Monitoring Sc.and Technology Symp, Denver, USA, 2004. szeptember 20 – 24.
6. **Wildfire Management – Problems and solutions**; Veda a Krízové Situacie, Konferencia, Zilina, Szlovákia, 2004. november 9.
7. **Pilóta nélküli repülőgép alkalmazása vegetációtüzek felderítésére. A Szendrói Tűzoltóság eredményei**; Robothadviselés 4. Konferencia, ZMNE, Budapest, 2004. november 24.
8. **Erdőtűz – katasztrófák légi tűzoltás-taktikájának elméleti alapjai és gyakorlati megvalósulása**; Fél évszázad forgószárnyakon a magyar katonai repülésben, Konferencia, Szolnok, 2005. április 15.
9. **Vegetációtüzek felderítésének támogatása pilóta nélküli repülőgépek alkalmazásával**; Fél évszázad forgószárnyakon a magyar katonai repülésben, Konferencia, Szolnok, 2005. április 15.
10. **Szendró - type Integrated Vegetation Fire Management - based on remote sensing modules. Wildfire Management Program from Hungary**; 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management, EARSeL Forest Fire SIG Meeting, Zaragoza, Spanyolország, 2005. június 17 – 18. ISBN 84-96214-52-4
11. **Remote Sensing Based Wildfire Detection and Intervention Monitoring. Szendró – type Integrated Vegetation Fire Management - Wildfire Management Program from Hungary**; International Symposium on Remote Sensing of Environment, Szentpétervár, Oroszország, 2005. június 20 – 24.
12. **Pilóta nélküli repülőgépek felhasználási lehetőségei**; UAVNET Regionális Munkaértekezlet, Szendró, 2005. szeptember 23.
13. **Wildfire Management at Aggtelek National Park**; The International Emergency Management Society – 2nd TIEMS Workshop, Trogír, Horvátország, 2005. szeptember 27 – 28.
14. **Wildfire Management at Aggtelek National Park, Hungary Integrated Vegetation Fire Management**; IV Simposio Internacional sobre el Manejo Sostenible de los Recursos Forestales I Taller Internacional sobre Manejo del Fuego, Pinar del Río, Kuba, 2006. április 19 – 22.
15. **Wildfire Management Supported by UAV Based Air Reconnaissance Experiments and Results of Szendro Fire Department, Hungary**; IV Simposio Internacional sobre el Manejo Sostenible de los Recursos Forestales I Taller Internacional sobre Manejo del Fuego, Pinar del Río, Kuba, 2006. április 19 – 22.
16. **Multi-Scale Active Fire Detection and Verification from ASTER, MODIS and VIIRS**; Eleventh Biennial USDA Forest Service Remote Sensing Applications Conference, Salt Lake City, USA, 2006. április 24 – 28. ISBN 1-57083-084-3
17. **Wildfire Management Supported by UAV Based Air Reconnaissance Experiments and Results at the Szendro Fire Department, Hungary**; Eleventh Biennial USDA Forest Service Remote Sensing Applications Conference, Salt Lake City, USA, 2006. április 24 – 28. ISBN 1-57083-084-3
18. **Wildfire Detection and Intervention Monitoring at Aggtelek National Park Based on Remote Sensing**; Eleventh Biennial USDA Forest Service Remote Sensing Applications Conference, Salt Lake City, USA, 2006. április 24 – 28. ISBN 1-57083-084-3
19. **Forest Fire Management at Aggtelek National Park Integrated Vegetation Fire Management**, International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area, Corte – Ajaccio, Franciaország, 2006. július 10 – 13.
20. **Forest Fire Management Supporting by UAV Based Air Reconnaissance Results of Szendro Fire Department, Hungary**; International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area, Corte – Ajaccio, Franciaország, 2006. július 10 – 13.
21. **Remote Sensing for Fire Fighters Integrated Wildfire Management at Aggtelek National Park**; Remote Sensing Applications for Sustainable Future Symposium; Haifa, Izrael, 2006. szeptember 4 – 7. (az előadás befogadásra került, de a közel – keleti események miatt elmaradt)

22. **Unmanned Aerial Vehicles for Fire Monitoring Efforts and Results of Szendro Fire Department;** Remote Sensing Applications for Sustainable Future Symposium; Haifa, Izrael, 2006. szeptember 4 – 7. (az előadás anyaga befogadásra került, de a közel – keleti események miatt elmaradt)
23. **Waldbrandschutz im Aggtelek National Park, Ungarn. Ergabniss der Szendrő Feuerwehr;** CTIF Waldbrabschutz Conference, Hvar, Horvátország, 2006. október 16-17.
24. **Firefighting Experiment. Story of Szendrő.** UAVNET 15th Meeting, Varsó, Lengyelország, 2006. október 26-27.
25. **Erdőtüzek felderítésének támogatása pilóta nélküli repülőgéppel. A tűzoltóságnál elsőként készenléthe helyezett UAV fejlesztése és a tapasztalatok;** Robothadviselés 6 Konferencia, ZMNE, Budapest, 2006. November 22.
26. **The Regulation Unmanned Aerial Vehicle of the Szendrő Fire Department Supporting Fighting Against Forest Fires – 1st of the World!;** International Conference on Forest Fire Research; Coimbra, Portugália, 2006. november 27 – 30.
27. **Integrated Vegetation Fire Management at Aggtelek National Park Wildfire Management Program from Hungary;** International Conference on Forest Fire Research; Coimbra, Portugália, 2006. november 27 – 30.
28. **Wildland Fire Decision Support System in Aggtelek National Park, Hungary,** (társszerzők: Nagy Dániel, Rózsa Sándor) 2nd Fire Behaviour and Fuel Management Conference; Destin, USA, 2007. március 26 – 28.
29. **Vegetációtüzek felderítésének támogatása pilóta nélküli repülőgépek alkalmazásával.** Pilóta nélküli és szállító repülőeszközök katonai alkalmazhatósága Tudományos Konferencia, ZMNE Repülőműszaki Intézet, Szolnok, 2007. április 20.
30. **Brand new tool for forest fire monitoring: small UAV applications as on everyday practice. Experiences of Szendrő Fire Department, Hungary;** Wildfire2007 4th International Wildland Fire Conference, Sevilla, Spanyolország, 2007. május 13 – 18.
31. **Wildland Fire Decision Support System in Aggtelek National Park, Hungary,** (társszerzők: Nagy Dániel, Rózsa Sándor) Wildfire2007 4th International Wildland Fire Conference, Sevilla, Spanyolország, 2007. május 13 – 18.
32. **Using Small UAVs for Forest Fire Reconnaissance. Results of Szendro Fire Department;** UAV Technology: Present and Future, International Conference Maribor, Szlovénia, 2007. június 1- 3.
33. **Using Small UAVs for Forest Fire Reconnaissance as on Everyday Practice! It is Reality at Szendro Fire Department, Hungary;** UAV 2007 Conference, Paris, Franciaország, 2007. június 12 – 14.
34. **Fire fighting in Szendro supported by UAV based fire monitoring;** UAVNET 16th Workshop, INTA, Madrid, Spanyolország, 2007. október 17-18.