



RESTÁS ÁGOSTON*

A LÉGI TÜZOLTÁS HATÉKONYSÁGÁNAK TÜZOLTÁSTAKTIKAI MEGKÖZELÍTÉSE

ÖSSZEFOGLALÁS: A nagy kiterjedésű és intenzív tüzek elfojtásához rendszeresen alkalmazunk repülőgépeket, amelyek bár gyakran hasznosak, de bevetésük sajnos nagyon költséges is. A hatékonyság növelése érdekében, a repülőgépek képességeinek ismerete mellett érdemes a tűzoltástaktikai jellemzőket is megismerni. A szerző áttekintést nyújt a hatékonyságot befolyásoló tényezőkről, valamint bemutat egy olyan hazai fejlesztést, amely jelentősen növelheti a repülőgépek alkalmazásának előnyeit.

KULCSSZAVAK: légi tűzoltás, tűzintenzitás, szóráskép, hatékonyság, IAF technológia

ABSTRACT: We regularly use aircrafts to fight large-scale and intense fires, which, although often useful, are unfortunately also very expensive. In order to increase efficiency, in addition to knowing the capabilities of the aircraft, it may also be worthwhile to learn about the tactical characteristics of firefighting. The author provides an overview of the factors affecting effectiveness and presents a Hungarian development that can significantly increase the efficiency of the use of aircraft.

KEYWORDS: aerial firefighting, fire intensity, spray pattern, effectiveness, IAF technology

A JOGSZABÁLYI KÖRNYEZET MAGYARORSZÁGON

Hazánkban kifejezetten légi tűzoltásra szakosodott szervezet nincs, az eddigi gyakorlat alapján azt magánvállalkozásban, valamint a Magyar Honvédség kötelékében lévő repülőgépekkel hajtják végre. Ez utóbbi jogszabályi kereteit a 2011. évi CXXVIII. törvény 82. § (3) bekezdés a)–d) pontjában [1] kapott felhatalmazás alapján kiadott 26/2021. (XII. 17.) HM rendelet teszi lehetővé, amely a honvédelmi ágazat katasztrófák elleni védekezésének irányításáról és feladatairól szól. [2] A Magyar Honvédség béke időszaki képességéről és feladatrendszeréről, annak fejlesztési lehetőségeiről, valamint a jelenlegi és esetleges jövőbeni eszközparkjáról a közelmúltban már olvashattunk e lap hasábjain. [3] Ennek kapcsán döntően a meglévő Mi-8/17 típusok eddigi alkalmazásának tapasztalatairól, az új H145M és H225M helikopterek lehetőségeiről, a külső függesztményként szállított Bambi Bucket család előnyeiről, korlátairól, valamint, a beszerzés alatt lévő KC-390-es repülőgép tűzoltási

képességét növelő MAFFS II¹ rendszerről kaphatott műszaki, technikai jellegű információkat az olvasó.

A fentiek alapján, a légi tűzoltást hajlamosak vagyunk kifejezetten csak repüléstechnikai szempontból megközelíteni és az egyre korszerűbb légi járművek imponáló paraméterei alapján azt gondolni, hogy már csupán ettől is hatékonyabbak vagyunk, vagyis, a tüzeket gyorsabban, rövidebb idő alatt, esetleg kisebb költséggel, vagy kevesebb oltóanyaggal tudjuk eloltani. Sajnos a tapasztalatok azt mutatják, hogy ez egyáltalán nincs így (2. ábra). Ennek egyik oka, hogy a repülőtechnika, illetve annak képességei csupán egy szeletét adják a hatékony tűzoltás több összetevőből álló, és igencsak bonyolult rendszerének. A hatékony tűzoltáshoz a pilótáknak ismerniük kellene néhány alapvető tűzoltástaktikai sajátosságot is, és ugyanígy, a tűzoltásvezetőknek is tisztában kellene lenniük a repülőgépek képességeivel és korlátaival. A szakmai jellegzetességek kölcsönös ismerete nélkül a szinergiák helyett sem az egyik, sem a másik oldal előnyeit nem tudjuk kihasználni, népi-

1. ÁBRA. Beriev Be-200-as tűzoltó repülőgép bemutatórepülésen. Az oltóanyag kibocsátása igen látványos, ám jelentős a kibocsátási veszteség (Forrás: Shutterstock)

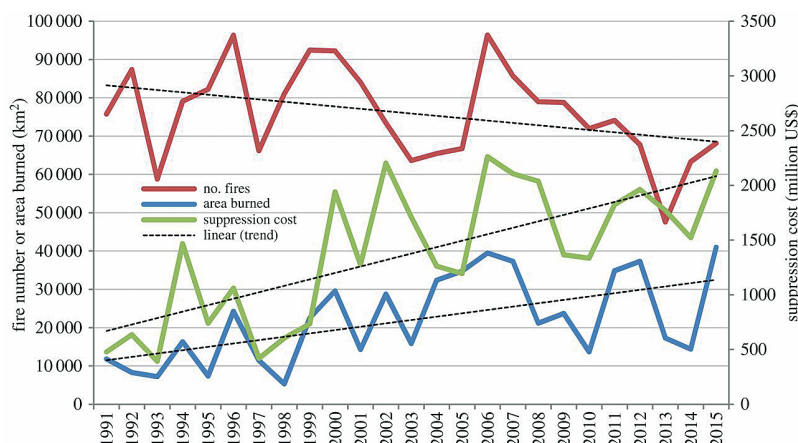
¹ MAFFS – Modular Airborne Fire Fighting System (moduláris légi tűzoltó rendszer). A továbbfejlesztett változata a MAFFS II, amelynek kapacitása akár 3000 gallon (11 000 liter) is lehet.

* Prof. dr. ny. mk. t.ú. alezredes PhD., PhD. NKE Rendéstudományi Kar, Katasztrófavédelmi Intézet Tűzvédelmi és Mentésirányítási Tanszék tanszékvezető, egyetemi tanár. ORCID: 0000-0003-4886-0117



2. ÁBRA.

A vegetációtüzek számának (piros), a leégett terület nagyságának (kék) és az oltási költségeknek (zöld) összefüggései, trendjei, valamint időbeli alakulása. A bal oldali függőleges tengely a tüzek számát és a leégett terület nagyságát, míg a jobb oldali az oltási költségeit mutatja millió dollárban (USD). Jól látható, hogy az oltási költségei arányaiban gyorsabban nőnek, mint a leégett területek nagysága az Egyesült Államokban 1991 és 2015 között [4]



es hasonlattal, a két szék között a pad alá ülünk, miközben az erőforrások pazarlása történik.

A légi tűzoltás hatékonyságát számos tényező befolyásolja. Ezek közé tartoznak természetesen az alkalmazott légi járművek műszaki jellemzői, repülési tulajdonságai, képességei, fel- és leszállási követelményei, a szállítható oltóanyag mennyisége, feltöltésének módja, valamint időigénye, és nem utolsósorban a repülőeszköz üzemeltetési költségei. Az oltáshoz kapcsolódó tényezők közé tartozik az oltóanyag kibocsátási formája, a repülés sebessége és magassága, a felszíni szóráskép, a különböző veszteségek, valamint az átlagos fordulód. A tűzhöz kapcsolódó tényezők közé sorolhatók a helyi meteorológiai jellemzők, a domborzat, a tűz intenzitása, a frontvonal égésének homogenitása, a terjedési sebesség, a növényzet jellemzői. A fentiek túl a hatékonyságot befolyásoló tényezőként említhetjük az oltóanyagot, amelyen többnyire vizet értünk, de a nemzetközi gyakorlat előszeretettel alkalmaz ún. retardánsokat, (égéskésleltetők) és olykor habokat is. A légi tűzoltás tehát számos tényezőtől függ, kizárólag a repülőgép képességeinek szem előtt tartása – pl. a produktivitás, vagyis egységnyi idő alatt mennyi vizet juttatunk ki a hely-

színre – aligha elegendő a hatékony oltáshoz.

A TŰZ FIZIKAI JELLEMZŐINEK AZ OLTÁSI HATÉKONYSÁGOT BEFOLYÁSOLÓ HATÁSA

Az oltási frontvonal legfontosabb jellemzője a tűzintenzitás. [5] Ez az adott helyen és pillanatban nehezen mérhető, az erős korreláció miatt azonban jó becslést ad a lánghosszúsággal történő összevetés [6], amely a légi jármű fedélzetéről is aránylag könnyen megítélhető. A hatékony tűzoltásnak alapvetően két feltétele van, amelyek a tűzintenzitásból, illetve – a fentiek alapján – a lánghosszúságból levezethetők. Az egyik, hogy egységnyi felületen elegendő mennyiségű oltóanyag (fedettségi szint), a másik, hogy a nedvesített felület megfelelő szélességű legyen. [7] Ez utóbbira, tapasztalatok alapján a gyakorlat elfogadja, hogy a nedvesített szélességnek a lánghosszúság legalább dupláját kell elérnie. [8] A szükséges oltóanyag-mennyiség tűzintenzitástól függő, lánghosszúsággal korreláló értékei, valamint a nedvesíteni szükséges sáv szélesség az 1. táblázatban láthatók.

Fontos megismételni, hogy mindkét hatékonysági feltétel a tűzintenzitástól függ, de akár alul-, akár felülteljesítés történik, veszteségekkel számolhatunk. Alulteljesítést jelent, ha

a fedettségi szint, és/vagy a nedvesített sáv szélessége nem elegendő, és ugyanígy, felülteljesítésről beszélünk, ha a két érték jelentősen több, mint amennyire az oltáshoz szükség van. Alulteljesítés esetén a tűz intenzitása egy darabig lecsökken, majd a nedvesített sáv átégése után a tűz ugyanolyan intenzitással tovább ég, mint korábban. Vagyis, a sikertelen oltás miatt tulajdonképpen fölöslegesen szállítottuk ki az oltóanyagot, tehát pazaroltuk az erőforrásokat. Felülteljesítés esetén is pazarlásról beszélhetünk, mivel mind a szükségesnél nagyobb fedettségi szint, mind a szükségesnél szélesebb nedvesített felület csökkenti az oltási ciklusonként rendelkezésre álló oltóanyaggal eloltható frontvonal hosszát. A geometrikus veszteség levezetése más tanulmányban részletesen is megtalálható. [7]

A fentiek szerint azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a lánghosszúságtól függően a hatékony tűzoltáshoz mind a szükséges oltóanyag-mennyiség, mind az elégséges nedvesített sáv szélessége megadható. Ennek alapján a hatékony szóráskép 3 dimenziós formája szabályos téglatestet mutat, amelynek keresztmetszetét a fenti két paraméter, míg a hosszúságát a kiszállított oltóanyag mennyisége határozza meg. Ez egyébként az elérhető maximális oltási képesség (Available Maximum Extinguishing Capacity – AMEC), amely egy ún. box model (doboz modell) segítségével szemléletesen is ábrázolható (3. ábra). Ezek alapján nem is tűnik bonyolultnak a tűz eloltása. Nézzük meg azonban, hogy ez hogyan valósul meg a gyakorlatban.

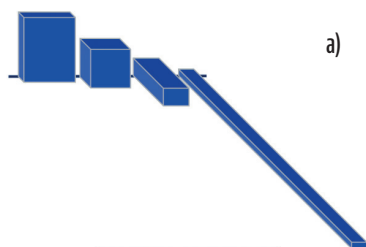
A JELENLEGI GYAKORLAT JELLEMZŐI

A légi tűzoltás jelenlegi gyakorlatának kritikus elemzése során – mint látni fogjuk – nagyon sok probléma merül fel, a számbavételük is nehéz, így ez a tanulmány sem térhet ki valamennyire. A pilóták által elkövetett tipikus hibákat más tanulmányban részletesebben is elemeztem [9], itt inkább a tűzoltástaktikai tényezőkre kívánom felhívni a figyelmet. A fejlettebb országokban a légi tűzoltásnak egyre több ellenzője és kritikusa akad, hiszen, aki a hatékonyságot inkább

1. TÁBLÁZAT.

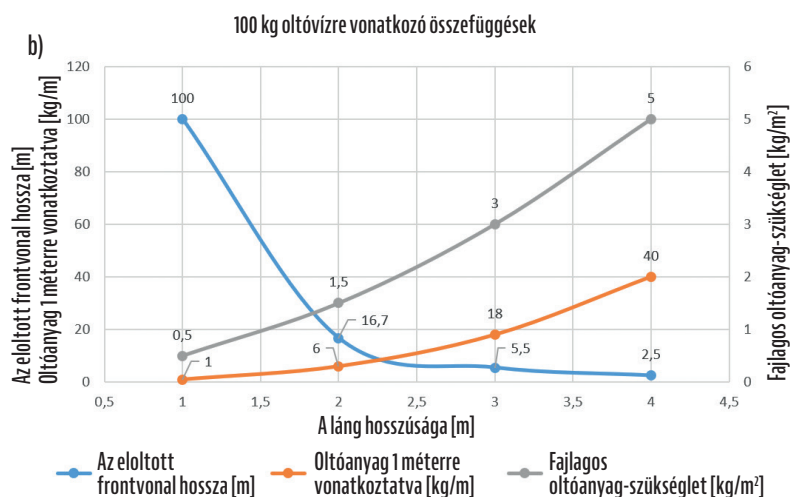
A lánghosszúság és a tűzintenzitás összefüggései az oltáshoz szükséges fedettségi szinttel, és a nedvesített sáv szélességével (A szerző szerkesztése)

Lánghosszúság [m]	Tűzintenzitás [MWm ⁻²]	Szükséges oltóanyag [kgm ⁻²]	Szükséges sáv szélesség [m]	1 m hosszú frontvonal eloltásához szükséges oltóanyag [kg]
1	0,5	0,5	2	1
2	1,5	1,5	4	6
3	2,5	3	6	18
4	3,5	5	8	40



a számokra, a valós eredményekre alapozza, annak erről bizonyos ellenétes véleménye lehet, mint amit a közvélekedés gondol. [10]

Az egyik ok, hogy helikopteres oltás esetén a függesztményként szállított külső tartályok eleve nem teszik lehetővé a szállítási képesség maximális kihasználását. Egyrészt azért, mert a tartályok merítése során a helikopter a párnahatás² zónáján kívül üzemel, másrészt azért, mert a tartályok kapacitása is jelentősen kisebb a lehetségesnél. Sőt, a tapasztalatok azt mutatják, hogy már a merítésnél sem sikerül a teljes rendelkezésre álló térfogatot kihasználni. A szállítás során további veszteséggel számolhatunk, a nyitott tetejű, puha falu tartály a repülési sebesség és távolság függvényében jelentős mennyiségű vizet veszít, ráadásul alsó részének tökéletlen záródása miatt szinte mindig felfedezhető csöpögés, csorgás is. Hazai mérések alapján a fenti veszteségek elérhetik akár a teljes szállítási kapacitás 50%-át is. [12] Ennek megítélésére példa lehet az az eset, amikor egy 4 t teherbírású helikopter egy 2500 l-es tartállyal üzemel, és csupán kb. 1250 kg vizet képes a helyszínre juttatni. Szerencsére nem ez az általános tapasztalat, mégis jól szemlélteti a lehetőségek és a valóság közötti jelentős különbséget. A fentiek miatt a nyitott tartályok elhúzódó beavatkozásoknál egyértelműen kerülendőek, noha alkalmazásuk kezdeti tüzek, vagy helyi fellángolások esetén kétségtelenül hasznos, illetve kifejezetten indokolt. Ez utóbbi azzal magyarázható, hogy közgazdasági szempontból a kezdeti tüzek bármilyen veszteséggel történő eloltása is kedvezőbb (olcsóbb), mint a később kialakuló hosszú frontvonalak ideális, de időben elhúzódó oltása. [9] A fenti



3. ÁBRA. A box model (doboz modell) grafikus ábrázolása a), valamint tűoltástaktikai összefüggések 100 kg oltóanyagmennyiségre vonatkoztatva, és a lánghosszához viszonyítva b) (A szerző szerkesztése)

veszteségeket együttesen a szállítási veszteségek csoportjába soroljuk, amelyeket csak nyitott tartályok, vagyis a helikopteres tűoltás során veszünk figyelembe. (4. ábra)

További probléma – főleg merevszárnyú repülőgépeknél –, hogy kibocsájtáskor, a nagy repülési sebesség miatt az oltóanyag a levegővel ütközve szinte szétrobban, amelynek több negatív következménnyel is jár. Egyike ezeknek, hogy sok olyan apró vízcsepp is keletkezik, amelyet a szél elsodor még azelőtt, hogy az az égő zónába kerülne, vagyis, az oltóanyag ezen része a hűtőhatását nem tudja kifejteni, tehát a szállítási kapacitást fölöslegesen foglalta. Ezt kibocsájtási veszteségnek nevezzük, amelynél – döntően a repülési sebességtől, kisebb mértékben a magasságtól függően – kb. 5–10% körüli mennyiség mindenképpen számításba vehető. [14]

A következő nagy probléma az oltóanyag földön kialakuló ún. szórásképe, amelyet döntően szintén a repülési sebesség és a kibocsájtás magassága befolyásol. [15] (1., 5. ábra) A korábban vázolt, és a hatékony oltáshoz idealizált téglatest formájú helyett a valós szóráskép meglehetősen hektikus alakul, amelynek egy véletlenszerűen kiválasztott példáját az 6. ábra mutatja. [16]

A nedvesített felület – az oltóanyag „lábnyoma” – leegyszerűsítve koncentrikus ellipszisekhez hasonlítható, ahol az egyes „ellipszisek” színezése az oltóanyag egységnyi felületen mérhető eloszlásának diszkrét értékeit

mutatják. (7. ábra) Ahogyan arról már korábban szó esett, ahol a mennyiség, vagy más néven a fedettségi szint nem éri el a tűintenzitáshoz szükséges értéket, ott alulteljesítésről beszélhetünk, míg, ha a fedettségi szint jelentősen több, úgy felülteljesítéssel találkozunk. Ez az alul- és felülteljesítési veszteség még inkább szemléletes, ha azt a szóráskép egyszerűsített formájára, vagyis a koncentrikus ellipszisekre vonatkoztatjuk. Az „ellipszis” két végénél, ahol a nedvesített zóna szélessége még nem éri el a lánghosszúság dupláját, ott az oltás nem lesz hatékony. Itt egy ideig a tű terjedése lelassulhat bár, de elaludni nem fog, így a száraz részt elérve, újra ugyanúgy terjed majd, mint korábban. Az ellipszis azon szakasza azonban, ahol a szélesség meghaladja a lánghosszúság dupláját, szintén veszteség, mivel a tű sokkal korábban elalszik, minthogy elérte volna a nedvesített zóna szélét. Vagyis, fölöslegesen juttattunk ki oda annyi vizet, a szállítási kapacitás erre jutó része veszteség-

4. ÁBRA. A szállítási veszteség igazolása. A szállítóedény tetején és alján folyamatos az oltóanyag-veszteség [13]



² Párnahatás: a helikopter földközeli függésekor ($H_{rep} < D_{FSZ}$) a forgószárny leáramlásának megváltozása (az általa indukált sebesség nagyságának csökkenése) miatt megnő annak vonóereje. [11]

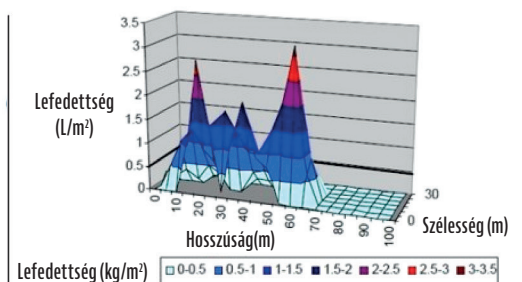
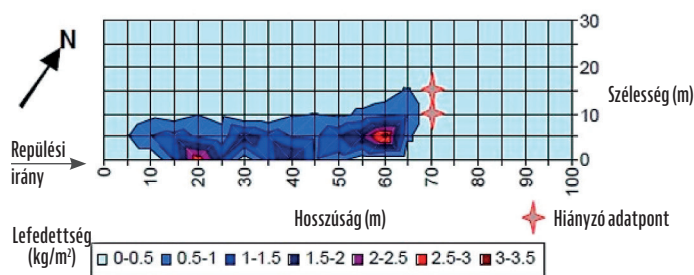


5. ÁBRA. A kibocsátott oltóanyag a levegővel ütközve szétporlad, az apró cseppek a légmozgással eltávoznak és nem vesznek részt az égéstér hűtésében. Noha a kibocsátás meglehetősen látványos, a hatékonyság sajnos nem az elérhető legjobb [9]

ként értékelhető. Ebben az esetben geometrikus alul- és felülteljesítéssel találkozunk. A valóság természetesen sohasem ennyire szabályos, ettől függetlenül a leírtak alapján bizonyosan érzékelhető a probléma jelentősége. A szóráskép geometrikus elemzése azt mutatja, hogy a helyszínrre szállított oltóanyagoknak kevesebb, mint a 20%-a hasznosul hatékonyan. [7]

A fentieket tetézi, hogy a növényzet felülete csak korlátozottan képes a vizet megtartani, egy kifejlett erdő lombozata kb. 5 kgm⁻² mennyiséget. [18] Amennyiben ettől több kerül a felszínére, úgy az 5 kg-on felüli mennyiség lecsorog a talajra, és nem vesz részt az égéstér hűtésében, vagyis – függetlenül az égés intenzitásától – fölöslegesen foglalta le a szállítási kapacitást, így az arra fordított erőforrások veszteségként értékelhetők. A másik probléma, hogy a tapasztalatok alapján 5kgm⁻² vízzel csak kb. 3,5MWm⁻¹ tűzintenzitásig tudunk hatékonyan oltani. [15] Amennyiben a tűz ennél nagyobb intenzitású, úgy más tűzoltástaktikát kell választani, pl. oltóanyagként a sokkal drágább és környezetszennyezőbb retardánsok használata szükséges. Ezek alkalmazására eddig Magyarországon még nem került sor, épp úgy, mint az oltóhabokéra sem.

6. ÁBRA. A bal oldalon egy véletlenszerűen kiválasztott szóráskép kiterjedését és felületi eloszlását ábrázoló sík látható, amelynek rácsozása 5 m-es osztással készült. A jobb oldalon ugyanez a szóráskép 3 dimenzióban jelenik meg, a függőleges tengelyen az oltóanyaggal való lefedettség értékeivel (kgm⁻²). A különböző színek a lefedettség értékeit mutatják (0 ÷ 3,5 kgm⁻²). Látható, hogy a szóráskép szabálytalan formájú, és a lefedettsége is hektikus [16]



$$E_{\text{mozgási}} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} 1 \text{ kg } (40 \text{ ms}^{-1})^2 = 800 \text{ J}$$

$$E_{\text{helyzeti}} = mgh = 1 \text{ kg } 10 \text{ ms}^{-2} 30 \text{ m} = 300 \text{ J}$$

$$E_{\text{mozgási}} + E_{\text{helyzeti}} = 800 \text{ J} + 300 \text{ J} = 1,1 \text{ kJ}$$

$$T_{20^\circ\text{C víz}} \rightarrow T_{100^\circ\text{C víz}} \quad Q_1 (E_1) = c_{\text{víz}} m \Delta T = 4,2 \text{ kJkg}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1} 1 \text{ kg } 80^\circ\text{C} = 336 \text{ kJ}$$

$$T_{100^\circ\text{C víz}} \rightarrow T_{100^\circ\text{C gőz}} \quad Q_2 (\Delta E_2) = L_{\text{víz}} m = 2256 \text{ kJkg}^{-1} 1 \text{ kg} = 2256 \text{ kJ}$$

$$T_{100^\circ\text{C gőz}} \rightarrow T_{400^\circ\text{C gőz}} \quad Q_3 (\Delta E_3) = c_{\text{gőz}} m \Delta T = 2,1 \text{ kJkg}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1} 1 \text{ kg } 300^\circ\text{C} = 630 \text{ kJ}$$

$$Q_1 (E_1) + Q_2 (E_2) + Q_3 (E_3) = 336 \text{ kJ} + 2256 \text{ kJ} + 630 \text{ kJ} = 3222 \text{ kJ}$$

A gyakorlat azt mutatja, hogy a pilóták elszerűtlenül használják a víz ún. ütőhatását is. Ekkor, nagy sebességgel és alacsony repülési magasságon történik a kibocsátás, így az oltóanyag kinetikus energiájával sokszor le lehet szakítani a lángot az égő felületről. Ez a taktika kezdeti tüzek esetén, illetve lokális fellángolásoknál – mint az az előzőekben olvasható – kifejezetten előnyös és indokolt lehet, azonban kiterjedt tüzeknél ez a módszer – a vízben rejlő hűtési kapacitás kihasználatlansága miatt – egyértelműen pazarlást jelent. Egy 30 m magasságból 40 ms⁻¹ sebességgel kibocsátott, 1 kg tömegű víz ütési energiája a helyzeti és a mozgási energiájából számítva ideális esetben kb. 1,1 kJ-nak vehető. A víz fajhője azonban – ebben az esetben nyilvánvalóan a hőelvonó képességet értjük alatta – 4,2 kJkg⁻¹°C⁻¹, amely azt jelenti, hogy ugyanakkora tömegű víz 20°C-ról 100°C-ra történő felmelegedése – azaz, 80°C-os hőmérsékletemelkedés – 336 kJ energiát lenne képes elvonni az égéstér környezetéből. Elpárolgás esetén, a párolgáshő miatt további 2256 kJ hőelvonással számolhatunk, amelyhez a kb. 400°C-on távozó égési gázokban található vízgőz – a gőz 2,1 kJkg⁻¹°C⁻¹ fajhőjével számolva – még további 630 kJ hőelvonási többletet jelenthet. Összességében 1 kg tömegű víz esetén közel 3,222 MJ potenciális hőelvonó képességgel kalkulálhatunk, és ezt kell szembe állítani a példában bemutatott 1,1 kJ ütési

energiával. (8. ábra) Az ismertetett példát a következő (a keretben látható) képlettel írhatjuk fel, ahol:

$c_{\text{víz}}$: a víz fajhője,

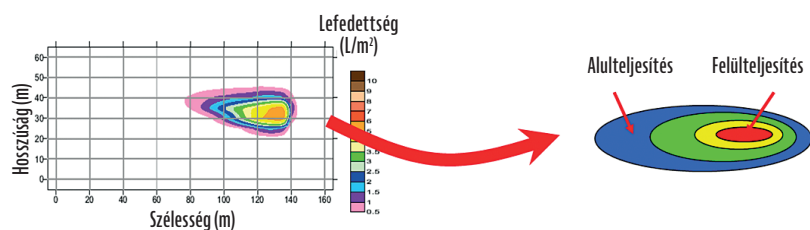
$L_{\text{víz}}$: a víz párolgáshője,

$c_{\text{gőz}}$: a vízgőz fajhője.

Természetesen az ütési energia használata során a víz hőelvonó képessége is jelentősen érvényesül, azonban ebben az esetben a fedettségi szint rendszerint már sokkal több 5kgm⁻²-nél, így az ebben rejlő potenciál miatt egyértelmű, hogy időben elhúzódo oltásoknál az előbbivel szemben az utóbbi kihasználására kell törekedni. A víz hőelvonási képessége gyakorlatilag erőforrásként értékelhető, így a hatékonyság növelése érdekében az a cél, hogy ezt minél jobban érvényesíteni tudjuk.

A fentiek talán segítenek annak megértésében, hogy – a közhiedelemmel ellentétben – a légi tűzoltás miért olyan alacsony hatékonyságú. Egyes mérések szerint még kedvező esetben is a kibocsátott oltóanyag csak a 40–60%-a hasznosul hatékonyan [19], más szerző munkája kevesebb, mint 10%-os értéket mutat. [20] Saját vizsgálataim alapján – a szóráskép eloszlási geometriájának figyelembevételével – a légi tűzoltás jelenlegi hatékonysága legfeljebb 20%-os. [7]

Feltehető a kérdés, hogy miért ennyire fontos a veszteségekről, vagy a hatékonyságról beszélni, azt ilyen



7. ÁBRA. Egy valós szóráskép kiterjedését és felületi eloszlását ábrázoló sík, amelynek rácsozása a vízszintes tengelyen 20 m-es, a függőlegesen 10 m-es osztással készült (bal), valamint annak egyszerűsített formája az alul- és felülteljesítés zónáival (jobb). A különböző színek a lefedettség értékeit mutatják ($0,5 \div 10 \text{ kgm}^{-2}$) (A szerző szerkesztése [17] alapján)

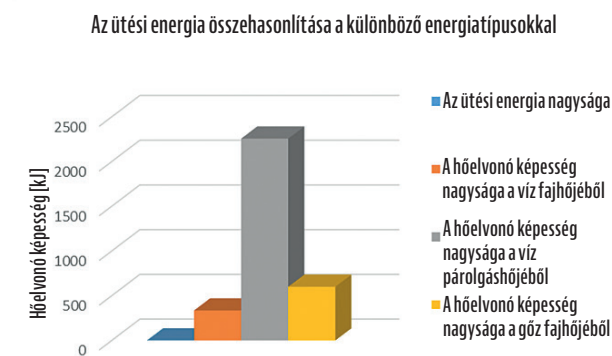
részletesen elemezni, vagy annak javításán fáradozni. Ausztráliában úgy számolnak, hogy minden 1 km frontvonal repülőgépes oltása kb. 200 ezer ausztrál dollárba kerül, vagyis, átszámítva minden 1 m frontvonalszakasz kb. 40 ezer forintot emészt fel. Ebben az összegben a repülőtechnika üzemeltetési költsége mellett már az oltóanyag ára is szerepel. Ebből adódóan, egy tűzoltásvezető a légi egységek kérésekor csupán egyetlen alkalommal is több 10 millió forint sorsáról dönt, amelyet naponta többször is megismétel. Belátható, hogy a döntéshozónak mekkora a felelőssége, amikor egy több napig tartó oltás esetén naponta akár 6–12 kibocsájtást is kér, különösen, ha azt nem a lehető leghatékonyabban használják fel. Figyelembe véve az oltási potenciál jelenlegi kb. 20%-os kihasználását, igazoltnak vehetjük, hogy a hatékonyságról beszélni, azt javítani a szakemberek számára nem pusztán csak egy lehetőség, hanem már sokkal inkább erkölcsi kötelesség. Ez akkor is igaz, ha a magyarországi, valamint az ausztrál, a kanadai, vagy az amerikai egyesült államokbeli költségek közvetlenül nem összevethetők.

A HATÉKONYSÁG NÖVELÉSÉNEK EGY LEHETSÉGES MÓDJA: AZ I4F TECHNOLÓGIA, A MAGYAR FEJLESZTÉS

Az előzőekben bemutatott helyzetkép alapján jól látható, hogy a légi tűzoltás hagyományos módszere milyen sok nehézséggel jár, és milyen jelentős veszteségekkel működik. A bemutatott hazai fejlesztés a fenti problémák jelentős részét képes lehet megoldani, és így a veszteségeket is a jelenlegi töredékére csökkenteni.

A technológia az I4F nevet viseli, amely az Instant Foam Fighting Forest Fires (azonnali habbal oltás az erdőtüzek ellen) angol elnevezés kezdőbetűiből alkotott rövidítés. (9. ábra)

A fejlesztési projekt is ezt a nevet viselte, amelynek költségeit az EU Horizon 2020 program biztosította, közel 900 ezereuró támogatással. [21] Ennek a fedélzetre kerülő részéért, a tartályokért és az azokhoz kapcsolódó kiegészítőkért az R-Fire Kft. volt a felelős. A nyitott tetejű szállítási formák jelentős veszteségei miatt a fejlesztés már a kezdetektől a repülőgépek és helikopterek belső terében elhelyezhető tartály irányába indult el. A kutatócsoport már a projekt elején megfogalmazta, hogy a víz korlátozott oltási képességét meg kell növelni. Ezt úgy sikerült elérni, hogy habképző adalékanyag hozzáadásával a kibocsájtott oltóanyag már nem pusztán víz lesz, hanem olyan hab, amely a tapasztalatok alapján háromszor nagyobb, azaz kb. 5 kgm^{-2} helyett akár 15 kgm^{-2} mennyiségben képes a lombzat felszínén maradni. [22] Ezáltal, a víz oltási képességét, amely tiszta formában kb. $3,5 \text{ MWm}^{-1}$ tűzintenzitásig képes hatékonyan oltani, kb. $10,5 \text{ MWm}^{-1}$ értékig sikerült emelni. A hab alkalmazása egyéb előnyöket is nyújthat. Tudjuk, hogy a tűzoltó haboknak létezik ún. szigetelő hatása is, amelyet a fejlesztés során laboratóriumi mérésekkel is sikerült meghatározni. Ennek lényege, hogy a tűzoltó habbal védett felületek kb. kétszer olyan hosszú ideig állnak ellen a meggyulladásnak, mintha csak ugyanolyan tömegű víz hőelvonó-képességével védenénk azokat. [23] A fenti adatokat összeszorozva azt kaptuk, hogy az I4F technológia eredményeként



8. ÁBRA. Az ütési energia nagyságának összehasonlítása a víz hőelvonó képességével (A szerző szerkesztése)

akár 20 MWm^{-1} tűzintenzitásig is lehetséges az oltás, amely mintegy hatszorosa a vízének, így eléri a szakma által eddig a leghatékonyabbnak tartott, de sokkal költségesebb és környezetszennyezőbb retardánsok értékét. Összehasonlításként, egy fenyő lombkoronája kb. 8 MWm^{-1} tűzintenzitással ég, a heves égésű frontvonalak intenzitása elérheti a 14 MWm^{-1} értéket, de a 18 MWm^{-1} tűzintenzitást már csak kevés tűz haladja meg. A fentiek alapján, az I4F technológia alkalmazása a vízzel oltás korlátait jelentősen túllépi, és képes lehet a jelenlegi tüzek döntő többségét megszüntetni.

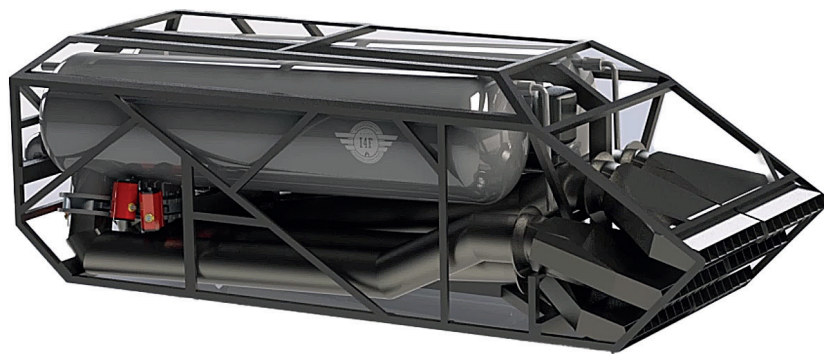
A habbal oltás technológiáját választva a kutatócsoport elérte, hogy az a kibocsájtott oltóanyaggal magas intenzitású tüzek oltására is alkalmas legyen, a kibocsájtási veszteségek ezzel azonban még nem csökkentek. (10. ábra) Ahogyan korábban bemutattam, az egyik legnagyobb problémát a kiáramló oltóközeg és a környező levegő sebessége közötti különbség okozza, vagyis emiatt „robban” szét az oltóanyag, és okozza mind az erőteljes porladást, mind



9. ÁBRA. Az I4F technológia földi tesztjének egyik eredménye a) és egy légi teszt drónnal készített képe b) (A szerző felvétele)

HIVATKOZÁSOK

- [1] 2011. I. 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról;
- [2] 26/2021. (XII. 17.) HM rendelet a honvédelmi ágazat katasztrófák elleni védekezésének irányításáról és feladatairól;
- [3] Szerényi-Salamon, T., Somogyi, Z. (2023) A Magyar Honvédség légi tűzoltó képességének fejlesztési lehetőségei, *Haditechnika*, 57 (5) pp. 51–56.;
- [4] Xanthopoulos, G., Leone, V., Delogu, G.M. (2020) The suppression model fragilities: The “firefighting trap”, *Extreme Wildfire Events and Disasters*, 2020, pp. 135–153. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815721-3.00007-2>;
- [5] Byram, G. M. *Combustion of Forest Fuels*, In: *Forest Fire: Control and Use* (1959) pp. 61–89. New York: McGraw-Hill, United States;
- [6] Alexander, M. E., Cruz M. G. (2012) Interdependencies between flame length and fireline intensity in predicting crown fire initiation and crown scorch height, *Int'l Journal of Wildland Fire*, 21, pp. 95–113. <https://doi.org/10.1071/WF11001>;
- [7] Restas, A. (2023) Examining the Effectiveness of Aerial Firefighting with the Components of Firebreak Requirements and Footprint Geometry—Critics of the Present Practice. *Fire*, 6, 351. <https://doi.org/10.3390/fire6090351>;
- [8] Simon B; Crowley C.; Franco F. (2022) The Costs and Costs Avoided From Wildfire Fire Management—A Conceptual Framework for a Value of Information Analysis. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.804958/full>;
- [9] Restas, A. (2020) Hungarian - Slovakian Cooperation Making Aerial Firefighting More Effective: Error Analysis. In: Makovicka O, L., F., Zelinka, S. (eds) *Wood & Fire Safety*. WFS 2020. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41235-7_54;
- [10] Christopher, B. (2016) Does Using Airplanes to Put out Forest Fires Actually Work? *Priceconomics*, 11.07.2016, <https://priceconomics.com/does-using-airplanes-to-put-out-forest-fires/> (Letöltve: 2022.8.22.);
- [11] Szelestey, Gy. (1974) Áramlástan IV. Helikopter aerodinamika, Tankönyv, Szolnok, Kilián György Repülő Műszaki Főiskola p.130.;
- [12] Jambrik, R. (2007) Légi támogatás nélkül nehéz lett volna, *Védelem*, 14 (6) pp. 51–53., Budapest, ISSN: 1218-2958;
- [13] „Super Puma Fire Fighting Routine Training Mission Swiss Air Force at Axalp 2012,” <https://www.youtube.com/watch?v=Shn5ChpOHGs> (Letöltve: 2015.12.6.);
- [14] Restás, Á. (2012) Légi tűzoltás instant habbal: I4F technológia, *Repüléstudományi Közlemények* 24 (2) pp. 490–501.;
- [15] Hardy, C. *Chemicals for Forest Fire Fighting*. Study (1985) NFPA, National Fire Protection Association, Boston, United States;
- [16] Plucinski, M. P.; McCarthy, G.; Gould, J. (2005) *Aerial Suppression Experiment*. Ensis Technical Report No: 153, Ensis, Bushfire Research CSIRO, Cambridge, Tasmania, Australia, 21-23.02.2005;
- [17] Tomé, M.; Borrego, C. (2002) Fighting wildfires with retardants applied with airplanes. *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Viegas (ed.) Millpress, Rotterdam, p. 133, ISBN 90-770117-72-0;
- [18] Csontos, P., Cseresnyés, I. (2007) Feketefenyvesek tűzveszélyességi viszonyainak elemzése. In: Csontos P. (ed.) *Feketefenyvesek ökológiai kutatása*. Scientia Kiadó, Budapest, pp: 57–79.;
- [19] Satoh, K., Maeda, I., Kuwahara, K., Yang, K.T. (2005) A Numerical Study of Water Dump in Aerial Fire Fighting. *Fire Safety Science*, 8 pp. 777–787. <http://doi:10.3801/IAFSS.FSS.8-777>;
- [20] Pekić, Z. (2007) High rate spray technique – a new way for effective aerial wildfire suppression. *Wildfire 2007 Conference Seville, Spain*, 14-17.05.2007;
- [21] I4F – Instant Foam for Fighting Forest Fires, EU Cordis, Horizon 2020, Grant agreement ID: 711160 <https://doi.org/10.3030/711160>;
- [22] Restás, Á. (2014) Suppression capability of foams used fighting against forest fires with the test of weight rate remained on the crown surface R-10A Method - weight effectiveness experiment, In: Domingos, X.V. (ed.) *Advances in Forest Fire Research*, Coimbra, Portugália, 1529–1536. https://doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_168;
- [23] Restás, Á. (2014) Results of the R-20F Method for Measuring the Water Equivalence of the Isolation Effect of Foams Used in Fighting Forest Fires, In: Domingos, X.V. (ed.) *Advances in Forest Fire Research*, Coimbra, Portugália, 1485–1495. https://doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_163



10. ÁBRA. Az R-Fire Kft. közreműködésével fejlesztett I4F technológiájú fedélzeti tartály első prototípusáról készült grafika. A kompozit anyagból készült nyomástartó edényt a légi járművek fedélzetére installálják (Forrás: fejlesztői csoport)

a szabálytalan szórás képét a felszínen. Ennek kiküszöbölésére a kutatók olyan nyomástartó edényt terveztek, amelyből az oltóanyag közelítőleg olyan sebességgel távozik a helikopterből, mint amilyen sebességgel a légi jármű előre felé repül. Így a kiáramló hab és a levegő között nincs jelentős sebességkülönbség, ezért annak szerkezete egyszerűen nem roncsolódik, másrészt az áramlását szabályozó sugárcsövek biztosítani tudják, hogy a korábbi ellipszisforma helyett a szükséges szélességű, geometriai veszteségektől mentes habtakaró jöjjön létre. A számítások azt mutatják, hogy a tűz jellemzőitől függően ugyanannyi oltóanyaggal az I4F technológia akár ötször olyan hosszú védelmi vonalat is létrehozhat, mint a jelenleg alkalmazott hagyományos technológia. [7]

Bár a fejlesztés során elkészített prototípus eredményei sokkal jobbak, mint az a kezdetekben várható volt, az I4F jelenlegi állapotában még nem piacépes termék. Az oltás folyamatát rendszerben elképzelve szükség van egy földi töltőállomás megépítésére, amely lehetővé teszi, hogy a jelenlegi egyedi tartályfeltöltések helyett, ez sorozatban történjen. Ezzel a megoldással egyszerre legalább két helikoptert lehet váltásban kiszolgálni, óránként akár 8 felszállással. A fejlesztők

szeretnék továbbá a tartály és az oltóanyag jelenlegi 1:2 tömegarányát 1:3-ra javítani, amely további jelentős hatékonyságnövekedést jelentene. A hab jellemzőin is javítani kívánnak. A hagyományos habképzéssel már sikerült a stabilitást időben közel megháromszorozni, azonban az I4F technológia esetében ehhez még némi fejlesztés, kísérletezés szükséges.

ÖSSZEĞEZÉS

A légi tűzoltás egy több összetevőből álló komplex folyamat, amelynél a repülőgépek technikai jellemzői mellett a tűzoltástaktikai sajátosságokat is figyelembe kell venni. A hatékonyság kérdésénél nem elég csupán szállítási mennyiségeket vizsgálnunk, az oltóanyagban rejlő oltási képességeket is számításba kell vennünk. Az oltóanyagra, még ha az víz is, másként kell gondolnunk, mint korábban, hiszen a tartályba, fedélzetre kerülve már csak korlátozottan rendelkezésre álló erőforrásként vehető figyelembe. A hatékonyság növelése érdekében a repülőgépek lehetőségei mellett az oltóanyagban rejlő képességeket is maximálisan ki kell használni. A bemutatott I4F technológia egyszerűen a víz hűtőhatásának optimális kihasználására, másrészt, a hagyományos szórás kép geometrikus hibáinak megoldására törekszik. ■



11. ÁBRA. A hagyományos (bal) és az I4F technológia (jobb) kibocsájtási képe közötti különbség. [9] Az eltérő módszer 2,4 kgm² fedettségi szint esetén 35 m (bal) és 175 m (jobb) hosszú hatékony oltási sáv kialakítását teszi lehetővé, jelentős előnyt biztosítva az új technológiának