



**NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI  
EGYETEM**

**Katasztrófavédelmi Intézet**



## **KÉZIKÖNYV**

**AZ ERDŐTŰZEK OLTÁSÁNAK HATÉKONYABBÁ  
TÉTELE A LÉGI FELDERÍTÉS, A LÉGI TŰZOLTÁS ÉS  
AZ OLTÓANYAGOK MEGVÁLASZTÁSÁNAK  
VIZSGÁLATÁVAL**

**Dr. Restás Ágoston**

**- Budapest, 2015 -**

# **KÉZIKÖNYV**

## **Az erdőtüzek oltásának hatékonyabbá tétele a légi felderítés, a légi tűzoltás és az oltóanyagok megválasztásának vizsgálatával <sup>1</sup>**

### **Szerző:**

Dr. Restás Ágoston<sup>2</sup>, 2015

### **Szerkesztő:**

Dr. Restás Ágoston

### **Lektor:**

Prof. Dr. Bleszity János

### **Kiadja:**

NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM

Katasztrófavédelmi Intézet

1101 Budapest, Hungária krt. 9-11.

Budapest, 2015.

**ISBN 978-615-5057-51-9**

---

<sup>1</sup> Készült a szerző azonos című habilitációs tézisei felhasználásával

<sup>2</sup> Tanszékvezető egyetemi docens, NKE Katasztrófavédelmi Intézet Tűzvédelmi és Mentésszervezési Tanszék

## Tartalom

Bevezetés.....	5
1 FEJEZET .....	6
A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK ERDŐTÜZEKNÉL TÖRTÉNŐ ALKALMAZÁSÁNAK STRUKTURÁLT FELOSZTÁSA A TAKTIKAI KÜLÖNBÖZŐSÉGEK FÜGGVÉNYÉBEN .....	6
1.1 Bevezetés .....	6
1.2 Légi őrjáratkozás a tüzek észlelése céljából .....	6
1.3 Légi felderítés a beavatkozás megkezdése előtt .....	8
1.4 Légi megfigyelés a beavatkozás közben.....	10
1.5 A tűz eloltása utáni terület megfigyelés.....	12
1.6 Tűzgyújtás (ellenőrzött égetés) UAV alkalmazásával.....	13
1.7 Összegzés.....	15
FELHASZNÁLT IRODALOM .....	16
2 FEJEZET .....	17
A LÉGI TŰZOLTÁS KRITIKAI ELEMZÉSE AZ OLTÓANYAGOK HATÉKONYSÁGÁRA FÓKUSZÁLVA, ÚTMUTATÁS A HATÉKONYSÁG NÖVELESÉNEK EGY LEHETŐSÉGÉRE .....	17
2.1 A víz alkalmazásának oltásméleti háttere .....	17
2.2 A légi tűzoltás veszteségei .....	18
2.3 A víz oltóhatásának növelési lehetőségei .....	20
2.4 A habbal oltás problémaköre .....	22
2.5 A szigetelő hatás és a többlet tömeg összegzése .....	24
2.6 Az új technológia hatékonysága gazdaságossági elemzés alapján .....	25
2.6.1 Az oltóanyag: víz.....	25
2.6.2 Az oltóanyag: hagyományos hab.....	26
2.6.3 A hatékonyság számításának végtelen vagy szándékolt elvi hibája.....	27
2.6.4 Az oltóanyag biztosítása az új technológiával.....	28
2.7 Következtetések a gyakorlati számítás eredményeiből.....	29
2.8 Az oltóanyag: retardáns – .....	30
2.8.1 a hatékonyság kritikai elemzése .....	30
2.8.2 Logikai következtetés, szakértői becslés és hipotézis vizsgálat .....	31
FELHASZNÁLT IRODALOM .....	34
3 FEJEZET .....	35
AZ OLTÓANYAGOK VALAMINT A LÉGI OLTÓESZKÖZÖK KÖLTSÉGEINEK ÉS HATÉKONYSÁGÁNAK EGYÜTTES ELEMZÉSE .....	35
3.1 Bevezetés .....	35
3.2 Az oltóanyagok hatékonysága és a hozzátartozó költségek .....	35

3.3	Az oltóanyag hatékonyságának elemzése .....	37
3.4	Az oltóanyagok hatékonyságát jellemző indexek.....	38
3.4.1	Abszolút index .....	38
3.4.2	Sztenderd index.....	39
3.4.3	Összehasonlító index .....	40
3.5	A logisztikai hatékonyság – a légi tűzoltás költségei .....	40
3.6	A légi tűzoltás hatékonyságának indexei .....	42
3.6.1	Abszolút index .....	42
3.6.2	Sztenderd index.....	43
3.6.3	Összehasonlító index .....	44
3.7	Minősítő indexek - az oltóanyagok és logisztikájának minősítő indexei .....	44
3.7.1	Abszolút index .....	44
3.7.2	Sztenderd index.....	47
3.7.3	Összehasonlító index .....	48
3.8	Összegzés.....	50
	FELHASZNÁLT IRODALOM .....	51
4	A TÉZISEK RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA .....	52

## Bevezetés

A globális klímaváltozás egyik várható hatása az, hogy az erdő és vegetációtüzek kockázata megnő, a bekövetkezett tüzesetek pedig sokkal intenzívebb lefolyásúvá válnak, súlyosabb károkat okozhatnak mint eddig. A szakemberek szinte egyöntetű véleménye alapján a mediterrán térségre jellemző tüzek északi határa kitolódhat, elérve hazánkat is, főleg annak déli és alföldi területeit. Ez mindenképpen az erdőtüzek elleni védekezés fontosságát mutatja és az elmúlt időszakra jellemző hozzáállás felülvizsgálatát indokolja.

Az erdőtűzoltás problémáira való rámutatás és a hazai hatások ellensúlyozására irányuló erőfeszítéseimen túlmenően téziseimmel kifejezett szándékom, hogy egyrészt, további kutatásaimat is elősegítse és ösztönözze, de gyakorlati eredményeket is generáljon, másrészt, azok nemzetközi szinten is értékelhetők és felhasználhatók, értékesek legyenek.

A kiterjedt erdőtüzek oltásánál a nemzetközi gyakorlat általánosan alkalmaz repülőgépeket és helikoptereket mind felderítésre, mind tűzoltásra. **A felderítés önmagában is többféle lehetőséget kínál, ezek áttekintése tematikusan, a tűzoltás folyamatához illesztve is célszerű lehet, így első tézisem ezek vizsgálatára irányul. Ennek során igazolni kívánom, hogy a pilóta nélküli repülőgépek erdőtüzeknél történő alkalmazásának formái taktikailag egymástól jól elkülöníthetők.** A téma szakirodalma meglehetősen szegényes, így írásomat alapvetően saját, ezzel kapcsolatos munkáimra, tapasztalataimra építettem.

**Második tézisem az aktív beavatkozással, a légi tűzoltással foglalkozik. Elsőként, az oltóanyagok alkalmazásának hatékonyságára fókuszálva kritikai elemzést végzek a légi tűzoltás jelenlegi taktikájáról, majd ezen keresztül iránymutatást szeretnék adni, megoldást kívánok találni a hatékonyság növelésének módjára, amelyet számításokkal igazolok.**

**Utolsó, harmadik tézisemben a légi tűzoltás hatékonyságának elemzéséhez egy új, eddig még nem alkalmazott módszert dolgozok ki, amelynek elemeit logikai kapcsolattal összekötöm és mátrixot alkotok. A módszer alkalmazhatóságát a valósághoz közeli példaértékekkel vizsgálom és ezek eredményeiből a hatékonyság növelési lehetőségére vonatkozó következtetéseket vonok le.**

Kutatási célkitűzéseim elérése érdekében, téziseim bemutatásához különböző vizsgálati módszereket alkalmaztam; így szakirodalmi kutatásokat végeztem, alapvető törvényszerűségeket használtam fel a matematikai és közgazdaságtan területéről is. A hipotézis vizsgálat mellett – valós adatok hiányában – természetesen saját szakértői becslésemet is alkalmaznom kellett. Következtetéseimhez több esetben is saját tervezésű kísérleteimmel és tesztelésekkel jutottam el, továbbá felhasználtam a pályafutásom alatt szerzett gyakorlati tapasztalatokat is. A mindezekről készült publikációm – a habilitációs útmutatás alapján – igyekeztem gazdagon felhasználni.

**A téziseim nem önmagáért valók, mindegyikük valós segítséget kíván nyújtani az erdőtűzoltás hatékonyságának növelése érdekében; ennek során, a szakmai hatékonyságon túllépve a közgazdasági hatékonyság szempontjait tekintem irányadóknak.**

## 1 FEJEZET

# A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK ERDŐTÜZEKNÉL TÖRTÉNŐ ALKALMAZÁSÁNAK STRUKTURÁLT FELOSZTÁSA A TAKTIKAI KÜLÖNBÖZŐSÉGEK FÜGGVÉNYÉBEN

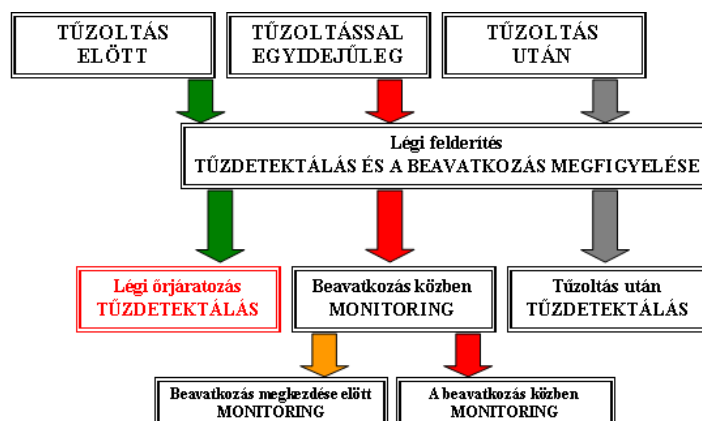
### 1.1 Bevezetés

A pilóta nélküli repülőgépek (UAV) erdőtüzeknél történő alkalmazási lehetőségét szinte kivétel nélkül valamennyi gyártó ajánlásában megtaláljuk, azonban egyetlen helyen sem találkozunk annak konkrét megvalósítására tett javaslattal, vagy példával. Ennek nyilvánvaló okai között szerepelhet az, hogy a tűzoltás szakembereivel ennek az alkalmazásnak a részleteit a gyártók sohasem vizsgálták vagy elemezték. Az ajánlás egyértelműen a légi felderítésre fókuszál, holott ettől ma már lényegesen többre is képesek lehetnek az UAV-k.

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. A fentiek kiegészítéseként ma már megkezdődött az aktív tűzoltásban, az ellenőrzött tüzek gyújtásában való közreműködés kidolgozása és megvalósítása is. Első tézisem a fenti lehetőségeket strukturális felosztás alapján mutatja be; elsőként a légi felderítésre koncentrálni, majd az ellenőrzött tűzgyújtás lehetőségével kiegészítve.

### 1.2 Légi őrjáratozás a tüzek észlelése céljából

Az UAV erdőtüzeknél történő alkalmazásának logikailag első lehetősége a tüzek keletkezése előtti tevékenység, amely légi őrjáratozás formájában valósítható meg. A légi őrjáratozás célja az, hogy gyorsabb tűzészlelést, detektálást biztosítson, mint a spontán jelző személyek bejelentései. Ezáltal a beavatkozás korábban megkezdhető, így gyorsabb tűzoltást érhetünk el és csökkenthetjük a kárértéket, illetve nagyobb lesz a megmentett érték. Amennyiben a légi őrjáratozás gyorsabb jelzést eredményez, mint az állampolgári bejelentés, úgy abszolút értelemben ez a módoszat nyilvánvalóan hatékonyabbnak tekinthető.



1.1 ábra. Az UAV alkalmazásának strukturális felosztása: légi őrjáratozás.

Forrás: szerző.

Az UAV légi őrjáratozásának végrehajtása alapvetően megegyezik a klasszikus, a fedélzetén személyzettel repülő légi járművek őrjáratozásával. A különbség az, hogy a repülőgép fedélzetén tartózkodó személyzet helyett a tüzek észlelését az UAV fedélzetére installált kamera lesugárzott képének figyelésével a földi irányító ponton lévő, vagy egy távolabbi megfigyelő központban tartózkodó személy végzi. Tűzoltás-taktikai szempontból itt elsősorban az észlelési hatékonyság kérdéskörét kell vizsgálni.

Amennyiben a központban korábban észlelik a tüzet, mint ahogyan állampolgári bejelentés érkezik, úgy abszolút értelemben hatékonyabb megoldásról beszélhetünk<sup>3</sup>. Ez a megközelítés szakmailag védhető bár, de nemzetgazdasági szinten nem bizonyítható a hatékonyság valóban magasabb szintje. Ehhez gazdaságossági alapon nyugvó bizonyítás szükséges: A megmentett érték növekedése amennyiben eléri, vagy meghaladja a légi őrjáratozás költségeit, úgy az észlelésnek ez a módja már nemzetgazdasági szinten is hatékonyabb.

A légi őrjáratozás nélküli és a légi őrjáratozással végrehajtott tűzoltás eredményessége a kárérték, illetve a megmentett érték különbségében kimutathatónak kell lennie. Amennyiben a korábbi jelzés eredményeként a kárérték olyan mértékben csökken (leégett erdőterület), illetve a megmentett érték olyan mértékben nő, amely legalább eléri, de inkább meghaladja a légi őrjáratozás valamennyi költségét, akkor a légi őrjáratozás gazdaságossági szempontból is előnyös. A gazdaságossági szempontból előnyös beavatkozás a nemzetgazdasági szintű hatékonyság feltételének teljesítését is jelenti.

$$\Delta K_{\text{kárérték}} > \Sigma C_{\text{légi\_őrjáratozás}} \quad (1)$$

$$\Delta M_{\text{megmentett\_érték}} > \Sigma C_{\text{légi\_őrjáratozás}} \quad (2)$$

- $\Delta K_{\text{kárérték}}$  kárérték különbség a légi őrjáratozással és légi őrjáratozás nélküli beavatkozások között;
- $\Sigma C_{\text{légi\_őrjáratozás}}$  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 katasztrófavédelem számára nyilvánvalóan indokolatlanul magasak lennének a normál, személyzettel repülő légi őrjáratozás költségei. Magyarországon az ezredforduló idején civil kezdeményezésre<sup>4</sup> már 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 be<sup>5</sup>. 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.

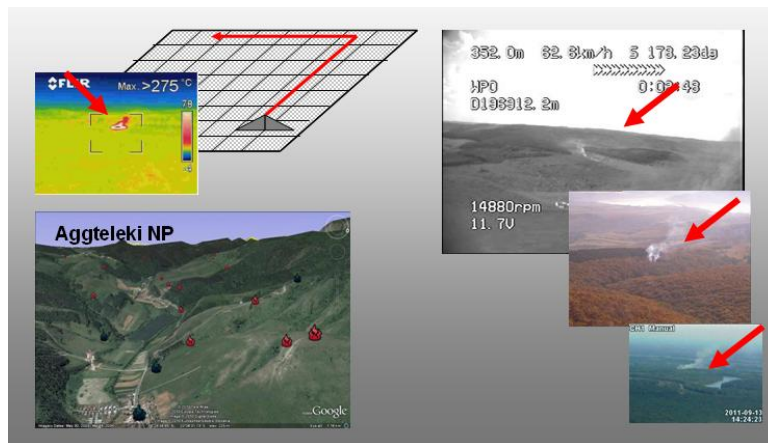
Az UAV alkalmazások egyik előnye köztudomásúan az alacsonyabb költségekben rejlik. Az UAV-kel, valamint a személyzettel rendelkező repülőgépekkel végrehajtott őrjáratozás hasznossági kritériumainak közgazdasági elemzése megegyezik, ezért felismerhető, hogy az UAV alkalmazásoknál alacsonyabb költség szintnél érvényesül a hatékonyság kritériuma.

<sup>3</sup> Részletesebb gazdaságossági elemzéseket szintén a szerző végzett PhD értekezésében [1].

<sup>4</sup> 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.

<sup>5</sup> A légi őrjáratozásnak a megelőzésben, a visszatartó erőben megnyilvánuló szerepét a dolgozat nem tárgyalja.

A légi űrjáratózás végrehajtásához olyan UAV alkalmazása jöhet szóba, amelynek üzemelési paraméterei lehetővé teszik a néhány órás levegőben való tartózkodást (1-3 óra), a közepes magasságú repülést (1000-6000 m) és a valós idejű adatok nagy távolságú lesugárzását (min. 100 km). A fenti meghatározások közelítő értékek, azok alapvetően függnének a megfigyelni kívánt terület nagyságától és adottságaitól (sík vidék – hegyvidék)<sup>6</sup>.



1.2 ábra. Az UAV légi űrjáratózásának eredménye a tüzek gyors detektálása. A légi űrjáratózás illusztrációja (balra) és UAV által készített valós tűzdetektálások képei (jobbra).

Forrás: szerző. (2004, 2006, 2011)

### 1.3 Légi felderítés a beavatkozás megkezdése előtt

A tűzoltás megkezdése előtt a legfontosabb dolog a felderítés, amely segítségével a beavatkozáshoz nélkülözhetetlen alapvető információkat szerzünk be. Bármely módszer, amely ehhez segítséget képes nyújtani, szakmai szempontból hatékonynak értékelhető. A fentiek alapján az UAV alkalmazása, mint a légi felderítést lehetővé tevő újszerű eszköz szakmai szempontból hasznosnak tekinthető.

A felderítéssel szemben támasztott egyik legfontosabb kritérium a gyorsaság. A bevetés előtti információhiány mielőbbi kielégítése segíti elő a hagyományos módtól – azaz az UAV támogatása nélküli beavatkozástól – hatékonyabb tűzoltást. Ez az ún. kárérték–idő függvény elemzéséből is következik [1][2]. Ez megköveteli, hogy az UAV alkalmazására a helyszínen a lehető legrövidebb időn belül, vagyis azonnal szükség van. Mivel bármilyen külső szolgáltatás igénybevétele nyilvánvalóan többlet időt emészt fel, így logikus, hogy az UAV-nek hozzá kell tartoznia az erdőtüzoltást végzők speciális málhafelszereléséhez.

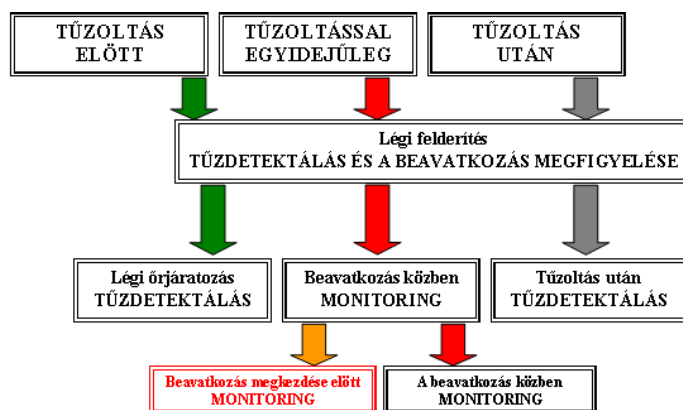
A gyors alkalmazás feltétele a saját tapasztalataim alapján teljesítettnek vehető, amennyiben a tűz helyszínére való megérkezéstől számított 5 percn belül az UAV felszállásra képes. Figyelembe véve a felszállás utáni emelkedés és – merevszárnyú repülőgép esetén – a tűz irányára való ráfordulás idejét, a kísérletek alapján már akár 2 percn belül is (a megérkezéstől számítva összesen 7 perc) értékelhető képet kapunk a tüzről. Ez alatt az idő alatt a tűzoltó 1 m/s gyalogos sebességgel 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 ( $T_{\text{tűz}} > 1,5 \text{ ha}$ ) esetén a teljes területről az UAV gyorsabban képes információt szolgáltatni.

<sup>6</sup> A dolgozat nem tárgyalja az alkalmazáshoz szükséges hatósági engedélyeztetés körülményeit.



A fentiek teljesíthetősége egy vizuális és szükség szerint hőkamerával együtt felszerelt repülőgépet igényel, amelynek az adatait valós időben az UAV lesugározva a döntéshozó részére.

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



1.3 ábra. Az UAV alkalmazásának strukturális felosztása: légi felderítés a beavatkozás megkezdése előtt. Forrás: szerző.

Az 5 percen belüli felszállás a műszaki követelményeket is megszabja. Mivel a robbanómotorok üzemeltetése, kiszolgálása (üzemanyag feltöltés, karbantartás, stb.) jelentősen körülményesebb, ezért az UAV meghajtása ennél a taktikai alkalmazásnál 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 10 – 15 percet tartózkodik a folyamatosan a levegőben. Amennyiben hosszabb repülési időre van szükség, úgy leszállást kell közbeiktatni és egy akkumulátor cserével a repülés tovább folytatható.



1.4 ábra. A tüzről rendelkezésünkre álló információ légi felderítéssel és annak közeli képe.  
Forrás: szerző

A fenti célok teljesítéséhez számtalan lehetőséget találunk. A kisméretű merevszárnyú repülőgépek ugyanúgy alkalmasak lehetnek a feladatra, mint a helikopterek. Saját tapasztalataim alapján az UAV képességeivel szemben támasztott követelmények közül a gyorsaság sokkal inkább fontosabb kritérium, mint annak magas technikai színvonala.

Tűzoltó-taktikai szempontból számos előnyét lehetne sorolni az UAV alkalmazásának. Az információk objektivitásának megítélésére példák sora mutatható be. A domborzati és terepviszonyok, valamint a füstképződés és esetenként a völgyekben megülő füst is korlátozza a felderítést. 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. Az UAV alkalmazásával a nagyobb magasság, a rálátás kedvezőbb szöge lehetővé teszi, hogy teljes, átfogó képet kapjunk az erdőtűz jelenlegi helyzetéről és várható alakulásáról.

Az UAV segítségével végrehajtott légi felderítés nem csak a statikus helyzet felmérésére alkalmazható, de meghatározott időszakonként végrehajtott útvonalrepüléssel a tűz terjedési irányának és sebességének pontos meghatározását is biztosíthatja. Ez lehetővé teszi az erők és eszközök célszerű összevonását és a beavatkozás helyének szakszerű, taktikailag optimális megválasztását. A légi felderítésnek ez a módja már átvezet a beavatkozás közbeni alkalmazás tárgyalásához.



1.5 ábra. Merevszárnyú UAV indítása és helikopter lebegése. Forrás: szerző

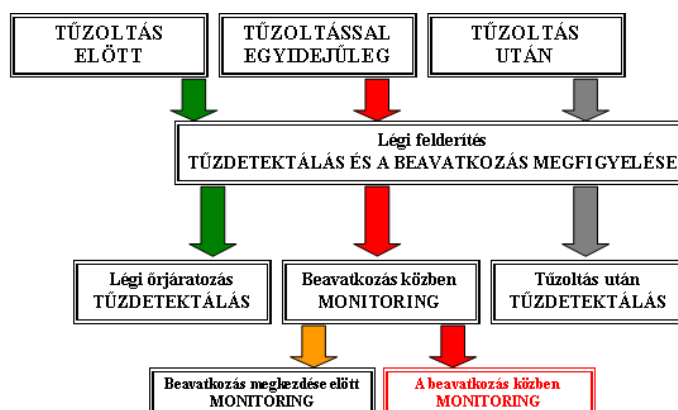
## 1.4 Légi megfigyelés a beavatkozás közben

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 megfigyelés<sup>7</sup> és a légi felderítés<sup>8</sup> lehetőségét a Tűzoltás-taktikai Szabályzat értelmében is célszerű kihasználni.

Az erdőtüzek oltásának egyik alapvető jellegzetessége, hogy az oltás ideje alatt az égő terület tovább nő, így a tűzoltásvezetőnek erre figyelemmel kell meghatároznia a hatékony oltási technikát. Vagyis, nem csak a már égő területre kell koncentrálnia, hanem az oltás során várhatóan még bizonyosan leégő, megmenthető, stb. részekre is. A tüzet nem önmagában, hanem környezetével együtt kell kezelni [3]! Ez a kritérium meghatározza, hogy az UAV repüléseket nem a tűz fölött kell végrehajtani és nem a tűz frontvonalának közeli láthatóságát kell biztosítani, hanem a terület egészéről kell perspektivikus képet adnia, amellyel nyomon követhető a tűz frontvonala, a vegetáció változása, a megközelítési útvonalak elérhetősége.

<sup>7</sup> Tűzoltás-taktikai Szabályzat, XII. fejezet 4.1 b pontja

<sup>8</sup> Tűzoltás-taktikai Szabályzat, XII. fejezet 4.1 c pontja



1.6 ábra. Az UAV alkalmazásának strukturális felosztása: légi felderítés tűzoltás közben.

Forrás: szerző

A légi felderítés saját és mások általi tapasztalatai alapján [4] [5] a repülési magasság 500 méter alatt már biztosítja a területre történő megfelelő rálátást, de kiterjedt tüzeknél is elegendő lehet az 1000 méter alatti tartomány.

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

A kamerát típusától függően lehet fixen rögzíteni, vagy távirányítással mozgathatóvá tenni. Amennyiben a kamera mozgatása nem lehetséges, úgy a megfigyelési idő a tűz irányára történő rárepülés idejével egyezik 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 idejét. A legegyszerűbb fix kamera rögzítése esetére a következőképp adom meg a ciklusidőből számított hatékony megfigyelés idejét:

$$t_{\text{monitor}} = t_{\text{ciklus}} - (2t_{\text{ford}} + t_{\text{visszarepülés}} + t_{\text{korrekció}}) \quad (3)$$

A fenti képletben szereplő jelölések:

- $t_{\text{monitor}}$  - a tűz irányába való repülés idejéből a tényleges megfigyelés időtartama,
- $t_{\text{ciklus}}$  - egy teljes repülési ciklus, a repülőgép visszaérkezik a kiindulási helyre,
- $t_{\text{ford}}$  - a fordulási idő,
- $t_{\text{visszarepülés}}$  - a tűztől való elrepülés ideje,
- $t_{\text{korrekció}}$  - a rárepülés idejéből a tűz látótéren kívül maradásának ideje.

Az erők és eszközök koncentrációja 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 még intenzív terjedés később lelassulhat és fordítva: a csekély terjedésű frontvonal égése magasabb tűzterhelésű terület elérésekor intenzívebbé, terjedése gyorsabbá válhat. A fentiek következménye, hogy az erdőtüzek hatékony oltása nem csak a jelenleg égő frontvonalak taktikailag szakszerű oltását követeli meg, hanem a jövőben várható

frontvonalakhoz igazított oltási helyek megválasztását is. A fentiek miatt az UAV alkalmazása egyértelműen hasznos segítség a döntéshozó számára.



1.7 ábra. Az UAV által készített fotókon 3 tipikus tűzforma azonosítása lehetséges: pont tűz, lineáris tűzterjedés, területtűz. Forrás: szerző

Az erdőtűzekre jellemző erős helyi feláramlások (konvekció) következtében kialakuló ún. röptűzek mielőbbi felderítése jelentős előnyökkel jár<sup>9</sup>. A földi megfigyelők látókörén kívül eső – még jelentős területen nem égő és nem füstölő – tűzek 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.

A 7. ábrán 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 színesek; a fekete-fehér kamerával készült képeken ezek kontrasztja előnyösebben kidomborodik<sup>10</sup>. Ez utóbbi tény további következtetés levonását teszi lehetővé: a tűz felderítéséhez, a hatékonyság minimum követelményeinek kielégítéséhez a fekete-fehér kamera alkalmazása is megfelelő.

## 1.5 A tűz eloltása utáni terület megfigyelés

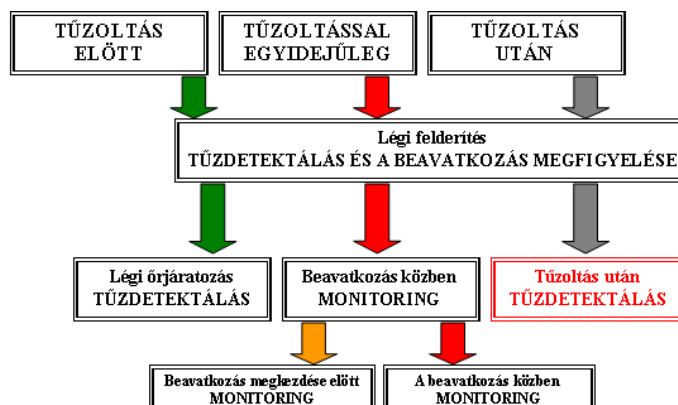
A tűz eloltása utáni feladatok közé tartozik a terület átvizsgálása, a még parázsló részek felkutatása, annak teljes eloltása céljából. Ezzel megelőzhető, hogy a tűz spontán módon, vagy a szél hatására visszagyulladjon, amivel fölöslegessé teheti az addig elvégzett oltási munkálatokat. Nagy terület egyidejű felügyelete jelentős erőforrásokat köthet le még akkor is, ha ezt nem tűzoltók végzik (pl. polgárőrök, erdészet).

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 észlelhetőkké válnak, objektív, működése a környezeti hőmérsékletkülönbség elvén alapszik, elkerülve a szubjektív észlelés okozta tévedést.

<sup>9</sup> A röptűzek kialakulásának kockázata a koronatűzzel égő erdők esetén különösen magas.

<sup>10</sup> 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.

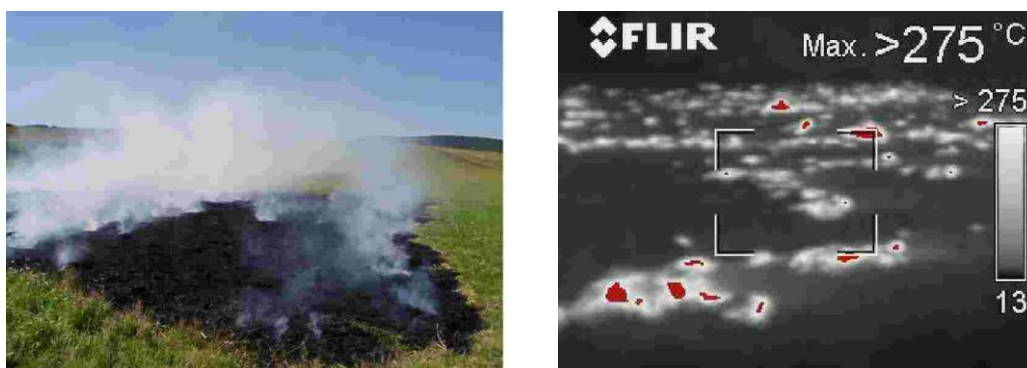
Amennyiben az eloltott terület felügyelete hőkamera alkalmazásával és az UAV igénybevételel valósul meg, úgy lehetőség van az adott terület egyidejű átláthatóságára és a parázsló gócok egyszerű detektálására.



1.8 ábra. Az UAV alkalmazásának strukturális felosztása: tűzoltás utáni terület megfigyelés.

Forrás: szerző

Az UAV alkalmazása szempontjából ez a feladat nem jelent a korábbiakban vázoltaktól jelentősebb eltérést, így a tüzek felderítésére és monitorozására vonatkozó megállapítások értelemszerűen itt is alkalmazhatók. A végrehajtását jelentősen megkönnyíti, hogy a beavatkozáshoz viszonyítva kisebb a felelősség, nincs intézkedési kényszer és egyszerűbb a feladat [6]. Ezért ez kiválóan alkalmas az UAV pilóták képzéséhez, tréningezéséhez.



1.9 ábra. Eloltott terület megfigyelése hőkamerával. Forrás: szerző

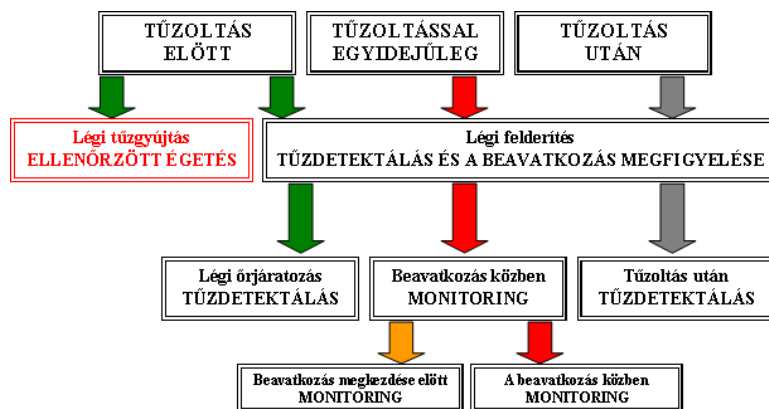
## 1.6 Tűzgyújtás (ellenőrzött égetés) UAV alkalmazásával

Az UAV alkalmazása jelenleg az információszerzésre, vagyis a légi megfigyelésre, a felderítés lehetőségére fókuszál [7]. Azonban az UAV potenciálisan már egyéb feladatok elvégzésére is alkalmas, amelyekre már nem csak elképzeléseket, de akár megvalósult példákat is találhatunk. Ez utóbbi lehet az az alkalmazás, ahol a csekély szállítási kapacitással rendelkező UAV a hegyi mentésben egy segéd kötél felhúzásával tudta támogatni, és így gyorsabbá tenni a mászás közben bajbajutott mentését. Ez a fejezet egy másik alkalmazást, az ellenőrzött tüzek generálásához az UAV segítségével végzett légi tűzgyújtás lehetőségét mutatja be.

Az erdőtűzoltásnál a megelőzésben is szerepe lehet az UAV alkalmazásának [8]. A nagy tüzek kialakulásának alapvető tényezője, hogy az adott területen évek alatt nagy mennyiségű éghető anyag halmozódott fel. Ennek csökkentésére a nemzetközi gyakorlat rendszeresen alkalmazza az ellenőrzött égetést, amelynek a lényege az, hogy a kiválasztott területen



meghatározott körülmények között – ami elsősorban a meteorológiai viszonyokra vonatkozik – az aljnövényzetet meggyújtják. Az égés intenzitása a meteorológiai viszonyok miatt alacsony marad, ezáltal az égéshő nem sérti meg a fák kérgét, azok fejlődését sem gátolja, de a talajon felhalmozódott elszáradt részeket elégeti. A folyamat végén az éghető anyag mennyisége lecsökken, vagy időszakosan teljesen eltűnik, amivel megakadályozva, hogy az arra alkalmas időjárási körülmények között kialakuljon a heves, nagy intenzitású és károkozású erdőtűz.



1.10. ábra. Az UAV alkalmazásának strukturális felosztása: légi tűzgyújtás – ellenőrzött égetés.  
Forrás: szerző

Az ellenőrzött égetésre különböző eszközöket alkalmaznak, ezek közé tartoznak a repülőgépek, vagy a helikopterek is. A fedélzetükre speciális eszközt telepítenek, amelyekkel a tűzgyújtás elvégezhető. A hatékonyság növelése érdekében már készítenek olyan berendezéseket is, amelyek kis tömegű, ún. tűzgolyókat, vagy pasztillákat bocsátanak ki magukból.



1.11 ábra. Az ellenőrzött égetés egy eszköze a fedélzetre installálva, és bevetés közben (Wildfire2011). Forrás: SEI Industry (baloldal) és a szerző (jobboldal)

A fenti berendezések távirányítása megoldott, működésük a beavatkozás során automatikus. A tömegük teljes feltöltött állapotukban lecsökkenthető akár 12 kg-ra is. Az általános gyakorlat szerint ezeket az eszközöket egy könnyű kategóriájú repülőgépre, vagy helikopterre helyezik, és a megadott útvonalon repülve a berendezésből kibocsátják a gyújtóforrásokat. Egy könnyű helikopter tömege (pl. 1.11 ábrán látható) kb. 2000 kg, ami felveti annak szükségességét, hogy megvizsgáljam, szükségszerű-e minden esetben egy eredeti méretében is csupán 20 kg tömegű eszközt egy 2000 kg tömegű eszközzel szállítva alkalmazni. A bruttó és hasznos tömeg aránya 1:100, ami potenciálisan is felveti a hatékonyság teljesülésének megkérdőjelezését. Amennyiben rendelkezünk olyan eszközzel, amely képes jelentősen

kisebbségi szállítási tömeg esetén is célba juttatni a gyújtóforrásokat, úgy annak hatékonysága nyilvánvalóan előnyösebb lehet.

Jelenleg számos olyan UAV található a piacon, amelyek szállítási kapacitása kielégítheti a kb. 12 kg tömegű terhek szállításához szükséges követelményeket. A szerző a feladat ellátásához számos típust alkalmasnak talál mind a merevszárnyú, mind a forgószárnyas változatokból.



1.12. ábra. Az UAV alkalmazási elve ellenőrzött tüzek gyújtására, és egyik lehetséges eszköze. Forrás: szerző

A gyújtóforrások kibocsátása előre tervezett útvonalon és programozottan történhet. Az UAV alkalmazása esetenként nem csak gazdaságossági szempontok miatt lehet előnyösebb a hagyományos megoldásoktól, de akár az egyetlen megoldást is jelentheti. Az UAV feladatát kevésbé korlátozza a füst miatti csökkent látótávolság; ez utóbbi technikai adottság akár éjszakai feladat végrehajtásra is lehetőséget biztosít. Ennek jelentősége azért mértékadó, mert az ellenőrzött égetéshez az éjszakai meteorológiai viszonyok sokszor kedvezőbbek, mint a nappaliak: alacsonyabb hőmérséklet, magasabb páratartalom, szélcsend. Az ellenőrzött tüzek gyújtásához az éjszakai feladat végrehajtást a személyezettel repülő eszközök esetében a biztonságos repülési magasság akadályozza. Az UAV autonóm navigációs és repülési rendszere értelemszerűen nincs korlátozva ebben, így alkalmazása előnyösebb.

## 1.7 Összegzés

Első tézisemben az UAV erdőtüzeknél történő alkalmazási lehetőségének strukturális felosztását mutattam be, illetve vizsgáltam egyes elemeit. Ehhez elsősorban a saját gyakorlati tapasztalataimra támaszkodtam, amelyeket rendszerbe foglalva, a tűzoltás folyamatához illesztve tártam fel a légi felderítés eltérő tűzoltás-taktikai sajátosságait.

Ennek során határozottan megkülönböztetem **a tűzjelzést megelőző**, a tűz mielőbbi észlelését, detektálását célzó aktív észlelést; **a tűzoltás megkezdése előtti**, a hatékony beavatkozást információkkal segítő felderítést; **a tűzoltás folyamata során**, a tűz alakulásának állandó nyomon követését, monitorozását; valamint a tűz támadó jellegű oltását követő **utómunkálatok közbeni**, a parázsló részek utáni kutatást, a visszagyulladás megelőzését szolgáló információszerzést. A fentiek **kiegészítéseként rámutattam az aktív megelőzés lehetőségére**, az ellenőrzött tüzek gyújtásának UAV-val történő megvalósíthatóságára és alkalmazásának előnyeire.

Elemzéseim során, egyes jellemző esetekben **nem csak tűzoltó-taktikai, de gazdaságossági szempontokra** is rámutattam.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BLESZITY János, ZELENÁK Mihály: A tűzoltás taktikája. Tankönyv, BM Könyvkiadó, Budapest, 1989
- [2] RESTÁS Ágoston: Az erdőtüzek légi felderítésének és oltásának kutatás-fejlesztése. Ph.D. értekezés. ZMNE 2008
- [3] RESTÁS Ágoston: Robot Reconnaissance Aircraft. Előadás, UAVnet 9th Meeting, Amszterdam, Hollandia, 2004
- [4] IMREH Lajos: Tűzoltás a Kiskunságon, Kézirat, Forgószárny Kft., 2007
- [5] VLASZÁK Lajos: Légi tűzoltás; Kézirat, Erdők Védelméért Alapítvány, Matkó Airport, Kecskemét, 2001
- [6] RESTÁS Ágoston: A tűzoltásvezető döntéshozatali mechanizmusa. Védelem, VIII. Évfolyam 2. szám, Budapest, 28-30 oldal, 2001, ISSN: 1218-2958
- [7] PASTOR Enric (et al.): Project SKY-EYE, Applying UAVs to Forest Fire Fighter, Support and Monitoring; Department of Computer Architecture; Technical University of Catalonia, Spanyolország, 2008
- [8] RESTÁS Ágoston: UAV Applications From Aerial Patrol to Prescribed Fires; Wildfire2011 The 5th International Wildland Fire Conference, Sun City, South Africa, 9-13 May 2011
- [9] RESTÁS Ágoston: Statikus és dinamikus döntéstámogatás UAV alkalmazásokkal, Előadás, Robothadviselés 11 Tudományos Konferencia, 2011. november 24. Budapest



## 2 FEJEZET

### A LÉGI TŰZOLTÁS KRITIKAI ELEMZÉSE AZ OLTÓANYAGOK HATÉKONYSÁGÁRA FÓKUSZÁLVA, ÚTMUTATÁS A HATÉKONYSÁG NÖVELÉSÉNEK EGY LEHETŐSÉGÉRE

A légi tűzoltás köztudomásúan nagyon drága tűzoltási mód. Ezért a hatékonyság kérdése, a költségek csökkentése, vagy annak optimális felhasználása közgazdasági szempontból elsőrangú kérdés. **A tézisemben rámutatok a jelenlegi oltási taktika égésselméleti hátterére, a vízzel való oltás objektív korlátaira, kritikai elemzést végzek az oltóanyagok hatékonyságára vonatkozóan, mindeközben javaslatot teszek a hatékonyság fejlesztésnek egy lehetséges módjára, a javasolt módszer előnyösségét igazolom.**

#### 2.1 A víz alkalmazásának oltáselméleti háttere

Az erdőtüzeknél alkalmazott legáltalánosabb oltóanyag a víz. Felhasználásának gátat szab az, hogy az egységnyi felületen alkalmazható mennyisége korlátokba ütközik. A maximális mennyiség<sup>11</sup> 4 – 5 kg/m<sup>2</sup> lehet, mivel a lombkorona legfeljebb ennyit képes magán megtartani, ez „nedvesíti” a tűlevelek felületét, a többi lecsorogva a talajra hull. Az itt felgyülemelő mennyiség a koronatűz terjedésére gyakorlatilag nincs hatással, vagyis fölöslegesen kerül kijuttatásra, vagyis mind az oltás, mind a költségek tekintetében veszteségként értékelhető.

Nyári időjárási körülményeket figyelembe véve<sup>12</sup> 1 liter víz hőelvonó képessége a fajhő<sup>13</sup> (4,2 kJ/kgC<sup>0</sup> x 80 C<sup>0</sup> = 336 kJ/kg) alapján, valamint a párolgáshőjével<sup>14</sup> (2684 kJ/kg) összesen 3020 kJ/kg. A fentiek alapján a maximálisan alkalmazható 5 kg/m<sup>2</sup> mennyiség veszteség nélküli oltási potenciálja 15100 kJ.

Egy sűrű, kifejtett fenyőerdő egységnyi felületre vetített biomassza mennyisége széles skálán mozoghat, tapasztalataim alapján az égés során figyelembe vehető mennyiségét<sup>15</sup> 6 – 10 kg körülire becsülöm. Ennek a mennyiségnek az égéshője szakirodalmi adatok alapján<sup>16</sup> 18500 kJ/kg értékből számítva kb. 111000 – 185000 kJ értékű. Az égés szempontjából figyelembe vehető biomassza nedvességtartalma 70 % -nak<sup>17</sup> vehető, száraz nyári napok esetén bizonyára kevesebb. A lombzatnak így 6 – 10 kg tömegre vonatkoztatva 4,2 – 7 kg -nyi része a saját égéshőjével elpárologtatni szükséges víznek a tömege. Ennek a mennyiségnek a hőelvonó képessége 12684 – 21140 kJ értékű. A fentiek alapján a fenyőlomb égés szempontjából figyelembe vehető mennyiségének az égéshője (111000-185000 kJ) jelentősen meghaladja a lomb tömege víztartalmának (12684-21140 kJ), valamint a maximálisan alkalmazható oltóanyagnak (15100 kJ) az együttes hőelvonó képességét, vagyis ezzel a módszerrel hatékonyan nem lehet felvenni a koronatűz elleni küzdelmet. Az alsó értéknél négyszeres, míg a felsőnél ötszörös különbséget találunk az égéshő javára!<sup>18</sup>

<sup>11</sup> A talajon mérhető nettó csapadékmennyiség számítása alapján a lombkorona maximum 5 l/m<sup>2</sup> mennyiséget képes megtartani. Forrás: Csontos P. (szerk.) Feketefenyveseink kutatása, MTA-ELTE, Budapest, 2007.

<sup>12</sup> A víz hőmérsékletét 20 C<sup>0</sup> -nak véve.

<sup>13</sup> A víz fajhője (c) : 4,2 kJ/kgC ; Képlete: E<sub>c</sub> = c m dT = 1680 kJ

<sup>14</sup> A víz párolgáshője (p) : 2684 kJ/kg; Képlete: E<sub>p</sub> = p m

<sup>15</sup> Az égés szempontjából az 10 mm-nél vékonyabb ágak vehetők figyelembe.

<sup>16</sup> Nagy D.: A közvetlen taktika korlátainak fizikai/égésselméleti háttere; Védelem, 2007. 6. szám.

<sup>17</sup> Nagy D.: A közvetlen taktika korlátainak fizikai/égésselméleti háttere. Védelem, 2007. 6. szám.

<sup>18</sup> A téma szempontjából nem releváns, de a teljesség kedvéért meg kell jegyezni, hogy az előzőek csupán statikus összehasonlításon alapulnak, a valóságban számos más tényező is befolyásolja a fentiek egymásra

A fentiekkel indokolható, hogy amennyiben az alkalmazható maximális mennyiség nem elegendő az oltáshoz, úgy az aktív, azaz támadó taktikát nem is alkalmazzák, még repülőgépekkel történő oltás esetén sem<sup>19</sup>.

## 2.2 A légi tűzoltás veszteségei

### Szállítási veszteség

A helikopterek esetében a külső függesztmény nyitott teteje miatt a szállítás során jelentős veszteség keletkezhet. A veszteségek egyik összetevőjét az oltóanyagnak 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!<sup>20</sup>



2.1 kép. A légi tűzoltás szállítási és kibocsátási veszteségei. Szerkesztés: szerző

### Kibocsátási veszteség

A porlasztást külön berendezés is elősegítheti, vagy a fent részletezett módon a kibocsátáskor a levegővel való ütközés, súrlódás okozza. A repülési sebesség növelésével a porlasztás mértéke is nő. Ez lehetővé teszi, hogy a nagyon apró vízcseppek veszteségként elhagyják a kívánt teret, anélkül hogy a felszínre történő kihullása mérhető lenne. Ez a veszteség szakértői becslésem alapján kb. 5 %, de akár a 10 %-ot is meghaladhatja.

### Hatásküszöb alatti és feletti 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 felületi eloszlása nem homogén, a szélek irányába csökkenő, ezért az oltást elősegítő minimális szint alatti mennyiség már veszteségként értékelhető. A 2.2 számú ábrán a szórásképet megrajzoló vonalakon túl eső oltóanyag-mennyiség valószínűleg szintén

---

gyakorolt hatását, így pl. az égés intenzitása is. Az elégtelen oltóanyag kapacitás miatt gyakran nem is cél a tűz azonnali eloltása, a taktika az égés intenzitásának folyamatos csökkentésére irányul, mint időbeli folyamatot tekintve ennek végeredményeként fog a tűz elaludni.

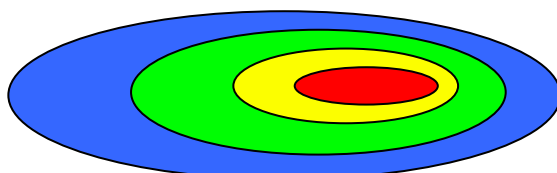
<sup>19</sup> Restás Á.: Az erdőtüzek légi felderítésének és oltásának kutatás-fejlesztése. Ph.D. értekezés. ZMNE 2008.

<sup>20</sup> Jambrik, R.: Légi támogatás nélkül nehéz lett volna, Védelem, XIV. Évfolyam 6. szám, 51 – 53 oldal, Budapest, 2007, ISSN: 1218-2958

veszteséggént értékelhető, mivel a felszínre hulló mennyisége várhatóan nem éri el az oltástaktikailag megkívánt  $0,2 \text{ l/m}^2$  minimális értéket <sup>21</sup>.

A szórás kép centrumában a túl sok oltóanyag mennyiség okoz gondot, hiszen annak  $5 \text{ l/m}^2$  feletti mennyisége szintén nem vesz részt az oltásban, a növényzet levelein lefolyva a talajra kerül.

Hatásküszöb alatti és feletti veszteségek összességében szakértői becslésem alapján kb. 10-25 %-os arányt jelentenek.



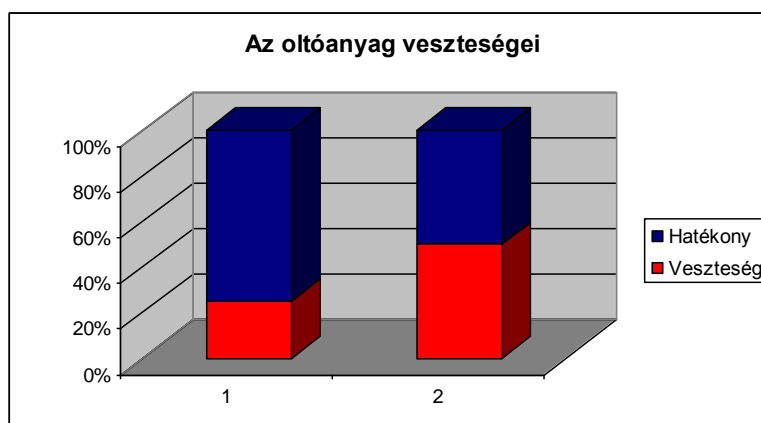
2.2 ábra. A felületi eloszlás hatástalan részei:  
kék – hatásküszöb alatti veszteség;  
piros – hatásküszöb feletti veszteség.  
Forrás: szerző

### Párolgási veszteség.

Amennyiben az oltóanyag kibocsátása nem közvetlenül a tűz frontjára történik, úgy akár jelentős párolgási veszteséggel is számolhatunk, amire az részt vesz a tűz oltásában, vagyis a tűz frontvonala eléri a nedves felületet. A viszonylag magas felületi és környezeti hőmérséklet miatt az apró cseppek nagy felülete gyors párolgást tesz lehetővé, amelynek a nagyságrendje szakértői becslésem alapján akár a 25 %-os is lehet.

### Egyéb veszteségek

Az olyan veszteségeket, mint a célba juttatási és téves helyzetmegítélésből adódik, nem veszem figyelembe, hiszen azok egyrészt nem technológia függők, másrészt bárhol előfordulhatnak.



2.3 ábra. Az oltóanyag veszteségei. Forrás: szerző

A fenti veszteségek összességének átlagos nagysága tartályból történő kibocsátás esetén szakértői becslésem alapján 25 %-ra, a függesztménynél 50 %-ra tehető.

<sup>21</sup> A szakirodalomban megadott minimális értéke eltér:  $0,5 \text{ lm}^{-2}$  [Szabó, 1994];  $0,8 \text{ lm}^{-2}$  (Delforge, 2001).

## 2.3 A víz oltóhatásának növelési lehetőségei

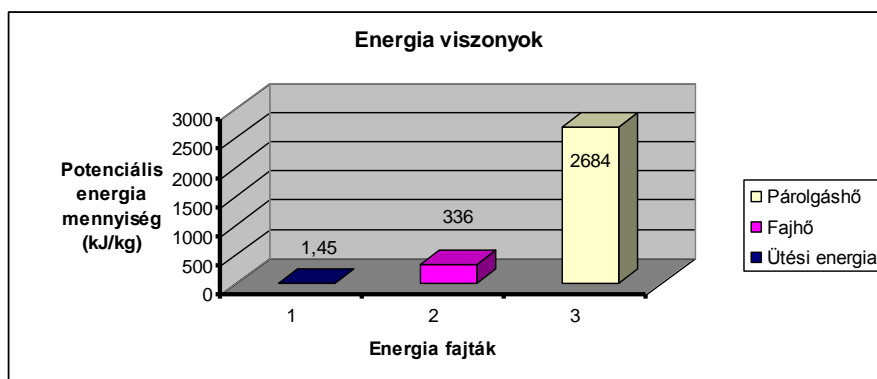
Az erdőtüzek oltásában érdekelt szakértők, kutatók keresik a víz alkalmazásától hatékonyabb megoldások lehetőségét is. Ilyenek lehetnek a retardánsok, gélek, habok, sőt speciális robbanó oltókészülékek<sup>22</sup>, vagy teljesen újfajta oltóanyagok kifejlesztése<sup>23,24</sup> is.

### Szerkezeti megoldások

A veszteségek elemzéséből látható, hogy azok egy része nyilvánvalóan elkerülhetetlen, másik része – főleg a helikoptereknél – a külső függesztmény alkalmazásával függ össze. Ez utóbbi a Venturi hatás miatt a szállítási kapacitás kb. 30 %-os veszteségét okozza. Ez zárt tartály alkalmazásával teljesen kiküszöbölhető, ezért a piacon megjelentek a belső tartályos megoldások, illetve a helikopter aljára szerelhető lapos fenék tartályok.

### Ütőhatás

A víz oltóhatásának növelésére többféle lehetőség is adódik. A gyakorlatban sokszor alkalmazzák az ún. „ütőhatást”. Ebben az esetben a víz kinetikai energiáját használjuk fel a lángok felületről történő leszakítására, azaz a láncreakció megtörésével az égés megszüntetésére. Ezt a módszert megfelelő körülmények esetén a légi tűzoltás során is alkalmazhatjuk. 180 km/h sebességgel 20 méter magasból történő kibocsátás során 1 kg víznek a mozgási<sup>25</sup> és helyzeti<sup>26</sup> energiájának összege 1,45 kJ, ami eltörpül mind a fajhő, mind a párolgáshő értéke mellett. Ezért ezt a módszert csak helyileg lehet hatékonnak ítélni, általánosságban a felhasználható potenciális energia szempontjából alacsony hatásfokú, és pazarlásnak ítélem.<sup>27</sup>



2.4 ábra. A kibocsátott oltóvíz energia viszonyai. Forrás: szerző

### Retardánsok

A víz oltóhatásának másik növelési módszere különböző adalékanyagok hozzáadásán alapszik. Az egyik a retardánsok alkalmazása, amelynek segítségével a kibocsátott vízmennyiség egyenletesebb eloszlását és kisebb szórási veszteséget lehet elérni. A vizsgálataim során az oltóanyag teljes mennyiségének potenciális energia viszonyait vettem számba, ezért itt a retardánsok hatékonyságot növelő hatása irreleváns, elemzést nem igényel.

<sup>22</sup> Pl. Beaextin S.L., Spain; Embention S.L., Spain;

<sup>23</sup> Speciális sókeverék alkalmazása, 2 éves kutatási projekt, BASF előadása; AFFC 2008. Athén, Görögország

<sup>24</sup> Magyar szabadalomként bejegyzett FireLess fantázianevű oltófolyadék.

<sup>25</sup>  $E_{\text{mozgási}} = \frac{1}{2} m v^2$ ; a példában 1250 J

<sup>26</sup>  $E_{\text{helyzeti}} = mgh$ ; a példában 200 J

<sup>27</sup> Mégis érdekes, hogy milyen gyakran kerül alkalmazásra ez a módszer. Ez is azt igazolhatja, hogy a víz potenciális oltási képessége milyen alacsony fokon kerül kihasználásra.

## Habok

A víz oltóhatásának egy további növelési módszere a habképző anyagok alkalmazásán alapszik. Ezzel elérhető, hogy a vízzel azonos tömegű oldat azonos nagyságú felületre vonatkoztatva ne csak a víz (oldat) hőelvonó képességével számoljunk, de a habnál megjelenő egyéb előnyös oltóhatásokkal is. A hab a fenyőlomb tülevelein egy szigetelő réteget hoz létre, amely a vastagságtól függően jelentős védelmet nyújthat a hősugárzás ellen. Ez olyan



2.5 ábra. Légi tűzoltás habbal.

mértékben lassíthatja, vagy csökkentheti a hőterjedés folyamatát, hogy a lombozat már nem képes az égés láncreakciójához szükséges hőtermelést fenntartani, azaz megszűnik az égés.

Méréseim és vizsgálataim alapján a szigetelő hatásnak az optimalizálásával elérhető, hogy a víz oltóhatásának szélső értéke jelentősen kitolódjon, és elérje, illetve meghaladja a hatékony oltáshoz szükséges összetett oltóhatás mértékét. Ezt az R-20F vizsgálati módszer kifejlesztésével<sup>28</sup> és mérési eredményeivel, valamint az R-10A vizsgálati módszer kifejlesztésével és mérési eredményeivel<sup>29</sup> igazolom.

A habképző anyagok alkalmazásának lehet egy másik célja is. Amennyiben nem kívánunk habot előállítani, a felületi feszültség csökkentésével növelhetjük a víz oltóhatását. Ez nagyon kis habképző anyag hozzáadásával is már elérhető (<1%).

A habok alkalmazásánál a párolgási veszteség alacsonyabb. A haboknál a vízkiválás természetes jelenség, azonban helyes tűzoltási taktikával „megelőzhető”, azaz a jól megválasztott kibocsátási hellyel a rövid „várakozási” idő miatt ettől eltekinthetünk, vagy minimálisan vehetjük számításba.



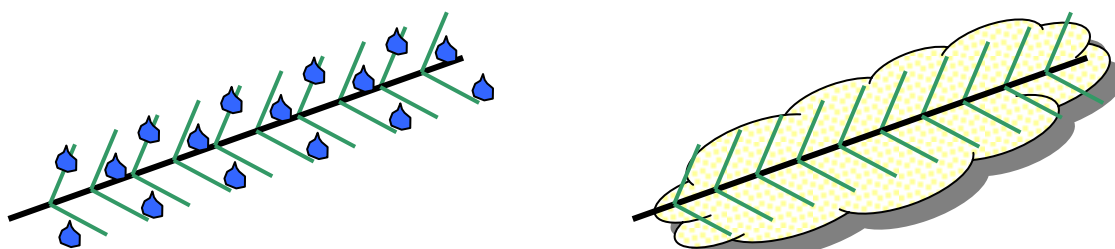
2.6 ábra. A habok szigetelőhatásának vizsgálata (R-20F). A mérési mátrix és a hab meggyulladást késleltető hatásának vizsgálata. Saját mérés. Forrás: szerző

<sup>28</sup> Restás, Á.: R-20F Method: An Approach for Measuring the Isolation Effects of Foams Used Fighting Forest Fires; AARMS Academic and Applied Research in Military Science, XI. Évf. Budapest, 2012, ISSN 1588-8789.

<sup>29</sup> Restas, A.: 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; Megjelenés alatt. VIIth International Conference on Forest Fire Research, Coimbra, Portugália, 2014. november



A fentiek alapján a további vizsgálatok a hab hatékonyságának növelésére vonatkoznak, azok elméleti igazolását és gyakorlati megvalósításának módját tartalmazza.

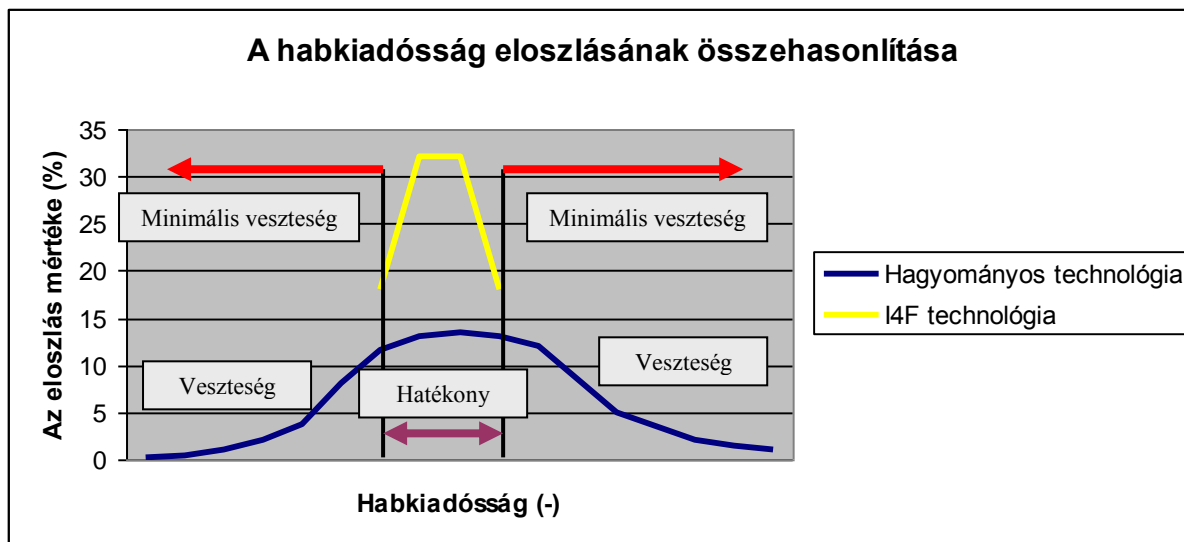


2.7 ábra. Az oltóanyaggal kezelt minták elvi szemléltető rajza. Forrás: szerző

## 2.4 A habbal oltás problémaköre

Általános esetben a tüzek oltására a korszerű habok alkalmazása nagyon hatékonynak ítéltető. A víznek a hozzáadott habképző anyag hatására kisebb felületi feszültsége lesz, így jobban és egyenletesebben képes a felületet takarni, un. nedvesítő hatása van. A hozzáadott mennyiség növelésével, ill. a kijuttató eszköztől függően, többnyire mechanikus ütköztetés által<sup>30</sup> különböző minőségű habot lehet előállítani.

A repülőgépes tűzoltás során is találkozhatunk a habokkal, azonban hatékony alkalmazásának számos korlátja van. A jelenlegi módszer szerint a tartályban lévő vízmennyiséghez hozzáadagolják a habképző anyagot, majd az a kijuttatáskor egy rácson, vagy speciális hálón átáramolva, vagy csak a levegővel spontán ütközve felhabosodik. A külső függesztmények esetén a tartályok alá egy un. habzsákot csatolnak, amelynek eredményeként a rajta keresztúláramló oldat a levegővel keveredik és képez bizonytalan minőségű habot.



2.8 ábra. A habkiadósság eloszlásának összehasonlítása hagyományos és I4F technológia esetén. Forrás: szerző

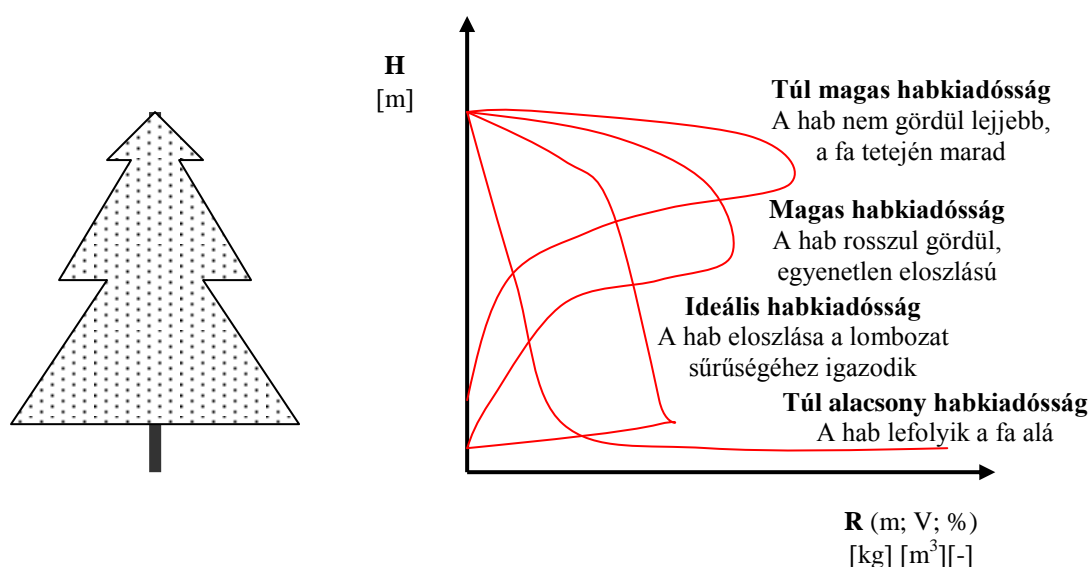
A habok alkalmazásának hatékonyságát számos tényező csökkenti, így az előállított hab heterogén minősége, az oldat bizonytalan és egyenetlen bekeverési aránya, a nem ideális kijuttatási sebesség, stb. Amennyiben képesek vagyunk olyan homogén habot előállítani, mint amelyet az instant habbal oltó rendszerek (kézi tűzoltó készülék) tudnak, úgy az ezzel

<sup>30</sup> Habsugárcső, habágyú, habszita, stb. alkalmazásával.

kapcsolatos problémák megszűnnének, vagy legalábbis jelentősen csökkennének. Az instant minőségű hab biztosítására irányuló erőfeszítéseimet tézisemben I4F jelzéssel különböztetem meg.

A különböző minőségű habok keletkezésük után eltérő módon viselkednek. Az ún. könnyűhabok kategóriájába eső rész a helikopter légárama, vagy esetleg a tűz által generált konvekció miatt el sem jut a kívánt felületre. A lombkorona felületére jutó mennyiség fajsúlytól függően viselkedik, a könnyebb részek a lombkorona felső részén megragadnak, a nehezebbek Newton-i folyadékként viselkedve lefolynak.

Az oltás szempontjából az lenne a kívánatos, hogy a lombkorona teljes keresztmetszete a lehető legegyszerűsebben legyen habbal takarva. Ez utóbbi kíváncsalm teljesítését a növényzet véletlenszerű eloszlása miatt valószínűleg egyetlen technológia sem képes tökéletesen megoldani, ettől függetlenül az arányokon való javítás a hatékonyság jelentős növekedését jelentheti.



2.9 ábra. A hab eloszlása különböző  $H_K$  habkiadósság esetén a fa magasságának függvényében. Jelleggörbe. Forrás: szerző

Az eddigi vizsgálataim alapján tézisként megfogalmazom a hab hatékony oltásával szemben támasztott alapvető követelmények:

1. *A felületre juttatott oltóanyag habkiadóssága olyan legyen, hogy az képes legyen a lombkoronán megfelelő minőségben át-, ill. lecsorogni, de kellő takarást is biztosítani a lombkorona teljes keresztmetszetében.*
2. *Az egységnyi felületre kijuttatott mennyiség oltóhatása elegendő legyen a tűz továbbterjedésének megakadályozásához.*
3. *Az oltóanyag eredeti védőképessége (oldatkiválás) sokáig megmaradjon, illetve az csak lassan csökkenjen.*

**A fenti problémák összegzése:**

1. Olyan habra van szükségünk, amely homogén minőségű, sűrűsége megfelelő ahhoz, hogy a hab kedvező szigetelő tulajdonságait megtartsa, de képes legyen a lombkoronán „lecsorogni” és annak teljes keresztmetszetében a kívánt ideig védelmet nyújtani.

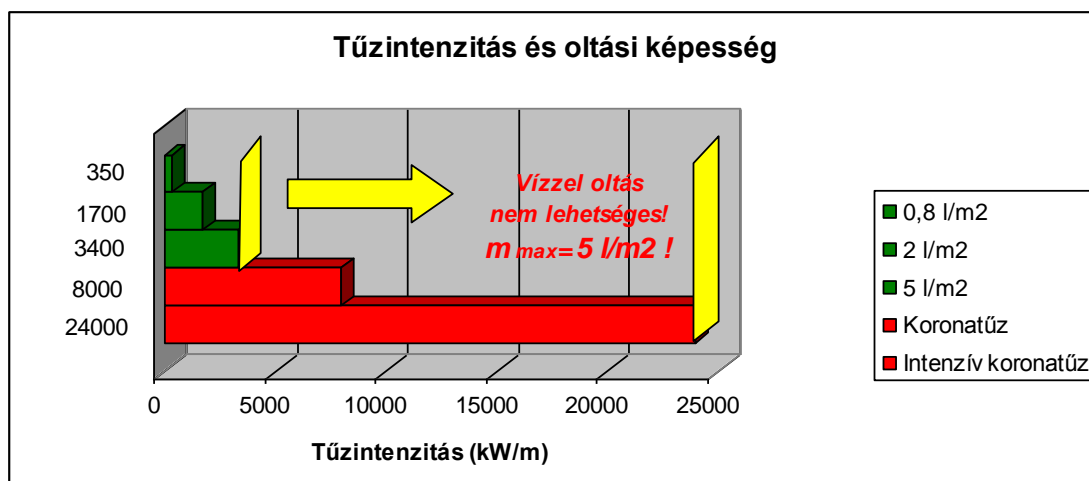
2. A kívánt ideig történő megmaradás feltételét a speciálisan erdőtűzek oltására kifejlesztett habok feltételezéseim, valamint a gyártók adatai alapján képesek teljesíteni<sup>31</sup>.
3. A homogén minőség előállítását a jelenlegi kijuttató módszerek és eszközök csak korlátozottan képesek biztosítani. Ez a habok potenciális oltóképességét csökkenti.
4. A hab kedvező tulajdonságainak megjelenése már viszonylag alacsony habkiadósság<sup>32</sup> esetén is bizonyos ideig fellelhetők.
5. Alacsony habkiadósság esetén a hab megőrzi a Newton-i folyadékokra jellemző folyékonyságát, gördülékenységet.

## 2.5 A szigetelő hatás és a többlet tömeg összegzése

A korábban már hivatkozott R-20F vizsgálataim alapján bizonyítottam, hogy a habok szigetelő hatásának hatékonysági tényezője vízegyenértékre számítva átlagosan legalább 2. Az R-10A vizsgálataimmal bizonyítottam, hogy a növényzet felületén megmaradó hab tömege legalább háromszor nagyobb, mint a vízé, így a többlet tömegre vonatkozó hatékonysági tényező értéke legalább 3. A fenti hatékonysági tényezők szorzata 6, amelynek helyes értelmezése az, hogy amennyiben az új technológiával (I4F) a növényzet egységnyi felületének hőszugárzás elleni védelme hatszorosára növelhető!

A vízzel elérhető maximális oltóhatás  $5 \text{ l/m}^2$ , amely kb.  $3400 \text{ kW/m}$  tűzintenzitásig nyújthat megfelelő védelmet, azaz oltóhatást. A koronatűz értéke azonban kb.  $8000 \text{ kW/m}$ , de az intenzív tüzeknél ez az érték a  $24 \text{ kW/m}$  –t is elérheti. A logikai következtetés az, hogy a vízzel való hagyományos oltási technika koronatűzek esetén hatástalan.

A fentiekből az is következik, hogy az I4F technológiával a kb.  $3400 \text{ kW/m}$  tűzintenzitás elleni védelem ennek 6 szorosáig is kiterjeszthető, azaz a hatékony védelem határa kiterjeszthető  $20000 \text{ kW/m}$  érték fölé is. Ez vízegyenértékkel is kifejezve egységnyi felületre vonatkoztatva ( $5 \times 3 \times 2$ ) 30 liter víz hőelvonó képességével egyenértékű. Azaz, az eddig vízzel olthatatlan koronatűzek olthatóvá válnak!



2.10 ábra. A tűzintenzitás és oltási képesség közötti kapcsolat a víz hatékonyságának korlátaival. Forrás: szerző

<sup>31</sup> Pl. PhosChek 881 WD

<sup>32</sup> Habkiadósság,  $H_{kmin} = 5 \div 6$



## 2.6 Az új technológia hatékonysága gazdaságossági elemzés alapján

### 2.6.1 Az oltóanyag: víz

#### Elméleti számítás

Víz esetén, mint a természetben előforduló jószágnál gyakorlatilag csak a kijuttató eszköz, repülőgép üzemóra költségét kell figyelembe venni. Az üzemóra eső költségnek, valamint a kijuttatott oltóanyag mennyiségének a hányadosa adja az egységnyi tömegű oltóanyagra eső költséget. Képlettel megadva:

$$C_{\text{víz}} = \frac{C_{\text{RG}}}{V_{\text{víz}}} \quad (1)$$

Ahol:

- $C_{\text{víz}}$  = a kibocsátott víz egységnyi tömegére vonatkoztatott költség [Ftkg<sup>-1</sup>];
- $C_{\text{RG}}$  = a repülőgép egy üzemórájának költsége [Ft];
- $V_{\text{víz}}$  = egy üzemóra alatt kijuttatott oltóanyag mennyisége [kg].

Az oltóanyagok közül a vizet vehetjük összehasonlítási alapként, így természetes, hogy ebben az esetben a vízegyenértékben számított oltási hatékonyság megegyezik a kibocsátott oltóanyag tömegére vonatkoztatott hőelvonó képességgel.

A korábbiakban részletezett indokokkal a külső függesztménynek jelentős veszteségei vannak. Az átlagos veszteséget a számításaimnál – szakértői becslésem alapján – 30 %-nak feltételezem.

$$C_{\text{víz\_eff}} = \frac{C_{\text{víz}}}{\gamma_{\text{kf}}} \quad (2)$$

Ahol:

- $C_{\text{víz\_eff}}$  = a kibocsátott víz hasznosuló részére vonatkoztatott költség [Ftkg<sup>-1</sup>];
- $\gamma_{\text{kf}}$  = a külső függesztmény hatékonysági tényezője [].

#### Gyakorlati számítás egy példa alapján

A fentiek alapján egy számított példa:

- $C_{\text{RG}} = 1.200.000 \text{ Ft h}^{-1}$  <sup>33</sup> (Mi-17 típusú helikopter)
- $V_{\text{víz}} = 12.000 \text{ kg h}^{-1}$  <sup>34</sup>
- $C_{\text{víz}} = 100 \text{ Ftkg}^{-1}$
- $\gamma_{\text{kf}} = 0,7$
- $C_{\text{víz\_eff}} = C_{\text{víz}} / 0,7 = 143,3 \text{ Ftkg}^{-1}$

Az eredmény azt mutatja, hogy a kijuttatott egységnyi tömegű víz költsége 100 forint, a hasznosuló részre vonatkoztatva kb. 143 forint.

Ennél az esetnél a víz kibocsátásához alkalmazott külső függesztmény (Bambi Bucket) amortizációs költsége elhanyagolható, ezért az egyszerűség kedvéért nem számoltam. Feltételezve kb. 5 millió forintos vételárat, 400 üzemóra élettartamot és óránként 12500 l oltóanyagot szállítva literenként kb. 1 forint amortizációs költséget vehetünk alapul, ami elenyésző a helikopter üzemórájához viszonyítva.

<sup>33</sup> A 2007. évben alkalmazott légi tűzoltás becsült értéke a Magyar Honvédség keretein belül alkalmazott Mi-8 típusú helikopterekénél. Mi-2 típusnál ez az érték kb. 600 ezer Ft h<sup>-1</sup>, így a Mi-8 –ra számítottak elfogadhatóak.

<sup>34</sup> A hazai gyakorlatban alkalmazott 2500 liter kapacitású Bambi Bucket –tel, óránként 6 fordulót számítva.

A költség-hatékonyság kritériumát sematikusan megfogalmazva: 1 kg „víz” oltóanyag hőelvonó képessége vízegyenértékben kifejezve „önmagával azonos”, amelynek költsége: 100 Ftkg<sup>-1</sup>, a hasznosuló részre vonatkoztatva kb. 143 Ftkg<sup>-1</sup>.

## 2.6.2 Az oltóanyag: hagyományos hab

### Elméleti számítás

Ebben az esetben a repülőgép üzemórájára eső költségnek, valamint a kijuttatott oltóanyag tömegének a hányadosához hozzá kell adni a habképző anyag árának és alkalmazott bekeverési arányának a szorzatát. Képlettel megadva:

$$C_{hab} = \frac{C_{RG}}{V_{v\acute{z}}} + C_{habk\acute{e}p\acute{z}\acute{o}} R_{bekever\acute{e}s} \quad (3)$$

Ahol:

- $C_{hab}$  = a kibocsátott oldat egységnyi tömegére vonatkozó költség [Ftkg<sup>-1</sup>];
- $C_{habk\acute{e}p\acute{z}\acute{o}}$  = a habképző anyag egységnyi tömegének az ára [Ftkg<sup>-1</sup>];
- $R_{bekever\acute{e}s}$  = a szükséges bekeverési arány [%].

Az egységnyi tömegű hab vízegyenértékre számított hatékonyságának költségét a hab szigetelő hatékonyságának tényezőjével kell figyelembe venni.

$$C_{hab\_v\acute{z}} = \frac{C_{hab}}{Y_{Hk}} \quad (4)$$

Ahol:

- $C_{hab\_v\acute{z}}$  = a hab vízegyenértékre számított költsége [Ftkg<sup>-1</sup>];
- $Y_{Hk}$  = a Hk habkiadósságú hab vízegyenértékre számított hatékonysági tényezője [].

A belső tartályból kibocsátott hab hasznosuló részének vízegyenértékre vonatkoztatott költség-meghatározása:

$$C_{hab\_v\acute{z}\_eff} = \frac{C_{hab\_v\acute{z}}}{\gamma_{bt}} \quad (5)$$

Ahol:

- $C_{hab\_v\acute{z}\_eff}$  = a kibocsátott hab hasznosuló részének vízegyenértékre vonatkoztatott költsége [Ftkg<sup>-1</sup>];
- $\gamma_{bt}$  = a belső tartály hatékonysági tényezője [].

### Gyakorlati számítás egy példa alapján

A fentiek alapján egy számított példa:

- $C_{habk\acute{e}p\acute{z}\acute{o}} = 1.000 \text{ Ftkg}^{-1}$
- $R_{bekever\acute{e}s} = 3 \%$
- $C_{hab} = 100 \text{ Ftkg}^{-1} + 30 \text{ Ftkg}^{-1} = 130 \text{ Ftkg}^{-1}$
- $Y_{Hk} = 2$
- $\gamma_{bt} = 0,7$
- $C_{hab\_v\acute{z}} = 130 \text{ Ftkg}^{-1} / 2 = 65 \text{ Ftkg}^{-1}$
- $C_{hab\_v\acute{z}\_eff} = 65 \text{ Ftkg}^{-1} / 0,7 = 93,3 \text{ Ftkg}^{-1}$

Az eredmény azt mutatja, hogy a Hk habkiadósságú hab egységnyi tömegének hőelvonó képessége megegyezik 2 kg víz hőelvonó képességével, amelynek vízegyenértékre számított költsége 65 forint, a hasznosuló részre vonatkoztatva kb. 93 forint.

Ennél az esetnél egy atmoszférikus belső tartály alkalmazását feltételeztem, amelynek amortizációs költségével az egyszerűség kedvéért itt sem számoltam. A külső függesztményhez hasonló paramétereket feltételezve (azaz kb. 5 millió forintos vételárát, 400 üzemóra élettartamot és óránként 12500 l oltóanyagot szállítva) literenként szintén kb. 1 forint amortizációs költséget vehetünk alapul, ami elenyésző a helikopter üzemórájához és az oltóanyag költségéhez viszonyítva.

### 2.6.3 A hatékonyság számításának vétlen vagy szándékolt elvi hibája

A gyakorlati számítás eredményeiből azt a következtetést lehetne levonni, hogy – feltételezve a tömegegységre vonatkozó kétszeres hatékonyságot – a habok alkalmazásának elhagyása szakmai hiba. Azonban a gyakorlat mégsem igazolja, hogy a habokat gyakran alkalmazzák. Ennek nyilvánvalóan több oka van. Az egyik mindenképpen a többlet költség. **Tézisként megfogalmazom, hogy az alkalmazók elvi hibát követnek el akkor, amikor a hab, mint oltóanyag többlet költségét a vízéhez hasonlítják.** Mivel a víz, mint szabad jószág nem kerül semmibe, így bármilyen olcsó is lehetne a habképző anyag, a keletkezett oldatnak a költsége összehasonlítva mindenképpen jelentősnek tűnne. **Az elvi hiba lényege abban áll, hogy nem az oltóanyagok költségeit kell összehasonlítani, de még csak nem is a technológiai eszközökét, hanem a különböző oltási módszerek teljes költségeit, azaz a repülőgép üzemeltetésének kiadásait is számításba kell venni.** Ez utóbbi nem különíthető el, az oltás teljes költségeinél ezek számottevőek!

A fenti példát alapul véve, a vízhez képest és tömegegységre vonatkoztatva nyilvánvalóan drasztikus a többlet költség ( $0 \text{ Ftkg}^{-1} \Rightarrow 30 \text{ Ftkg}^{-1}$ ), azonban a repülőgép teljes üzemeltetésének költségeihez viszonyítva a növekedés „csak” 30%! Amennyiben a habok hatékonysága ugyanígy tömegegységre vonatkoztatva csupán 30% -kal növekedne, úgy gazdaságossági szempontból mindegy, hogy melyik oltóanyagot alkalmazzuk. Azonban a hatékonysági tényező értéke 2, vagyis a növekedés mértéke 100 %! Így másban kell keresnünk az alkalmazás elmaradásának indokát.

Megítélésem szerint három fő dolog hátráltatja a habképzők alkalmazását.

1. Logisztika: A habképzők alkalmazása logisztikai támogatást igényel. A víz többnyire szabad forrásból korlátlanul felhasználható és a repülőgépek feltöltése önmaguk által is megvalósítható, így ez a megoldás a legegyszerűbb.
2. Taktika: A légi tűzoltás során a vízzel közvetlenül a lángokat is lehet támadni, illetve oltani, míg ez a habok esetében a védelmi vonal kialakítására irányul.
3. Pszichológia: A többlet költségvonzatok, a logisztikai háttértámogatás szükségessége, valamint a habok alkalmazásának nehézségei szakmai szempontból megalapozott vizsgálatok nélküli negatív előítéletet generálnak.

A fentiekből következik, hogy a példában levezetett esetben nem 30%-al növekednek a költségek, hanem vízegyenértékre számítva 35%-al csökkennek! Ha elfogadjuk a fenti levezetés helyességét, akkor a feladatunk az, hogy biztosítsuk a habok hatékony alkalmazásának feltételeit. Mivel szakmai szempontból a legnagyobb probléma a keletkező hab minőségéből generálódik, így annak stabil biztosítása esetén a fenti hatékonysági tényezők elérhetővé válnak. A korábban vázoltaknak megfelelően ezt biztosíthatja az általam vázolt I4F technológia.

## 2.6.4 Az oltóanyag biztosítása az új technológiával

### Elméleti számítás

Ebben az esetben a repülőgép üzemórájára eső költségnek, valamint a kijuttatott oltóanyag mennyiségének a hányadosához hozzá kell adni a habképző anyag árának és alkalmazott bekeverési arányának a szorzatát, az egységnyi térfogatra felhasznált széndioxid mennyiségének és árának a szorzatát (az instant hab előállításához szükséges), valamint az új technológiához szükséges tartály (teljes berendezés) arányos amortizációs költségét. Ez utóbbi, a tartály feltételezett jelentős ára miatt nem hagyható figyelmen kívül, mint a korábbi esetekben. Képlettel megadva:

$$C_{I4F} = \frac{C_{RG}}{V_{v\acute{e}z}} + C_{habk\acute{e}pz\acute{o}} R_{bekever\acute{e}s} + C_{CO_2} R_{szatur\acute{a}l\acute{a}s} + \frac{C_{kompozit}}{V_{v\acute{e}z}} \quad (6)$$

Ahol:

- $C_{I4F}$  = az egységnyi tömegű oltóanyagra eső költség az új technológia alkalmazásával [ $Ft\,kg^{-1}$ ];
- $C_{CO_2}$  = a széndioxid költsége [ $Ft\,kg^{-1}$ ];
- $R_{szatur\acute{a}l\acute{a}s}$  = a szaturáláshoz szükséges mennyiség aránya [%];
- $C_{kompozit}$  = a kompozit tartály egy üzemórára vonatkoztatott amortizációs költsége [ $Ft$ ].

Az új technológiával előállított egységnyi tömegű hab vízgyenértékre számított hatékonyságának költségét a hab szigetelő hatékonyságának tényezőjével kell figyelembe venni.

$$C_{I4F\_v\acute{e}z} = \frac{C_{I4F}}{Y_{Hk}} \quad (7)$$

Ahol:

- $C_{I4F\_v\acute{e}z}$  = az I4F technológiával előállított hab vízgyenértékre számított költsége [ $Ft\,kg^{-1}$ ];

Az I4F technológia által előállított hab hasznosuló részének vízgyenértékre vonatkoztatott költség-meghatározása:

$$C_{I4F\_v\acute{e}z\_eff} = \frac{C_{I4F\_v\acute{e}z}}{\gamma_{I4F}} \quad (8)$$

Ahol:

- $C_{I4F\_v\acute{e}z\_eff}$  = az I4F technológia által előállított hab hasznosuló részének vízgyenértékre vonatkoztatott költsége [ $Ft\,kg^{-1}$ ];
- $\gamma_{bt}$  = a belső tartály hatékonysági tényezője [].

### Gyakorlati számítás egy példa alapján

A fenti értékek alapján tovább számított példa:

- $C_{CO_2} = 400 \, Ft\,kg^{-1}$
- $R_{szatur\acute{a}l\acute{a}s} = 2 \, \%$
- $C_{kompozit} = 100.000 \, Ft$
- $\gamma_{I4F} = 0,85$

Számítási eredmények:

$$C_{I4F} = 100 \, Ft\,kg^{-1} + 30 \, Ft\,kg^{-1} + 400 \, Ft\,kg^{-1} 2\% + 100.000 \, Ft / 12.000 \, kg = 146,3 \, Ft\,kg^{-1}$$

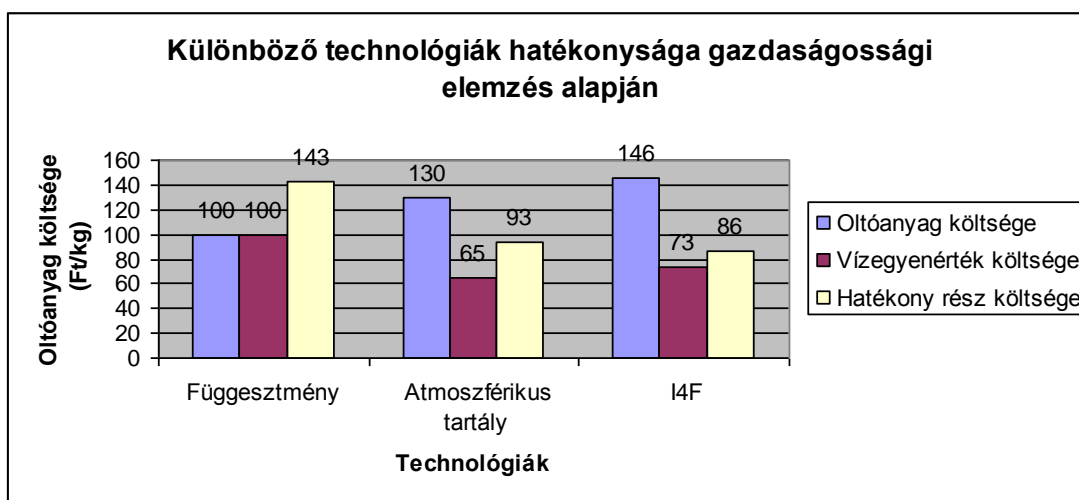
$$C_{I4F\_v\acute{z}} = 146,3 \text{ Ftkg}^{-1} / 2 = 73,15 \text{ Ftkg}^{-1}$$

$$C_{I4F\_v\acute{z}\_eff} = 73,15 \text{ Ftkg}^{-1} / 0,85 = 86 \text{ Ftkg}^{-1}$$

Az eredmény azt mutatja, hogy az új technológiával előállított hab – mivel egységnyi tömegének hőelvonó képessége átlagosan megegyezik legalább 2 kg víz hőelvonó képességével, - vízgyenértékre számított költsége kb. 73 forint.

## 2.7 Következtetések a gyakorlati számítás eredményeiből

A fentiek alapján látható, hogy a hagyományos habhoz képest az egységnyi tömegre eső költség alig emelkedett (kb. 11 %). A példában levezetett esetben nem 46 %-kal növekednek a költségek, hanem 27 %-kal csökkennek!



2.11 ábra. Technológiai hatékonyságok gazdaságossági elemzés alapján. Forrás: szerző

A fentiek csupán a hőszigetelés által adott többlet hatékonyságot, valamint a veszteségeket vették figyelembe, mégis egyértelműen igazolható az új technológia előnye a hagyományos megoldásokkal szemben.

Az R-10A mérések eredménye alapján azonban nem csak a szigetelő hatással számolhatunk, hanem a habok tömeghatékonysági tényezőjével is, amely eléri, illetve a mérések alapján minden esetben meghaladta a 3 –as értéket. Ezek figyelembe vételével az új technológia alkalmazása a hatékonyság szempontjából nem csak olcsóbb lehet, de az oltás lehetőségét olyan tartományokban is lehetővé teszi, amely eddig teljes mértékben elérhetetlen volt, illetve taktikailag a hagyományos oltás szempontjából megoldhatatlan problémát jelentett!

**Tézisként megállapítom, hogy az új technológia alkalmazásával a víz korlátozott oltási képessége többszörösére növelhető:**

1. Az R-20F vizsgálati módszer eredményei alapján megállapítható, hogy - a habkiadósságtól és a habtakaró vastagságától függően - a hab a saját tömegének megfelelő hőelvonó képességen felül a szigetelőhatásnak köszönhetően további oltóhatással rendelkezik. Ez az érték átlagosan legalább kettő ( $Y_{HK}=2$ ).
2. Az R-10A mérési módszer alapján, a növényzet felületén megmaradni képes hab tömege a maximálisan megmaradó víz tömegéhez képest legalább háromszoros ( $R_f=3$ ).
3. A fentiek alapján az új technológiával előállítható hab összetett hatékonysága egységnyi felületre vonatkoztatva vízgyenértékre számítva 6 szorosára növelhető.

## 2.8 Az oltóanyag: retardáns –

### 2.8.1 a hatékonyság kritikai elemzése

A retardánsok általános megfogalmazásába azok az anyagok tartoznak, amelyek képesek a tűz terjedését csökkenteni, többnyire a víz oltóhatását növelni; így a korábban már részletezett és az új technológia szempontjából nélkülözhetetlen habképző anyagok is. A szakmán belül a retardánsok megfogalmazás egyre inkább azokra az anyagokra szűkül, amelyeket szintén a vízbe kell belekeverni és a növényzetre juttatva elsősorban kémiai átalakulásuk, takaró hatásuk révén csökkentik a tűz terjedését.

A ma alkalmazott retardánsokat ammónium szulfát  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ , ammónium polifoszfát  $[(\text{NH}_4)_3\text{PO}_3]_n$ , 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, mint főleg bórax-sókat tartalmazó elődeik. Tartalmaznak még korróziócsökkentő, színező (vasoxid), konzerváló, valamint felületi feszültség csökkentő adalékanyagokat is. Jelenleg a legelterjedtebb típusokat a Fire-Trol és a Phos-Chek márkanevek alatt forgalmazzák.

A retardánsok alkalmazása leginkább az Egyesült Államokban elterjedt, a légi tűzoltás során is alkalmazzák. A felhasználásuknak azonban számos akadályozó tényezője van, így pl.:

- a környezetre gyakorolt terhelés,
- a logisztikai háttérbiztosítás,
- a fajlagosan roppant magas költség.

A retardánsok alkalmazását mégis hasznosnak ítélik, aminek a magyarázata viszonylag egyszerű. A víz oltóhatásának objektív korlátai vannak, amely – a korábbiakban már részletezett módon – abból következik, hogy egy kifejlett erdő lombzatának felszíne maximálisan kb.  $5 \text{ kgm}^{-2}$  vizet képes magán megtartani, amelynek a hőelvonó képessége a tapasztalatok alapján kb.  $3400 \text{ kWm}^{-1}$  tűzintenzitásig képes gátat szabni a terjedésnek. A fenyvesek koronaégése azonban – a korábbiakban már szintén részletezett módon –  $8000 \text{ kWm}^{-1}$  tűzintenzitás fölé is lehet, mérésekkel igazolhatók  $18.000 \text{ kWm}^{-1}$  értékeket is! Mivel a maximális vízmennyiség nem képes gátat szabni a  $3400 \text{ kWm}^{-1}$  föléi tűzintenzitásnak, de a retardánsok igen, ezért ez utóbbinak hatékonyságát a határérték feletti tartományokban összehasonlítási alap nélkül jogosan minősítheti magasra a szakma. A következőkben ennek vizsgálatával foglalkozok.

A retardánsok oltóhatása egyrészt – a vízhez hasonlóan – a párolgásból adódó hőelvonáson alapszik, másrészt összetevőinek sajátosságaiból adódóan a felületet bevonva elválasztó hatást gyakorol, valamint kémiai reakcióval is fékezi a tűz terjedését.

A különböző oltóanyagok oltóhatását nagyon nehezen lehet azonos dimenzióban összehasonlítani. A víz oltóhatása a hőelvonó képességen alapul, a habok hatása a hőelvonó képességen kívül a hőszigetelő hatással bővül, míg a retardánsok a saját hőelvonó képességükön kívül a növényzet felületét bevonva, ún. elválasztó hatásukkal szigetelnek, illetve kémiai reakciók révén fejtik ki oltóhatásukat. A hőszigetelő hatás a hűtőhatásnak, mint az egyik fő oltóhatásnak az al-oltóhatása, míg az elválasztó hatás a fojtóhatásnak, mint másik fő oltóhatásnak az al-oltóhatása. Az eltérő működési mechanizmusnak az eredményeként az azonos dimenziójú összehasonlítás egyrészt nagyon körülményes, másrészt a kapott eredmények helyes értelmezése nem mindig kézenfekvő.

### Elméleti számítás

A repülőgép üzemórájára eső költségnek, valamint a kijuttatott oltóanyag tömegének a hánydosához hozzá kell adni a retardáns árának és alkalmazott bekeverési arányának a szorzatát. Képlettel megadva:

$$C_{retardáns} = \frac{C_{RG}}{V_{oltóanyag}} + C_{retardáns\_agent} R_{bekeverés} \quad (9)$$

Ahol:

- $C_{retardáns}$  = a kibocsátott retardáns egységnyi tömegének költsége [Ft $kg^{-1}$ ];
- $C_{retardáns\_agent}$  = a retardáns koncentrációjának egységnyi tömegének ára [Ft $kg^{-1}$ ];
- $R_{bekeverés}$  = a szükséges bekeverési arány [%].

Az egységnyi tömegű retardáns vízgyenértékre számított hatékonyságának költségét az oltóanyag speciális többlet tényezőjével kell figyelembe venni, amelyet – a habokhoz hasonlóan – ebben az esetben is szigetelő hatásnak nevezünk, de ez nem a klasszikus hőszigetelő hatás, hanem egy ún. elválasztó hatás.

$$C_{retardáns\_vz} = \frac{C_{retardáns}}{Y_R} \quad (10)$$

Ahol:

- $C_{retardáns\_vz}$  = a kibocsátott retardáns vízgyenértékre számított költsége [Ft $kg^{-1}$ ];
- $Y_R$  = az kibocsátott retardáns vízgyenértékre számított hatékonysági tényezője [].

A belső tartályból kibocsátott retardáns hasznosuló részének vízgyenértékre vonatkoztatott költség-meghatározása:

$$C_{retardáns\_vz\_eff} = \frac{C_{retardáns\_vz}}{\gamma_{bt}} \quad (11)$$

Ahol:

- $C_{retardáns\_vz\_eff}$  = a kibocsátott retardáns hasznosuló részének vízgyenértékre vonatkoztatott költsége [Ft $kg^{-1}$ ];
- $\gamma_{bt}$  = a belső tartály hatékonysági tényezője [].

A fentiek lehetővé teszik, hogy a vízre és a habokra vonatkozó számításokhoz hasonlóan a retardánsokra is meghatározzuk a szükséges értékeket.

A habok vízgyenértéken alapuló oltóhatását az R-20F és R-10A vizsgálatokkal sikerült objektíven meghatározni, azonban a retardánsok hatékonyságára ilyen vizsgálatok nem történtek, illetve a szakirodalomban összehasonlítható értékek nem találhatók. Ezért a gyakorlati számításokhoz – a hatékonyság mértékének magas meghatározásában érdekelt üzemeltetők és gyártók adatait is felhasználva - a *logikai következtetés, szakértői becslés és hipotézis vizsgálat* módszereit alkalmazom.

## 2.8.2 Logikai következtetés, szakértői becslés és hipotézis vizsgálat

A helyes és összehasonlítható értelmezés érdekében az alapfeltételek azonosak a vízre és habra vonatkozó értékekkel. A retardánsok hatékonysága a gyakorlati tapasztalatok alapján magasabb, mint a vízé. Ennek mértékének meghatározásához a következő *logikai következtetést* teszem:

1. Elfogadom, hogy a retardánsok képesek a koronatűznél, azaz kb. 8.000 kW $m^{-1}$  tűzintenzitásnál is hatékony védelmet nyújtani;
2. Senki sem állítja – és a gyakorlat sem igazolja – hogy bármekkora létező tűzintenzitásnak ellenáll, azaz oltóképessége nyilvánvalóan alacsonyabb, mint amely képes megfékezni az extrém tüzekre olykor jellemző 18.000 kW $m^{-1}$  értékű tűzintenzitást;

3. Következtetésem alapján a retardánsok oltóképessége magasabb, mint amivel a koronaégésre jellemző  $8.000 \text{ kWm}^{-1}$  tűzintenzitást meg lehet fékezni, de alacsonyabb, mint az extrém tüzeknél időnként megfigyelhető kb.  $18.000 \text{ kWm}^{-1}$  tűzintenzitás;
4. Amennyiben a víz hatékonyságát  $3.400 \text{ kWm}^{-1}$  értéknél „1” értékűnek veszem, akkor a  $8.000 \text{ kWm}^{-1}$  tűzintenzitásnál a szükséges hatékonyság értékének „2,35”, a  $18.000 \text{ kWm}^{-1}$  tűzintenzitásnál „5,3” értékűnek kell lennie.

A fentiekből adódóan a retardánsok hatékonysági tényezőjét *szakértői becslésem* alapján vízgyenértékben kifejezve „4÷5” értékűnek ítélem, azaz még képes megfékezni a már meglehetősen ritkán előforduló, de igen heves  $13.600 \text{ kWm}^{-1}$  -  $17.000 \text{ kWm}^{-1}$  intenzitással égő tüzet is. Ez az érték figyelembe veszi azt a gyakorlati tapasztalatot, hogy a retardánsok bár sokszor, de nem minden esetben képesek hatékony védelmet nyújtani a koronatüzek ellen. A későbbi számításokhoz a szakértői becslésemet „5” értékűre kerekítem; a számításokat ezzel végzem el.

A retardánsokkal kapcsolatban egy konferencia előadásban<sup>35</sup> a Marsh Aviation S-2T Turbo Tracker ismertetése során a cég képviselője a habok hatékonysági tényezőjére 3, a retardánsokéra 9 értéket adott meg. A nyilvánvalóan inkább logikai felépítést, mint valós hatékonysági értékeket tükröző sorozat (víz:1; hab:3; retardáns:9) félreérthetetlenül a társaság érdekeit szolgálja, így ezt csak hipotézis vizsgálat után tudom elfogadni; ettől függetlenül ezzel az értékkel is számításokat kell végezmem.

A fentiek alapján a *hipotézisem* az, hogy az érdekelt felek által adott hatékonysági tényező értéke retardánsok esetén eléri a megadott „9” értéket. Ezt többféleképpen vizsgálhatom, amely az egyik esetben A) az oltóanyag mennyiségére, a másikban B) a tűzintenzitás nagyságára, a harmadikban C) a költséghatékonyságra vonatkozhat. Természetesen lenne egy negyedik módszer is, amikor a fentieket közösen vizsgálom, de ez csak abban az esetben indokolt, ha az előző háromból legalább az egyiknél a hipotézis igazolódik.

Az oltóanyag egységnyi felületre szükséges mennyiségénél a retardánsoknál is a maximális lombozaton maradó értékeket javasolja a gyártó. (A kismértékű mennyiségi eltérés oka a gyakorlatban alkalmazott mértékegységek különbözőségében kereshető –  $\text{kgm}^{-2} \leftrightarrow \text{galft}^{-2}$ ), azaz mennyiségi oldalról nem találkozunk a hatékonyság növekedésével. A hipotézis mennyiségi oldalról nem igazolt.

A tűzintenzitás vonatkozásában a „9” hatékonysági tényező azt jelenti, hogy azonos mennyiség 9-szer nagyobb intenzitású tüzet képes eloltani; azaz ebben az esetben a vízhez képest ( $3.400 \text{ kWm}^{-1}$ ) a retardánsoknak valamennyi esetben el kellene tudniuk oltani a  $30.600 \text{ kWm}^{-1}$  intenzitású erdőtüzeket. Ilyen tűzintenzitást a gyakorlat nem ismer, sőt, a már korábban mondottaknak megfelelően, a valóságban létező kb.  $18.000 \text{ kWm}^{-1}$  tűzintenzitásnál sem sikerül vele minden esetben eloltani a tüzet. A hipotézist ebben az esetben sem sikerül igazolni.

A hipotézis igazságtartalmának harmadik módon történő vizsgálata konkrét gazdaságossági elemzést igényel. Ezt a következőkben fejtem ki.

### Gyakorlati számítás példák alapján

A retardáns koncentrátumának ára min. 2-szer magasabb a habképző anyag áránál; a piacon nem található  $8 \text{ €kg}^{-1}$ -nál olcsóbb termék. Mivel a habképző anyagokra  $1000 \text{ Ftkg}^{-1}$  értéket vettem, így csak a minimális összeggel számolva is legalább  $2000 \text{ Ftkg}^{-1}$  értéket kapok. A

<sup>35</sup> Aerial Fire Fighting Conference, Rome, Italy, 2009. november



retardánsok bekeverési arányára javasolt a 25 % elérése, így a számításoknál ezt az értéket vettem figyelembe.

A hatékonysági tényező értékét a szakértői becslésem alapján a felső értékkel számolom, értéke  $Y_R = 5$ . (Ez azt jelentené, hogy a retardánsok hatásfoka 2,5-szer magasabb lenne az új, általam javasolt technológia hatékonyságánál – amelyet természetesen nem fogadok el, de az összehasonlítás érdekében a számítások elvégzéséhez feltételezem.) A technológiai veszteségeket az új megoldás veszteségeivel azonosan lettek figyelembe véve – szintén annak rovására.

A fentiek alapján egy számított példa:

- $C_{\text{retardáns\_agent}} = 2.000 \text{ Ftkg}^{-1}$
- $R_{\text{bekeverés}} = 25 \%$
- $C_{\text{retardáns}} = 100 \text{ Ftkg}^{-1} + 500 \text{ Ftkg}^{-1} = 600 \text{ Ftkg}^{-1}$
- $Y_R = 5$
- $C_{\text{retardáns\_víz}} = 600 \text{ Ftkg}^{-1} / 4 = 120 \text{ Ftkg}^{-1}$
- $\gamma_{\text{bt}} = 0,85$
- $C_{\text{retardáns\_víz\_eff}} = 120 \text{ Ftkg}^{-1} / 0,85 = 141,2 \text{ Ftkg}^{-1}$

A fentiekből az következne, hogy a retardáns vízegyenértékre vonatkozó költséghatékonysága alacsonyabb még a víz hatékonyságától is. Ez az eredmény azonban nyilvánvalóan nem lehet logikus, ha a gyakorlat egyébként rendszeresen alkalmazza. A megoldást az adja, hogy amíg a vízzel nem vagyunk képesek a tűz terjedését megakadályozni, illetve azt eloltani, addig a retardánsokkal ez sokkal inkább sikerül. Ennek az az oka, hogy az oltási képesség retardánsoknál – és a haboknál is – olyan tartományokba is kitolódik, ahol a víznek objektíven nincs lehetősége az oltásra. Ezért, bár drága, mégiscsak megérheti a retardáns alkalmazása, hiszen a víz hiába olcsóbb megoldás bár, ám, ha a tűz megfékezéséhez önmaga elégtelen, akkor semmit sem ér.

Még inkább érdekes eredményt mutat, ha a gyakorlati élethez közelebbi megoldásokat feltételezve történik az adatfelvételezés. Számítás gyakorlatiasabb értékekkel:

- $C_{\text{retardáns\_agent}} = 3.000 \text{ Ftkg}^{-1}$  (tárolási, szállítási, stb. költségek is megjelennek)
- $R_{\text{bekeverés}} = 25 \%$
- $C_{\text{retardáns}} = 100 \text{ Ftkg}^{-1} + 750 \text{ Ftkg}^{-1} = 850 \text{ Ftkg}^{-1}$
- $Y_R = 5$
- $C_{\text{retardáns\_víz}} = 850 \text{ Ftkg}^{-1} / 5 = 170 \text{ Ftkg}^{-1}$
- $\gamma_{\text{bt}} = 0,7$
- $C_{\text{retardáns\_víz\_eff}} = 170 \text{ Ftkg}^{-1} / 0,7 = 243 \text{ Ftkg}^{-1}$

Látható, hogy a retardáns alkalmazása gazdaságossági szempontok alapján nem lenne indokolt, a gyakorlati életben költségei elképesztően magasak.

A hipotézis vizsgálatához – bár már korábban kizártam valóságtartalmának lehetőségét – felhasználom az érdekelt felek által adott  $Y_R = 9$  hatékonysági tényezőt és ennek alapján ítélem meg a gazdaságosság lehetőségét.

Számítás az érdekelt felek által szolgáltatott adatok alapján:

- $C_{\text{víz}} = 100 \text{ Ftkg}^{-1}$
- $C_{\text{I4F}} = 146,3 \text{ Ftkg}^{-1}$
- $C_{\text{retardáns}} = 600 \text{ Ftkg}^{-1}$  (A)
- $C_{\text{retardáns}} = 850 \text{ Ftkg}^{-1}$  (B)

- $Y_{\text{víz}} = 1$
- $Y_{\text{hab}} = 3$
- $Y_{\text{retardáns}} = 9$
  
- $C_{\text{víz}} = 100 \text{ Ftkg}^{-1} / 1 = 100 \text{ Ftkg}^{-1}$
- $C_{\text{I4F}} = 146,3 \text{ Ftkg}^{-1} / 3 = 48,8 \text{ Ftkg}^{-1}$
- $C_{\text{retardáns}} = 600 \text{ Ftkg}^{-1} / 9 = 66,6 \text{ Ftkg}^{-1} \text{ (A)}$
- $C_{\text{retardáns}} = 850 \text{ Ftkg}^{-1} / 9 = 94,4 \text{ Ftkg}^{-1} \text{ (B)}$

A fentiek alapján a retardánsok alkalmazása költséghatékonyság szempontjából a vízzel összemérhető, attól akár előnyösebb is lenne. Az új technológiához képest a retardáns alkalmazása még az érdekelt felek eltúlzott és igazoltan nem alkalmazható becslése alapján is közel 40% (A) és – 95 % (B) közötti többletköltséget jelentene. A hipotézist ebben az esetben sem sikerült igazolni.

**A fentiek alapján tézisként megfogalmazom, hogy a retardánsok hatékonysága jelentősen nagyobb a víztől, és bár olyan tartományokba is kitolódik, ahol az új technológiát is alkalmazni lehetséges, mindez gazdaságossági szempontból nem jelent előnyt az általam javasolt új megoldással szemben.**

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BLESZITY János, ZELENÁK Mihály: A tűzoltás taktikája. Tankönyv, BM Könyvkiadó, Budapest, 1989
- [2] Delforge, P.: Guide d'emploi des moyens aeriens en feux de forets, Minister de L'Interieur, Párizs, Franciaország, 2001
- [3] Jambrik, R.: Légi támogatás nélkül nehéz lett volna, Védelem, XIV. Évfolyam 6. szám, 51 – 53 oldal, Budapest, 2007, ISSN: 1218-2958
- [4] Nagy D.: A közvetlen taktika korlátainak fizikai/égéseméleti háttere; Védelem, 2007. 6. szám.
- [5] Restás Á.: Az erdőtüzek légi felderítésének és oltásának kutatás-fejlesztése. Ph.D. értekezés. ZMNE 2008.
- [6] Restás, Á.: R-20F Method: An Approach for Measuring the Isolation Effects of Foams Used Fighting Forest Fires; AARMS Academic and Applied Research in Military Science, XI. Évf. Budapest, 2012, ISSN 1588-8789.
- [7] Restas, A.: 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; Megjelenés alatt. VIIth International Conference on Forest Fire Research, Coimbra, Portugália, 2014. November
- [8] Szabó, G.: Erdőtűz, Tanulmány, 1994. <http://speed.eik.bme.hu/~gergo/html>, letöltés: 1999.05.10.

### 3 FEJEZET

## AZ OLTÓANYAGOK VALAMINT A LÉGI OLTÓESZKÖZÖK KÖLTSÉGEINEK ÉS HATÉKONYSÁGÁNAK EGYÜTTES ELEMZÉSE

### 3.1 Bevezetés

A légi tűzoltás magas költsége ellenére is számos esetben az egyetlen lehetőség a nagy kiterjedésű erdőtüzek elfojtására. Az oltás magas költségei arra kell, hogy ösztönözzék a szakértőket, hogy egyrészt, döntéseik előtt megvizsgálják a légi tűzoltás valódi hatékonyságát és tisztában legyenek az azt befolyásoló tényezőkkel, másrészt, igyekezzenek módot találni a költségek csökkentésére, ezáltal a hatékonyság növelésére.

A légi tűzoltás sikerességét és hatékonyságát nagyon sok tényező befolyásolja, valamennyi pontos számbavétele biztos, hogy nagyon összetett és bonyolult feladat lenne, sőt, talán nem is volna lehetséges. Ennek ellenére a kiválasztottam néhány olyan alapvető tényezőt, amelyek jelentősen befolyásolják, meghatározzák a légi tűzoltás közgazdasági szempontú hatékonyságát. Ezek egyike nyilvánvalóan maga az oltóanyag, illetve annak oltási képessége. Ez a különböző oltóanyagoknál bizonyosan eltérő. Ennek a legegyszerűbb példái az oltóanyagokat forgalmazó cégek marketing bemutatói, ahol mindig kidomborodik az adott oltóanyag valamilyen egyedi, a többiekétől kedvezőbb jellemzője.

A másik alapvető tényező a különböző oltóanyagoknak a tűz helyszínére történő kijuttatásának költsége, ha úgy tetszik a logisztika költséghatékonysága. Ha elfogadjuk azt, hogy az oltási képességekben különbség van, akkor abból logikusan az is következik, hogy hatékonyabb oltóanyagot akár magasabb kijuttatási költségek árán is érdemes lehet alkalmazni, és viszont. Ez utóbbi eredményességének a mértékét nem csak a szállítási költségek, de az oltóanyagoknak a saját költségei is befolyásolják. A tézisemben a fentiek egymással való kölcsönhatását kutatom.

### 3.2 Az oltóanyagok hatékonysága és a hozzátartozó költségek

Az oltóanyagok hatékonyságának vizsgálatára többféle módszert ismerünk; van olyan, amelyik egyes országokban általánosan elfogadott sztenderdet jelent, mint pl. a LIFT<sup>36</sup>, TM2<sup>37</sup> módszerek, míg mások esetleg csak egy-egy kutatás céljait szolgálják (Batista, 2011; Fiorucci 2011a, Fiorucci, 2011b.; Morris, 2011). Az oltóanyag hatékonysága azt mutatja meg, hogy a tüzet hogyan tudja eloltani, vagyis a tűz terjedési sebességét ( $v_0$ ) hogyan képes lecsökkenteni, szélső esetben megállítani ( $v_x$ ;  $v_x < v_0$ , vagy  $v_x = 0$ ). Nyilvánvaló, hogy ez utóbbi jelenti a valódi megoldást, azonban számos módszernél a terjedési sebesség csökkentésének mértéke, mint a hatékonyság értékjelzője jelenik meg (pl. LIFT). A téma elemzéséhez elfogadom a fenti módszer elvét; vagyis azt, hogy nem csak akkor tekinthető egy oltóanyag hatékonynak, ha az teljesen eloltja a tüzet, hanem akkor is, ha az valamilyen mértékben lecsökkenti annak terjedési sebességét<sup>38</sup>: a sebesség folytonos csökkentése ugyanis végül mégiscsak azt eredményezi, hogy a terjedés megáll, vagyis a tüzet eloltottuk. A fentiekből az

<sup>36</sup> LIFT – Lateral Ignition and Flame Spread

<sup>37</sup> TM2 – Test Method 2 Combustion Retarding Effectiveness Test

<sup>38</sup> A tűz terjedési sebességének lecsökkentését csak abban az esetben tekintem elfogadhatónak, ha az a tűz végleges eloltását biztosító egyéb taktikai alkalmazásokat, vagy a terjedési sebesség folyamatos csökkentésével mégiscsak a tűz végleges eloltását eredményezi. Ez utóbbi kísérleti körülmények között viszonylag könnyen előidézhető, míg a valós körülményekre való adaptálása a szerző szerint sokszor kétséges.

következik, hogy a tűz terjedési sebességét különböző mértékben csökkentő oltóanyagok hatékonysága is különböző mértékű; logikus, hogy annak nagyobb az oltási hatékonysága, amelyik nagyobb mértékben csökkenti a terjedési sebességet.

Az eltérő oltási képességek bizonyosan eltérő egyéb tulajdonságokat is jelentenek, így nagy valószínűséggel a költségek is különbözőek. Amennyiben a már korábban említetteket elfogadjuk, azaz, hogy nem csak a tűz teljes eloltása hatékony, de a terjedési sebességének lecsökkentése is, úgy a szakmai hatékonyság kérdése a sebesség lecsökkentésének mértékétől függ. A szakmai hatékonyság csak az elérendő célt tekintí mértékadónak, – ebben az esetben azt, hogy melyik oltóanyag csökkenti nagyobb mértékben a tűz terjedési sebességét, – az arra fordított erőforrásokat, költségeket azonban nem veszi figyelembe (Restas, 2011). A tűz terjedési sebességét ugyanolyan mértékben csökkentő oltóanyagok szakmailag azonos hatékonyságúnak értékelhetők függetlenül attól, hogy azok milyen kiadással, költséggel járnak.

A közgazdasági szempontú hatékonyság azonban többet jelent a fentiektől; ekkor nem csak a terjedési sebesség csökkentésének mértékét, de az arra fordított költségeket is figyelembe kell venni. Amennyiben a költségeket is figyelembe vesszük, úgy az azonos sebességcsökkentő hatást eredményező, de fajlagosan olcsóbb oltóanyag közgazdasági szempontból nyilvánvalóan hatékonyabb.

A legáltalánosabb oltóanyag a víz. Ennek költsége a többi oltóanyaghoz viszonyítva elenyésző, sokszor nem is számolunk vele. A vizet azonban nem csak önmagában, hanem egyéb oltóanyagokhoz is felhasználjuk, így a retardánsok, vagy habok előállításához is. Amennyiben a víz költségétől eltekintünk, úgy azonos oltási képességeket feltételezve az oltóhabok fajlagos költsége ( $c_{foam}$ ) két tényező függvénye: az egyrészt a koncentráci bekeverési arányától ( $R_{foam}$ ), másrészt az egységnyi koncentráci árától ( $p_{foam}$ ) függ.

$$c_{foam} = R_{foam} p_{foam} \quad (1)$$

Korszerű habok esetén a koncentráciokra előírt bekeverési arány 0,5 – 3 % közötti, ami azt jelenti, hogy 1 m<sup>3</sup> oldathoz 5 – 30 liter koncentráci bekeverése szükséges. Ebből az oldatból a kibocsátás során kb. 6 – 12 m<sup>3</sup> hab képződik, amely a növényzetet betakarva akadályozza meg a tűz továbbterjedést, vagy csökkenti le annak sebességét. A habok oltóhatása természetesen több oltóhatás együttes hatásaként jelentkezik, ilyenek pl. az elválasztó, szigetelő, hűtő hatások.

Az azonos oltási képességek, pl. hab esetén – jó közelítéssel – a habkiadási aránnyal ( $R_{exp\ foam}$ ) is jellemezhetők; a fenti esetben ez az érték 6 – 12 közötti ( $R_{exp\ foam} = 6 \div 12$ ). Természetesen egyéb jellemzők<sup>39</sup> is fontosak, de a habkiadási arány alapvetően elfogadható jellemzőnek tekinthető a habok kezdeti oltási hatékonyságának megítéléséhez. Nagyon alacsony habkiadási arány (nagy hab sűrűség) esetén az oltóanyag a növényzeten maradás helyett – Newton-i folyadékként viselkedve – lefolyik a talajra és nem vesz részt a hatékony oltásban, míg ellentétes esetben, ha nagyon alacsony a hab sűrűsége (nagy habkiadási arány), a légáramlat könnyedén eltávolítja azt a kívánt reakcióteréből.

Amennyiben mind az oltóanyagok fajlagos költségei, mind a tűzterjedési sebesség csökkentésének mértéke között eltérés van, úgy – lineáris változást feltételezve – az azok közötti arány és annak mértéke határozza meg, hogy közgazdasági szempontból melyik oltóanyag és mennyivel hatékonyabb. A jelen vizsgálatomhoz az oltóanyagok költségeinek

<sup>39</sup> Erdőtűz oltása esetén fontos a habszerkezet struktúrájának a megőrzése, a rövid idejű (5 perc) és a fél vízkiválás ideje, stb.

változásából eredő, valamint ezzel összefüggésben a terjedési sebességre gyakorolt, vagyis a hatékonyságot befolyásoló hatást lineárisan változónak feltételezem.

### 3.3 Az oltóanyag hatékonyságának elemzése

Nyilvánvaló, hogy a különböző oltóanyagokat célszerű számba venni, és az is, hogy a sort a legegyszerűbbel kell kezdeni. A vizet általánosan használjuk oltóanyagként, számos esetben önállóan, de retardánsokat vagy habképző anyagokat is keverhetünk hozzá. Az adalék anyagok nyilvánvalóan a vízzel oltás hatékonyságának növelését célozzák, vagyis hatékonyabbak, ezért logikus, hogy kiinduló pontnak, vagy referenciának a vizet tekintsük. Ez a legegyszerűbb megoldás, amely számos esetben már önállóan is jó hatásfokkal csökkenti a tűz terjedési sebességét ( $v_w < v_0$ ). Ez a szakmai hatékonyság tekintetében természetesen a fenti sorozat (kezdő) szélső értékét jelenti.

Amennyiben retardáns, vagy különböző habképző anyagokat is alkalmazunk, úgy azok tűzterjedést csökkentő hatását egymáshoz, illetve a vízéhez kell viszonyítanunk (pl.  $v_A$ ,  $v_B$ ). A vízzel való összehasonlításakor – akár a retardánsnál, akár a haboknál – a szakmai hatékonyságnak nyilvánvalóan magasabbnak kell lennie, hiszen ellenkező esetben logikailag nem lenne értelme erőforrásokat pazarolni rá.

Az oltóanyagok felhasználásának az a célja, hogy a tüzet eloltsa, vagy, hogy annak terjedési sebességét csökkentse. A csökkenés mértékét ( $v_0 \rightarrow v_x$ ) nyilvánvalóan a tűz eredeti terjedési sebességéhez ( $v_0$ ) mérjük. A szakmai hatékonyság viszonyításánál kiinduló pontként célszerű, hogy a legegyszerűbb oltóanyag, a víz hatását vegyük alapul, vagyis azt, hogy az milyen mértékben képes csökkenteni a terjedési sebességet<sup>40</sup>; ehhez viszonyítva – sorba rendezéssel – már egyszerűen megítélhetők az egyéb oltóanyagok hatása. Vizsgálatomhoz 2 különböző, – a gyártók esetleges érdekeit nem sértve – nevesítés nélküli, fiktív oltóanyag (hab) adatait használok fel (hab „A” és hab „B”).

A különböző oltóanyagok nagy valószínűséggel különböző mértékben csökkentik a tűz terjedési sebességét. Az oltóanyaggal nem kezelt ( $v_0$ ), valamint oltóanyaggal kezelt ( $v_x$ ) területeken mért tűzterjedési sebességek különbsége kivonással egyszerűen megállapítható, így a kapott eredmények sorba rendezhetők.

$$v_w = v_0 - v_1 \quad (2)$$

$$v_A = v_0 - v_2 \quad (3)$$

$$v_B = v_0 - v_3 \quad (4)$$

$$v_0 > v_1 > v_2 > v_3 \quad (5)$$

A fentiek alapján alapadatoknak számítanak a következők (példa értékekkel):

- A tűz terjedési sebessége:  $v_0$  (=10 mm $\cdot$ min<sup>-1</sup>)
- A vizes felületnél mért terjedési sebesség:  $v_1$  (= 6 mm $\cdot$ min<sup>-1</sup>)
- Az „A” jelű habnál mért terjedési sebesség:  $v_2$  (= 5 mm $\cdot$ min<sup>-1</sup>)
- A „B” jelű habnál mért terjedési sebesség:  $v_3$  (= 4 mm $\cdot$ min<sup>-1</sup>)

<sup>40</sup> Lehet egyéb paramétert is alkalmazni, pl. a tűz eloltása eseté az eloltott szakaszok hossza lehet a különböző oltóanyagok függvényében eltérő.

A fenti példában szereplő adatok alapján kiszámíthatók a sebességcsökkentő hatások:

- A víz sebesség csökkentő hatása:  $v_W = 4 \text{ mmin}^{-1}$
- Az „A” jelű hab sebesség csökkentő hatása:  $v_A = 5 \text{ mmin}^{-1}$
- A „B” jelű hab sebesség csökkentő hatása:  $v_B = 6 \text{ mmin}^{-1}$

A fentiek sorrendiségének meghatározása:

$$v_W < v_A < v_B \quad (6)$$

A tűz terjedési sebességén kívül természetesen lehet egyéb paramétert is vizsgálni. Feltételezhető akár az is, hogy az oltóanyagokkal a tüzet biztosan el tudjuk oltani, de az eloltott szakaszok hossza (pl.  $l_x$ ) a különböző oltóanyagok függvényében eltérő. A módszer alapvetően ebben az esetben is alkalmazható, az eredményeken a fentiek nem változtatnak<sup>41</sup>.

$$l_W < l_A < l_B \quad (7)$$

A fentiekből levonható az a következtetés, hogy a szakmai hatékonyság sorrendjének meghatározásában azok segítenek bár, de valójában nem adnak útmutatást sem az egymáshoz viszonyított hatékonyság, sem a közgazdasági hatékonyság tekintetében.

### 3.4 Az oltóanyagok hatékonyságát jellemző indexek

A hatékonyság pontosabb meghatározása érdekében különböző szempontok szerint számításokat végezhetünk, amelyek eredményeit, mint jelzőszámokat indexeknek nevezzük.

#### 3.4.1 Abszolút index

Abszolút indexeket kapunk ( $Y_x$ ), ha az oltóanyagok terjedési sebesség csökkentő hatását a tűz eredeti sebességéhez viszonyítjuk.

$$Y_W = \frac{v_0 - v_W}{v_0} = 1 - \frac{v_W}{v_0} \quad (8)$$

A fentiek alapján a három oltóanyag (víz, hab „A”, hab „B”) abszolút indexei a következők:

$$Y_W = 1 - \frac{v_W}{v_0} \quad (9)$$

$$Y_A = 1 - \frac{v_A}{v_0} \quad (10)$$

$$Y_B = 1 - \frac{v_B}{v_0} \quad (11)$$

Az abszolút indexek iránymutatást adnak arra, hogy a különböző oltóanyagok milyen mértékben képesek a tűz terjedési sebességét csökkenteni. Értéke lehet 1, vagy 1 –nél kisebb; az előbbi esetben az oltóanyag nem lelassította a tűz terjedési sebességét, hanem eloltotta az adott frontvonal szakaszt. Az eredmény minél közelebb van az 1-hez, annál nagyobb mértékben lett csökkentve a tűz terjedési sebessége, vagyis annál nagyobb hatékonyságú az adott oltóanyag.

<sup>41</sup> Ebben az esetben logikailag a tűz terjedési sebessége helyett a tűz frontvonalának (kerület) változását kellene figyelembe venni.

Logikailag a másik szélsőérték is feltételezhető, ekkor – vagyis  $Y_x=0$  esetén – a tűz terjedési sebességét egyáltalán nem sikerült az oltóanyaggal csökkenteni.

1. Táblázat – Az oltóanyag abszolút indexei (példa értékekkel)

	$Y_W$	$Y_A$	$Y_B$
<b>Water</b>	$1 - \frac{v_W}{v_0}$ (0,4)		
<b>Foam A</b>		$1 - \frac{v_A}{v_0}$ (0,5)	
<b>Foam B</b>			$1 - \frac{v_B}{v_0}$ (0,6)

### 3.4.2 Sztenderd index

Az oltóanyagok szakmai hatékonysága másképpen is kifejezhető. A tűz terjedési sebességének csökkentése megadható nem csak az eredeti tűzterjedési sebességhez, hanem a referencia oltóanyag hatásához viszonyítva is; ezt sztenderd indexnek nevezem ( $Z_x$ ). A vízhez, mint a legegyszerűbb oltóanyaghoz viszonyítva láthatóvá válik, hogy az egyéb oltóanyagok szakmai hatékonysága – a többlet költségek, vagyis a ráfordítások hatására – milyen mértékben változik.

$$Z_A = \frac{Y_A}{Y_W} \quad (12), \text{ valamint} \quad Z_B = \frac{Y_B}{Y_W} \quad (13)$$

Ez a szakmai hatékonyság tekintetében azért jelent pontosabb iránymutatást, mert nem közvetlenül a tűzhez, hanem a referencia ponthoz, vagyis a legalacsonyabb költségű vízhez képest mutatja az oltóanyag képességét.

2. Táblázat — Az oltóanyag sztenderd indexei (példa értékekkel)

	$Z_A$	$Z_B$
<b>Foam A</b>	$\frac{Y_A}{Y_W}$ (1,25)	
<b>Foam B</b>		$\frac{Y_B}{Y_W}$ (1,5)

Nyilvánvaló, hogy a fentiek értékeként csak 1-nél nagyobb eredmény elfogadható. Az 1-es eredmény azt mutatja, hogy a víz kezelése nem járt hatékonyság növekedéssel, vagyis az arra fordított erőforrások pazarlásnak minősíthetők<sup>42</sup>. Minél nagyobb az érték, vagyis távolabb van az 1-től, a vízhez képest annál nagyobb a vizsgált oltóanyag szakmai hatékonysága.

<sup>42</sup> A szerző felkérés alapján vizsgált már ilyen, egy feltaláló által hatékonynak nevezett „újfajta” oltóanyagot. Az oltóanyag a tesztek során a tüzet bár eloltotta (késleltette a terjedést) de semmivel sem mutatott jobb eredményt, mintha pusztán vízzel történt volna az oltás.

### 3.4.3 Összehasonlító index

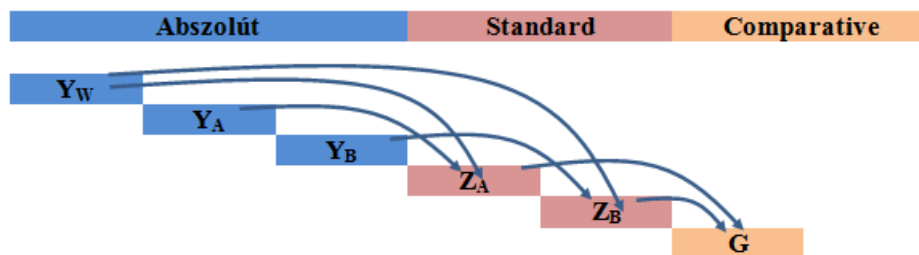
A fenti gondolatmenetet folytatva, a két különböző oltóanyag hatékonysága közötti relatív különbséget is megkaphatjuk arányosítással. Ez az összehasonlítani kívánt két különböző oltóanyag sztenderd index értékeinek a hányadosa; ez az összehasonlító index ( $G$ ).

$$G = \frac{Z_B}{Z_A} \quad (14)$$

A kapott eredmény a két oltóanyag szakmai hatékonysága közötti arányt mutatja. Értéke minél távolabb van az 1-től, annál nagyobb a két oltóanyag hatékonysága közötti különbség. Amennyiben a kapott eredmény értéke 1, úgy a két oltóanyag szakmai hatékonysága között nincs különbség.

Az, hogy melyik adatot (oltóanyag tulajdonságot) vesszük osztónak és melyiket osztandónak, nem befolyásolja a helyes értékelést. Természetesen a nagyobb érték osztásakor kapunk nagyobb hányadost, vagyis az az oltóanyag lesz szakmailag hatékonyabb. A példában szereplő értékeket alapul véve a teszt során a „B” jelű hab teljesített jobban ( $G=1,5/1,25=1,2$ ), a hatékonysága az „A” jelű habhoz képest 1,2 szerez, vagyis 20 %-kal magasabb a szakmai hatékonysága.

Az oltóanyagok szakmai hatékonyságát jellemző indexek egymásra épülésének logikája a 3.1. ábrán látható.



3.1 ábra. Az oltóanyagok szakmai hatékonyságát jellemző indexek egymásra épülésének logikája. Forrás: szerző

A fentiek alapján meghatároztam az egyes oltóanyagok szakmai hatékonyságát, de nem tudható, hogy ez valójában, illetve fajlagosan mennyibe kerül. A továbbiakban erre kell választ kapnunk.

### 3.5 A logisztikai hatékonyság – a légi tűzoltás költségei

Az oltóanyagok szakmai hatékonyságának vizsgálata után felvetődik a kérdés, hogy az adott oltóanyag hogyan és milyen költségek árán jut az erdőtüzek frontvonalára. Ennek logisztikáját a repülőgépes szállítás és kibocsátás, vagyis a légi tűzoltás biztosítja, amely viszont köztudomású, hogy nagyon költséges. A logisztikai feladat költségelemzése már a hatékonyság közgazdasági szemléletének irányába mutat, noha önmagában – mint látni fogjuk – még ez is csak a szakmai hatékonyságot mutatja.

A légi tűzoltás költségei több részből állnak; egyrészt tartalmazza a repülőeszköz alkalmazásának, másrészt a felhasznált oltóanyagoknak a költségeit. A légi tűzoltás költségeinek megítélésekor – a szerző szerint – szakmai hiba, hogy a kettőt nagyon gyakran nem együtt



kezelik; ez alapvető téves következtetésekhez is vezethet. Ezt a későbbiekben látni is fogjuk. Az oltás hatékonyságának közgazdasági szempontból történő megítélésénél mindkettő együttes figyelembevétele elengedhetetlen.

Amennyiben a repülőeszköz költségei állandók, azaz egy meghatározott összeggel vesszük azt figyelembe, úgy a légi tűzoltás hatékonyságát az oltóanyag költsége és annak oltási hatékonysága fogja meghatározni.

A repülőeszköz fajlagos költségeinél ( $c_{AFF}$ ), azaz a hatékonyságánál az egységnyi üzemidő költsége ( $c_{aff}$ ) alapvetően meghatározó. Ezen kívül azt is figyelembe kell venni, hogy az adott repülőgép milyen szállítási kapacitással rendelkezik ( $Q_{aff}$ ), valamint, hogy egységnyi idő alatt (pl. óránként) átlagosan hány fordulót, kibocsátást képes végrehajtani ( $n_{aff}$ ); azaz, mekkora költséggel tudunk egységnyi oltóanyagot a célterületre juttatni.

A fentiek értelmében tehát a hatékonyság számításához a következő információkkal, vagy alapadatokkal kell rendelkezni (példa értékekkel):

- A repülőgép költsége óránként:  $c_{aff}$  (=1000 €h<sup>-1</sup>)
- A repülőgép szállítási kapacitása:  $Q_{aff}$  (=1000 kg)
- A repülőgép fordulók (kibocsátások) száma:  $n_{aff}$  (= 10 h<sup>-1</sup>)

A fenti adatokból egyszerűen levezethető a kijuttatott egységnyi oltóanyagra jutó szállítási költség:

$$c_{AFF} = \frac{c_{aff}}{Q_{aff} n_{aff}} = (0,1 \text{ €kg}^{-1}) \quad (15)$$

Hasonlóan az oltóanyagok szakmai hatékonysági vizsgálatánál alkalmazott elvekkel, az oltóanyagok frontvonalra juttatásának költségeit is célszerű sorba rendezni, kezdve itt is a legalacsonyabb költségűvel. A vizet számos esetben alkalmazzuk, de saját költségével ritkán, vagy egyáltalán nem számolunk (pl. tóból, tengerből történő vízkivétel), így tulajdonképpen csak a repülőeszköz saját költségeivel számolunk, illetve azok dominálnak. A fentiek alapján logikus, hogy kiindulópontként, vagy referenciának ezt az esetet válasszuk. Ez a költségek tekintetében természetesen a fenti sorozat szélső értékét jelenti.

Amennyiben retardánst, vagy különböző habképző anyagokat alkalmazunk, úgy azok tűzterjedést csökkentő hatása mellett figyelembe kell venni az ahhoz köthető költségeket is. Ezekben az esetekben az összköltséget a repülőeszközök oltóanyagra jutó üzemeltetési költségei (15) és az oltóanyag költségei (1) már együttesen jelentik.

A legegyszerűbb esetben a vízre vonatkozó költségekkel számolhatunk; a fentiek alapján ennek oka, hogy az oltóvíznek, mint oltóanyagnak nem<sup>43</sup>, vagy csak minimális értéken számítunk költséget ( $C_w \approx 0$ ), így ilyenkor csak a repülőeszköz alkalmazásának költségeit kell figyelembe venni<sup>44</sup>. Az összehasonlítás egyszerűsítése érdekében célszerű az egységnyi oltóanyagra jutó költséggel számolni ( $c_{AFF}$ ).

<sup>43</sup> Szabad forrásból merítve, mint pl. tó vagy tenger esetén. A repülőgép üzemidejének költségeihez viszonyítva az ivóvíz (vezetékves víz) költségei is gyakorlatilag elhanyagolhatóak.

<sup>44</sup> Elméletileg az oltóanyag nélküli repülés költségeit kellene elsőként figyelembe venni, azonban ez megegyezik, vagy közelít a költség nélküli oltóanyaghoz, azaz a víz költségeihez, így a kettő gyakorlatilag ugyan azt jelenti.

A fentiekből következik, hogy két olyan repülőeszköz esetén, amelyeknél az üzemóra költségek azonosak – egyéb feltételek további azonossága esetén – az a hatékonyabb, amelyik több oltóanyagot képes azonos idő alatt az adott célterületre juttatni; azonos kijuttatott mennyiségek esetén pedig az alacsonyabb költségű repülőeszköz tekinthető hatékonyabbnak<sup>45</sup>. Az utóbbi megállapításához meg kell határoznunk az adott oltóanyag költségét; az ehhez szükséges adatok:

- Az „A” jelű habhoz szükséges bekeverési arány: 3 %
- Az „A” jelű habképzőanyag költsége: 6 €kg<sup>-1</sup>
- A „B” jelű habhoz szükséges bekeverési arány: 3 %
- A „B” jelű habképzőanyag költsége: 12 €kg<sup>-1</sup>

A két oltóanyag költségének meghatározása a  $c_{foam} = R_{foam} p_{foam}$  (1) forma alapján számítva:

$$c_A = R_A p_A = 0,018 \text{ €kg}^{-1} \quad (16), \text{ valamint } c_B = R_B p_B = 0,036 \text{ €kg}^{-1} \quad (17)$$

### 3.6 A légi tűzoltás hatékonyságának indexei

Az oltóanyag szakmai hatékonysági indexeihez hasonlóan megalkothatók a légi tűzoltás szakmai hatékonyságának indexei is. A következőkben ennek logikai felépítése látható, szintén példákkal illusztrálva.

#### 3.6.1 Abszolút index

A fentiek alapján a vizet tekintjük referencia pontnak. Ekkor döntően csak a repülőeszközök üzemeltetési költségeit vesszük figyelembe, míg az egyéb oltóanyagok tekintetében ehhez hozzá kell számolni az oltóanyagok költségeit is. Ez az abszolút index ( $C_x$ ):

$$C_W = \frac{c_{AFF}}{c_{AFF} + c_W} \cong 1 \quad (18)$$

A fentiek alapján megadhatók az oltóanyagok költségeinek meghatározására szolgáló formulák:

$$C_W = \frac{c_{AFF}}{c_{AFF} + c_W} \quad (19)$$

$$C_A = \frac{c_{AFF}}{c_{AFF} + c_A} \quad (20)$$

$$C_B = \frac{c_{AFF}}{c_{AFF} + c_B} \quad (21)$$

A víz költségétől a példa érdekében nem tekintünk el, annak értékét a repülőgép költségéhez viszonyítva 5 % értéken a szerző önkényesen határozza meg<sup>46</sup>.

<sup>45</sup> A repülőeszközök tűzoltó taktikai hatékonysága közötti esetleges különbségeket szintén nem vesszük figyelembe, vagy azonosnak tekintjük.

<sup>46</sup> Ez nagyságrendileg elfogadható olyan esetben, amikor a víznek a helikopter töltési helyére való szállítását egyéb eszközökkel valósítjuk meg. Ennek logisztikai költsége figyelembe vehető és sokszor már nem elhanyagolható.

3. Táblázat — A légi tűzoltás abszolút indexei (példa értékekkel)

	$C_W$	$C_A$	$C_B$
<b>Water</b>	$\frac{C_{AFF}}{C_{AFF} + C_W}$ (0,95)		
<b>Foam A</b>		$\frac{C_{AFF}}{C_{AFF} + C_A}$ (0,33)	
<b>Foam B</b>			$\frac{C_{AFF}}{C_{AFF} + C_B}$ (0,43)

Az abszolút index a kibocsátott oltóanyag összköltségét viszonyítja a repülőgép fajlagos költségéhez. A kapott értékek alapján a logisztikai módszer egyszerű rangsorolása történhet, ami szigorúan a költségek tekintetében a szakmai hatékonyságot jelenti, vagyis az oltóanyag hatékonysága nélkül ez sem jelent releváns közgazdasági szempontú elemzést.

Értéke lehet 1, vagy 1-nél kisebb; az előbbi esetben az oltóanyag költségével (víz) nem, míg az utóbbinál az oltóanyagnak saját költségével is számolunk. Az eredmény minél közelebb van az 1-hez, annál kisebb az oltóanyag saját költsége a repülőgép fajlagos költségéhez képest.

### 3.6.2 Sztenderd index

Hasonlóan az oltóanyagok szakmai hatékonyságához, a kijuttatás költségeinél is megalkothatók a sztenderd indexek ( $U_x$ ). Ebben az esetben a különböző oltóanyagok fajlagos költségét a víz fajlagos költségéhez viszonyítjuk. Ekkor az oltóanyag, valamint a víz, mint referencia költségek hányadosát kapjuk.

$$U_A = \frac{R_A P_A Q_{aff} n_{aff}}{C_{aff}} = \frac{C_A}{C_W} \quad (22)$$

A két oltóanyagra adható formula:

$$U_A = \frac{C_A}{C_W} \quad (23), \text{ valamint } U_B = \frac{C_B}{C_W} \quad (24)$$

A fentiek a szállítás hatékonyságának kérdésében azért jelentenek pontosabb iránymutatást, mert nem közvetlenül a repülőgép fajlagos költségéhez, hanem a referencia ponthoz, vagyis a vízhez rendelt költségekhez képest mutatja az arányokat. Ez akkor is igaz, ha a víz költsége minimális; ekkor a hatékonysági index értéke logikusan magasabb lesz. Amennyiben a víz költségétől eltekintünk, vagyis a hozzárendelt index értéke 1, úgy a többi oltóanyagnál az abszolút, valamint a sztenderd indexek értékei megegyeznek.

4. Táblázat — A légi tűzoltás sztenderd indexei (példa értékekkel)

	$U_A$	$U_B$
<b>Foam A</b>	$\frac{C_A}{C_W}$ (0,35)	
<b>Foam B</b>		$\frac{C_B}{C_W}$ (0,45)

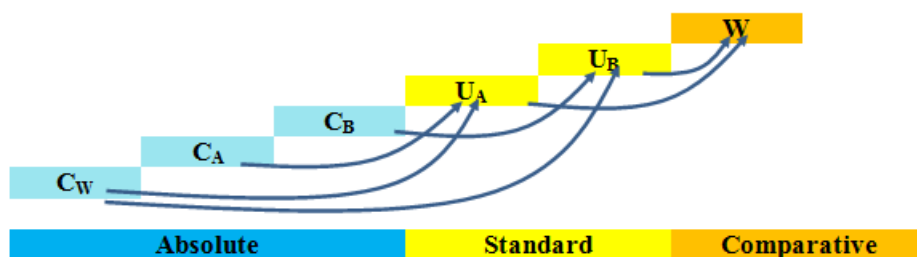
### 3.6.3 Összehasonlító index

A fenti gondolatmenetet folytatva, a két különböző oltóanyag kijuttatási költségei közötti relatív hatékonyságbeli különbség is kiszámítható arányosítással. Ez az összehasonlító index ( $W$ ), amely a két különböző oltóanyaghoz rendelt sztenderd index értékeinek a hányadosa.

$$W = \frac{U_B}{U_A} \quad (25)$$

A kapott eredmény a két oltóanyag kijuttatásának szakmai hatékonysága közötti különbséget mutatja. Értéke minél távolabb van az 1-től, annál nagyobb a hatékonyságok közötti különbség. Amennyiben a kapott eredmény értéke 1, úgy a két oltóanyag kijuttatásának szakmai hatékonysága között nincs különbség. Az, hogy melyik adatot vesszük osztónak és osztandónak, itt sem befolyásolja a helyes értékelést. Természetesen a nagyobb érték osztásakor kapunk nagyobb hányadost, vagyis az az oltóanyag lesz szakmailag hatékonyabb. A példában szereplő értékeket alapul véve a „B” jelű hab teljesített jobban ( $W=0,45/0,35=1,29$ ), a hatékonysága az „A” jelű habhoz képest 1,29 szerez, vagyis 29 %-kal magasabb a légi tűzoltás (kibocsátás, vagy kijuttatás) szakmai hatékonysága.

Az oltóanyag helyszínre juttatásának költségeit jellemző indexek felépítésének logikája a 3.2 ábrán látható.



3.2 ábra. A légi tűzoltás szakmai hatékonyságát jellemző indexek egymásra épülésének logikája. Forrás: szerző

## 3.7 Minősítő indexek - az oltóanyagok és logisztikájának minősítő indexei

A korábbiakban felvázolásra került mind az oltóanyagok, mind a légi eszközök alkalmazásának szakmai szempontú hatékonysága. Az oltóanyagok hatékonyságának komplex értékelésének egy módja a szerző által alkotott ún. minősítő indexek alkalmazásával történhet.

### 3.7.1 Abszolút index

A minősítés abszolút indexe ( $M_x$ ) az oltóanyagok és a légi eszközök szakmai hatékonyságát meghatározó abszolút indexek szorzatából adódik. Ezek a következőképp határozhatók meg:

$$M_W = C_W Y_W \quad (26)$$

$$M_A = C_A Y_A \quad (27)$$

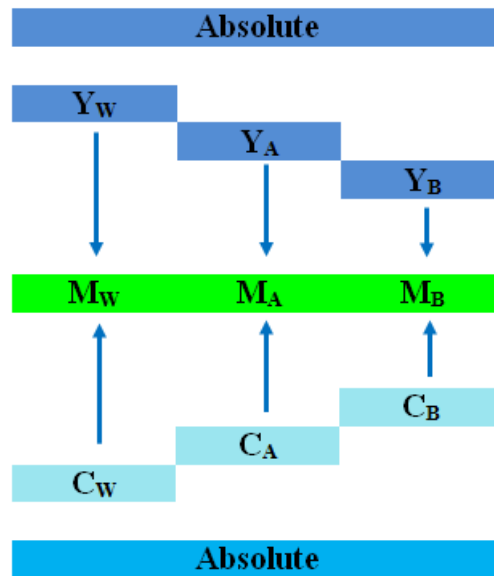
$$M_B = C_B Y_B \quad (28)$$

A fentiek összefoglalva az 5. táblázatban tekinthetők meg. A táblázat tartalmazza a példában szereplő adatokból számított értékeket is.

5. Táblázat — A minősítés sztenderd indexei (példa értékekkel)

	$M_W$	$M_A$	$M_B$
<b>Water</b>	$C_W Y_W$ (0,38)		
<b>Foam A</b>		$C_A Y_A$ (0,175)	
<b>Foam B</b>			$C_B Y_B$ (0,27)

A minősítő indexek felépítésének logikáját a 3. ábra szemlélteti, ahol látható, hogy az oltóanyagok és az azokhoz tartozó logisztikai szükséglet, vagyis a légi tűzoltás szakmai indexeinek összevetésével kaphatók meg a minősítő, azaz a közgazdasági hatékonyság irányába mutató indexek.



3.3 ábra. A minősítés abszolút indexeinek logikája. Forrás: szerző

A fenti adatokkal különböző műveleteket tehetünk, amelyek eredményeként olyan egyenlőtlenségeket kapunk, amelyek megmutatják a hatékonyság küszöbértékeit. Ezek a 6 – 8 táblázatba foglalva láthatók, illetve segítik a megértést.

A 6. táblázat adataiból elméletileg az alábbi következtetések vonhatók le a víz és az „A” jelű oltóhabbal kapcsolatban:

- A víz közgazdasági szempontú előnye mindaddig megmarad, amíg változatlan egyéb feltételek mellett a  $C_W > 0,184$ , vagy  $Y_W > 0,438$ .
- Az „A” hab alkalmazása akkor válhat közgazdasági szempontból előnyösebbé, ha a  $C_A > 1,15$ , vagy  $Y_A > 0,76$ .

A fentiek elméleti megközelítésűek, pl. a  $C_A$  értéke nem haladhatja meg az 1 értéket, hiszen az már a tűz eloltását jelenti. Ebből is látható, hogy a fentiek lényege nem is a szélső értékek meghatározásában rejlik, hanem sokkal inkább abban, hogy az adott oltóanyag hatékonyságának növelését milyen irányból – az oltóanyag oltási képességének növelésével, vagy a kijuttatás módjának (az ahhoz rendelt költségek) megváltoztatásával – célszerű megközelíteni, vagyis lehet előnyösebben elérni. A gyakorlatban valószínű, hogy mindkét

tényező kisebb mértékű együttes javítása könnyebben elérhető, mint egyetlen tényezőnek a nagyobb arányú megváltoztatása, még akkor is, ha matematikailag az eredmény ugyan az.

6. Táblázat — Az „A” hab hatékonyságának feltételrendszere (példa értékekkel)

$C_W > \frac{C_A Y_A}{Y_W}$	$C_W > 0,184$		$C_A > 1,15$	$C_A > \frac{C_W Y_W}{Y_A}$
	$C_W = 0,4$		$C_A = 0,5$	
$C_W Y_W > C_A Y_A$	$M_W = 0,38$	$>$	$M_A = 0,175$	$C_W Y_W > C_A Y_A$
	$Y_W = 0,95$		$Y_A = 0,33$	
$Y_W > \frac{C_A Y_A}{C_W}$	$Y_W > 0,438$		$Y_A > 0,76$	$Y_A > \frac{C_W Y_W}{C_A}$

A fentiek a másik oltóanyag szempontjából is elvégezhetők. Így a 7. táblázat adataiból elméletileg az alábbi következtetések vonhatók le a víz és a „B” jelű oltóhabbal kapcsolatban:

- A víz közgazdasági szempontú előnye mindaddig megmarad, amíg változatlan egyéb feltételek mellett a  $C_W > 0,284$ , vagy  $Y_W > 0,675$ .
- A „B” hab alkalmazása akkor válhat közgazdasági szempontból előnyösebbé, ha a  $C_B > 0,884$ , vagy  $Y_B > 0,63$ .

A fentiekre is érvényesek a korábban tett megállapítások, vagyis a hab hatékonyságának két irányból történő növelése egyszerűbb, vagy előnyösebb lehet, mint egyetlen tényezőn való jelentős javítás.

7. Táblázat — A „B” hab hatékonyságának feltételrendszere (példa értékekkel)

$C_W > \frac{C_B Y_B}{Y_W}$	$C_W > 0,284$		$C_B > 0,884$	$C_B > \frac{C_W Y_W}{Y_B}$
	$C_W = 0,4$		$C_B = 0,6$	
$C_W Y_W > C_B Y_B$	$M_W = 0,38$	$>$	$M_B = 0,27$	$C_W Y_W > C_B Y_B$
	$Y_W = 0,95$		$Y_B = 0,43$	
$Y_W > \frac{C_B Y_B}{C_W}$	$Y_W > 0,675$		$Y_B > 0,63$	$Y_B > \frac{C_W Y_W}{C_B}$

8. Táblázat — Az „A” és „B” hab hatékonysága egymáshoz viszonyítva

$C_B > \frac{C_A Y_A}{Y_B}$	$C_B > 0,41$		$C_A > 0,82$	$C_A > \frac{C_B Y_B}{Y_A}$
	$C_B = 0,6$		$C_A = 0,5$	
$C_B Y_B > C_A Y_A$	$M_B = 0,27$	$>$	$M_A = 0,175$	$C_B Y_B > C_A Y_A$
	$Y_B = 0,43$		$Y_A = 0,33$	
$Y_B > \frac{C_A Y_A}{C_B}$	$Y_B > 0,29$		$Y_A > 0,54$	$Y_A > \frac{C_B Y_B}{C_A}$

A fentiek alapján logikus, hogy a vízhez történő hasonlítás helyett a habok egymáshoz történő vizsgálata is elvégezhető. Ezek alapján a 8. táblázatban szereplő értékeket kapjuk. A fenti adatokból elméletileg az alábbi következtetések vonhatók le az „A” és a „B” jelű oltóhabok egymáshoz való viszonyában:

- A „B” jelű oltóhab közgazdasági szempontú előnye mindaddig megmarad, amíg változatlan egyéb feltételek mellett a  $C_B > 0,41$ , vagy  $Y_B > 0,29$ .
- Az „A” jelű hab alkalmazása akkor válhat közgazdasági szempontból előnyösebbé, ha a  $C_A > 0,82$ , vagy  $Y_B > 0,54$ .

Logikus, hogy itt is érvényesek a korábban tett megállapítások, vagyis a kedvezőtlenebb tulajdonságok korrigálása két irányból egyszerűbb, vagy előnyösebb lehet, mint egyetlen tényezőn való jelentős javítás.

### 3.7.2 Sztenderd index

A sztenderd minősítő indexek ( $H_x$ ) hasonlóan az előbbiekhöz, az oltóanyag és a légi tűzoltás szakmai indexeiből szorzással alkothatók.

$$H_A = Z_A U_A \quad (28)$$

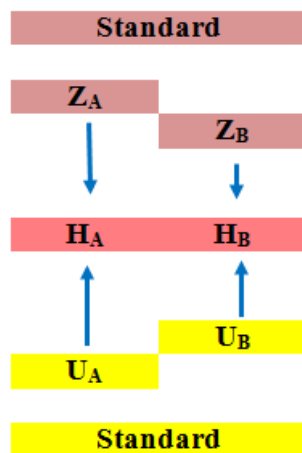
$$H_B = Z_B U_B \quad (29)$$

A fentiek összefoglalva az 9. táblázatban tekinthetők meg. A táblázat tartalmazza a példában szereplő adatokból számított értékeket is.

9. Táblázat — A minősítés sztenderd indexei (példa értékekkel)

	$H_A$	$H_B$
<b>Foam A</b>	$Z_A U_A$ (0,438)	
<b>Foam B</b>		$Z_B U_B$ (0,675)

A minősítő sztenderd indexek felépítésének logikáját a 3.4 ábra szemlélteti, ahol látható, hogy az oltóanyagok és az azokhoz tartozó logisztikai szükséglet, vagyis a légi tűzoltás szakmai indexeinek összevetésével kaphatók meg a minősítő, azaz a közgazdasági hatékonyság irányába mutató indexek.



3.4 ábra. A minősítés sztenderd indexeinek logikája. Forrás: szerző

A fenti adatokkal szintén végezhetünk különböző műveleteket, amelyek eredményeként itt is a hatékonyság küszöbértékeit kapjuk. Ezek logikája a 10 – 11 táblázatba foglalva láthatók.

$$Z_A U_A = Z_B U_B \quad (30)$$

$$H_A = Z_A U_A \quad (31)$$

$$H_B = Z_B U_B \quad (32)$$

$$Z_A U_A < Z_B U_B \quad (33)$$

10. Táblázat — A hatékonyság küszöbértékei a minősítés sztenderd indexeivel

$Z_A < \frac{Z_B U_B}{U_A}$	$Z_A < 1,93$		$Z_B > 0,97$	$Z_B > \frac{Z_A U_A}{U_B}$
	$Z_A = 1,25$		$Z_B = 1,5$	
$H_A = Z_A U_A$	$H_A = 0,438$	$<$	$H_B = 0,675$	$H_B = Z_B U_B$
	$U_A = 0,35$		$U_B = 0,45$	
$U_A < \frac{Z_B U_B}{Z_A}$	$U_A < 0,54$		$U_B > 0,29$	$U_B > \frac{Z_A U_A}{Z_B}$

A fenti adatokból elméletileg az alábbi következtetések vonhatók le az „A” és a „B” jelű oltóhabok egymáshoz való viszonyában:

- A „B” jelű oltóhab közgazdasági szempontú előnye mindaddig megmarad, amíg változatlan egyéb feltételek mellett a  $Z_B > 0,97$ , vagy  $U_B > 0,29$ .
- Az „A” jelű hab alkalmazása akkor válhat közgazdasági szempontból előnyösebbé, ha változatlan egyéb feltételek mellett  $Z_A > 1,93$ , vagy  $U_A > 0,54$ .

A korábbi logika alapján továbbra is érvényes, hogy a kedvezőtlenebb tulajdonságok korrigálása két irányból egyszerűbb, vagy előnyösebb lehet, mint egyetlen tényezőn való jelentős javítás.

### 3.7.3 Összehasonlító index

A minősítő összehasonlító indexet (B) kétféleképpen is megkaphatjuk. Egyrészt, az oltóanyag és a logisztikai szakmai hatékonyság összehasonlító indexeinek a szorzataként (34), másrészt, a két oltóanyaghoz tartozó sztenderd minősítő indexek hányadosaként (35). Mindkettő a már korábban bemutatott logikai sor folytatása.



$$B = GW \quad (34), \text{ valamint } B = \frac{H_A}{H_B} \quad (35)$$

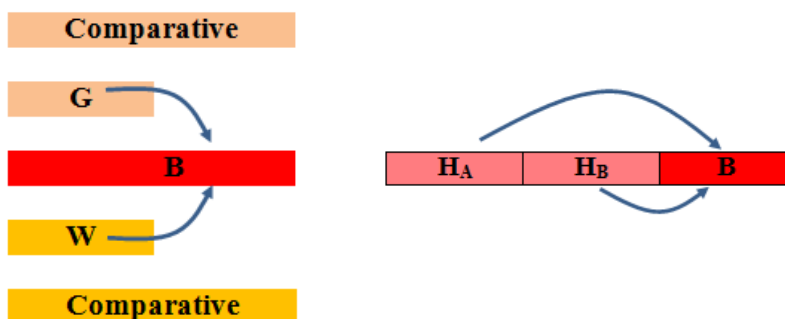
A két különböző matematikai műveletnek mindig ugyan azt az eredményt kell mutatnia. A kapott érték a két oltóanyag közötti közgazdasági szempontú hatékonyság különbségét mutatja, ami lehet 1-nél nagyobb, de akár kisebb is, attól függően, hogy arányosítás esetén (35) mely oltóanyagot választottuk osztónak, vagy osztandónak. A szorzásnál ennek természetesen nincs jelentősége (34). Az érték minél távolabb van az 1-től, annál nagyobb a közgazdasági szempontú hatékonyság közötti különbség. Amennyiben a kapott eredmény értéke 1, úgy a két megoldás – az oltóanyag és a hozzá tartozó légi tűzoltás – között közgazdasági szempontból az eltérő részeredmények közötti különbség ellenére sincs különbség.

Az, hogy a minősítő indexekkel végzett műveletnél melyik adatot (oltóanyag és a hozzá tartozó légi tűzoltás) vesszük osztónak és melyiket osztandónak, nem befolyásolja a helyes értékelést (35). Természetesen a nagyobb érték osztásakor kapunk nagyobb hányadost, vagyis az az oltóanyag lesz szakmailag hatékonyabb. A példában szereplő értékeket alapul véve a teszt során a „B” jelű hab teljesített jobban ( $B=0,68/0,44=1,54$ ), a közgazdasági hatékonysága az „A” jelű habhoz képest 1,54 szerez, vagyis 54 %-kal magasabb a közgazdasági hatékonysága. Látható, hogy ugyanezt az értéket kapjuk szorzás esetén is ( $B=1,2 \times 1,29=1,54$ ).

11. Táblázat — Az összehasonlító minősítő indexek (a példa értékeivel)

	B	
<b>From standard qualifying indexes</b>	$\frac{H_A}{H_B}$ (1,54)	
<b>From comparative indexes</b>		$GW$ (1,54)

Az összehasonlító minősítő indexek felépítésének kétféle logikáját a 3.5. ábra szemlélteti, ahol látható, hogy egyrészt, vagy az oltóanyagok és az azokhoz tartozó logisztikai szükséglet (légi tűzoltás) szakmai indexeinek hányadosaként, vagy a kétféle oltóanyag sztenderd minősítő indexeinek szorzataként kaphatók meg a minősítő, azaz a közgazdasági hatékonyságot mutató indexek.

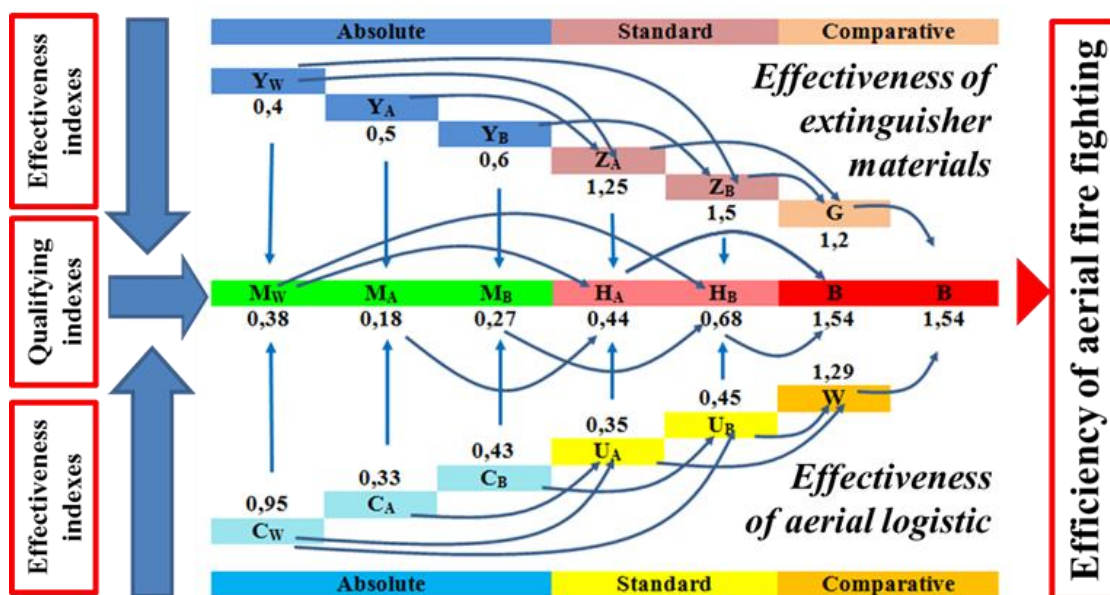


3.5 ábra. A minősítés összehasonlító indexeinek kétféle megoldásának logikája.

Forrás: szerző

### 3.8 Összegzés

A tézisemben az oltóanyagok valamint a légi oltóeszközök költségeinek és hatékonyságának együttes elemzését végeztem el, illetve mutattam be. Az indexek megalkotása és a velük való számolás akár matematikai játéknak is tekinthető. Jól látható, hogy az egyik eredmény hogyan generálja a másikat, és az is, hogy a viszonyítás alapjainak meghagyásával az újabb aránypárok nem feltétlenül újabb eredményeket, hanem sokkal inkább az eredmények másfajta megközelítését adják. Az indexek felépítésének logikáját, tézisem lényegét a 3.6 ábrán grafikusán is összegeztem.



3.6 ábra. Az indexek egymásra épülésének logikája. Forrás: szerző

A fentiek ellenére az indexek megalkotása nem öncélú. **Tézisem azt mutatta be, hogy az oltóanyagok oltási képességét és a kijuttatásukhoz rendelt költségeket egyben is lehet elemezni, illetve, hogy a külön – külön végzett hatékonyság vizsgálatok nem feltétlenül vezetnek helyes következtetésre.** A szerző szemléletmódja alapján – még ha nehezen is, de – van rá lehetőség, hogy az erdőtűz oltásának hatékonyságát az oltóanyag gyártójának, forgalmazójának, valamint a légi tűzoltást szolgáltatóknak a marketing fogásain túl is elemezni és értékelni legyünk képesek még akkor is, ha a cikkben foglaltak nem elégítik ki maradéktalanul valamennyi szempont figyelembe vételét.

Tézisemben iránymutatást adtam arra vonatkozóan, hogy egyes esetekben az oltóanyagok hatékonyságát hogyan, milyen irányú fejlesztéssel lehetne előnyösebbé tenni, illetve, hogy egyes esetekben milyen tényező korlátozza a hatékonyság növelésének lehetőségét.

A tézisben látható levezetések a befolyásoló tényezők számának változásával természetes módon módosulnak. Lehetőség van rá, hogy a különböző oltóanyagokhoz különböző kijuttató eszközöket rendeljünk, vagy akár növeljük az összehasonlítani kívánt oltóanyagok számát. Az eredményeket a fenti formulák bővítésével, vagy a meglévők eredményeinek interpolálásával megkaphatjuk.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Determining Material Ignition and Flame Spread properties; E1321-1997(02).
- [2] Underwriters Laboratories Inc. Project Reports to USDA Forest Service; 98NK32277, 99NK35219, 01NK12843, 03NK13445, 04NK16188, and 06CA42655.
- [3] Batista, A.C.: Combustion characteristics tests of *Magnolia grandiflora* and *Michelia champaca* for potential use in fuelbreaks in south region of Brazil, Wildfire 2011 Conference, Sun City, South Africa, 2011.05.9-13.
- [4] Fiorucci, P. a): PROPAGATOR: A Rapid and Effective Tool for Active Fire Risk Assessment, Wildfire 2011 Conference, Sun City, South Africa, 2011.05.9-13.
- [5] Fiorucci, P. b): RISICO: A Decision Support System (DSS) for Dynamic Wildfire Risk Evaluation in Italy, Wildfire 2011 Conference, Sun City, South Africa, 2011.05.9-13.
- [6] Morris C.J.: A simulation study of fuel treatment effects in dry forests of the western United States: testing the principles of a fire-safe forest, Wildfire 2011 Conference, Sun City, South Africa, 2011.05.9-13.

## 4 A TÉZISEK RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA

Téziseim az erdőtüzek hatékonyabb oltási lehetőségeinek vizsgálatára vonatkoznak.

Első tézisemben az UAV erdőtüzeknél történő alkalmazási lehetőségének strukturális felosztását mutattam be, illetve vizsgáltam egyes elemeit. Ehhez elsősorban a saját gyakorlati tapasztalataimra támaszkodtam, amelyeket rendszerbe foglalva, a tűzoltás folyamatához illesztve tártam fel a légi felderítés eltérő tűzoltás-taktikai sajátosságait.

Ennek során határozottan megkülönböztetem **a tűzjelzést megelőző**, a tűz mielőbbi észlelését, detektálását célzó aktív észlelést; **a tűzoltás megkezdése előtti**, a hatékony beavatkozást információkkal segítő felderítést; **a tűzoltás folyamata során**, a tűz alakulásának állandó nyomon követését, monitorozását; valamint a tűz támadó jellegű oltását követő **utómunkálatok közbeni**, a parázsló részek utáni kutatást, a visszagyulladás megelőzését szolgáló információszerzést. A fentiek **kiegészítéseként rámutattam az aktív megelőzés lehetőségére**, az ellenőrzött tüzek gyújtásának UAV-vel történő megvalósíthatóságára és alkalmazásának előnyeire.

Elemzéseim során, egyes jellemző esetekben **nem csak tűzoltó-taktikai, de gazdaságossági szempontokra** is rámutattam.

**Második tézisemben a jelenlegi oltóanyagok vizsgálata után megfogalmaztam a hab hatékony oltásával szemben támasztott alapvető követelményeket**, amelyek a következők:

1. A felületre juttatott oltóanyag habkiadóssága olyan legyen, hogy az képes legyen a lombkoronán megfelelő minőségben át-, ill. lecsorogni, de kellő takarást is biztosítani a lombkorona teljes keresztmetszetében.
2. Az egységnyi felületre kijuttatott mennyiség oltóhatása elegendő legyen a tűz továbbterjedésének megakadályozásához.
3. Az oltóanyag eredeti védőképessége (oldatkiválás) sokáig megmaradjon, illetve az csak lassan csökkenjen.

Ezek után további vizsgálatokat követve **tézisként megfogalmaztam, hogy az alkalmazók elvi hibát követnek el akkor, amikor a hab, mint oltóanyag többlet költségét a vízéhez hasonlítják. Az elvi hiba lényege abban áll, hogy nem az oltóanyagok költségeit kell összehasonlítani, de még csak nem is a technológiai eszközökét, hanem a különböző oltási módszerek teljes költségeit.**

**Saját vizsgálati eredményeimre alapozva tézisként megállapítottam, hogy egy új technológia alkalmazásával a víz korlátozott oltási képessége többszörösére növelhető:**

1. Az R-20F vizsgálati módszer eredményei alapján megállapítható, hogy - a habkiadósságtól és a habtakaró vastagságától függően - a hab a saját tömegének megfelelő hőelvonó képességen felül a szigetelőhatásnak köszönhetően további oltóhatással rendelkezik. Ez az érték átlagosan legalább kettő ( $YH_k=2$ ).
2. Az R-10A mérési módszer alapján, a növényzet felületén megmaradni képes hab tömege a maximálisan megmaradó víz tömegéhez képest legalább háromszoros ( $R=3$ ).
3. A fentiek alapján az új technológiával előállítható hab összetett hatékonysága egységnyi felületre vonatkoztatva vízegyenértékre számítva 6 szorosára növelhető.

Az új technológia előnyét a ma hatékonynak tartott retardáns oltóanyagokkal is összehasonlítottam. Ez alapján **tézisként megfogalmaztam, hogy a retardánsok hatékonysága jelentősen nagyobb a víztől, és bár olyan tartományokba is kitolódik, ahol az új technológiát is alkalmazni lehetséges, mindez gazdaságossági szempontból nem jelent előnyt az általam javasolt új megoldással szemben.**

A harmadik tézisemben az oltóanyagok valamint a légi oltóeszközök költségeinek és hatékonyságának együttes elemzését végeztem el, illetve mutattam be annak egy újszerű módját. Különböző indexeket alkottam, amiket logikailag egymásra építettem; ezekből mátrix képezhető. Az indexek megalkotása és a velük való számolás bár matematikai játéknak is tekinthető, ennek ellenére az nem öncélú. **Tézisemben bemutattam, hogy az oltóanyagok oltási képességét és a kijuttatásukhoz rendelt költségeket egyben is lehet elemezni, illetve, hogy a külön – külön végzett hatékonyság vizsgálatok nem feltétlenül vezetnek helyes következtetésre.** Ennek alapján van rá lehetőség, hogy az erdőtüz oltásának hatékonyságát az eddigieknél mélyebben legyünk képesek elemezni és értékelni.