

5. fejezet

Az erdőtüzek intenzitásának változása a globális klímaváltozás hatására

Restás Ágoston¹

5.1. Bevezetés

Magyarország területét nem egyenletes eloszlással borítja erdőség. A statisztikai adatok alapján az erdősült terület nagysága ma már megközelíti a 2 millió hektárt, ami az ország területének több mint 20%-át jelenti. A területek több mint 56%-a állami, valamivel több, mint 1%-a közösségi tulajdon, míg a magánerdők részaránya 43% körüli. (OEE é. n.) A kormányzati célkitűzések között további programok, tervek találhatók, amelyek alapján a jövőben 25%-ra növelhető az erdősített területek aránya. Az erdősült területek döntő hányada a 400 métert nem meghaladó tengerszint fölötti magasságokon helyezkedik el. Hazánk meteorológiai viszonyait tekintve azonban megállapítható, hogy a 400 m alatti területek csapadékmennyisége nem éri el az erdők eltartásához szükséges minimum évi 600 mm mennyiséget. Így ezeket a területeket úgy is vehetjük, hogy nem természetesen erdősült tájak. (GELETA 2003)

Számítások alapján az élőfakészlet mintegy 382 millió m³-re tehető, az évi folyónövedék 15 millió m³ fölötti. Évente országos szinten a vágás és erdősítés 100 ezer hektár fölötti területet érint. (KSH 2017) A Magyar Tudományos Akadémiának Magyarország agroökológiai potenciáljáról készített felmérése az erdőtelepítés kiterjesztésének lehetőségét tárja fel. A felmérés indokoltnak tartja 700 ezer hektár új erdő telepítését, amelynek 2050-ig történő megvalósulása esetén az ország elérné az optimálishoz közeli 26,2%-os erdősültséget.

A globális éghajlatváltozás az időjárás szélsőségeinek egyre gyakoribbá válásával a száraz időszakokra jellemző erdőtüzek számának és pusztító hatásának növekedését okozhatja. (PADÁNYI–FÖLDI 2016) A médián keresztül nap mint nap látható, hogy a tűz pusztító hatása elleni védekezés nemcsak hazánkban, de nemzetközi szinten is egyre súlyosabb és megoldásra váró probléma. (TEKNŐS 2017) A vegetációtüzek, de különösen az erdőtűz elleni küzdelem fontossága miatt célszerű áttekinteni, hogy az éghajlatváltozás milyen hatással lehet a tüzek kialakulásának gyakoriságára és intenzitásának változására. Az éghajlatváltozás az erdőtüzet befolyásoló jellemzőkre alapvetően háromféleképpen hathat:

- az erdőtűz keletkezésének kockázatát és égési intenzitásának nagyságát csökkenti;
- az erdőtűz keletkezésének kockázatára és égési intenzitására nincs hatással;
- az erdőtűz keletkezésének kockázatát és égési intenzitásának nagyságát növeli.

¹ ORCID: 0000-0003-4886-0117, restas.agoston@uni-nke.hu

A klímakutatók a hazai viszonyokra egyértelműen melegeledést jósoltak már évtizedekkel ezelőtt is (például MIKA 1988; GELETA 2003), de a kötet korábbi fejezetei is sorra ezt erősítik, ami alapján alapvetően azt feltételezhetjük, hogy mind az erdőtűz keletkezésének kockázata, mind annak intenzitása nőni fog. Az erdőtűzek intenzitása esetén elsősorban magára a tűzre gondolunk, arra, hogy egységnyi idő alatt mekkora mennyiségű éghető anyag ég el, és az milyen nagyságú energiafelszabadulással jár a tűz frontvonalában. A nemzetközi tűzoltó gyakorlat azonban átvitt értelemben a tűzek gyakoriságára, az úgynevezett tűzfrekvenciára is asszociál. Így, amennyiben egy adott területre koncentrálunk, a tűzek intenzitását részben értelmezhetjük azok keletkezési gyakoriságával is, vagyis hogy az adott területen keletkezett biomassza milyen időközönként semmisül meg a tűz által. Ezt tűzfrekvenciaként is magyarázhatjuk, ami által egy hosszabb időszakot és nagyobb területi egységet tekintve úgynevezett „tűztörténetet” (*fire history*) kapunk. (GOLDAMMER–PAGE 2000)

A gyakorlatban azt tapasztaljuk, hogy a tűz keletkezési okának kockázata és a vegetációtűz intenzitásának nagysága korrelál egymással. Példaként a viszonylag gyakran előforduló úgynevezett szabadtéri tűzek gyújtását lehet felhozni. Nedves, nyirkos időben ritkán gyújtunk a szabadban tüzet, viszont egy esetlegesen kialakuló vegetációtűznek ilyenkor az intenzitása is alacsonyabb lesz, sőt szélső esetben az nem is gyullad meg. Száraz időben azonban, amikor a vegetációtűz intenzitása nagy lehet, a tapasztalatok alapján a szabadterén gyújtott tűzek száma is megnő. Mivel a legtöbb esetben az erdőtűzek oka éppen a szabadterén figyelmetlenségből gyújtott vagy gondatlanságból magára hagyott tűz, ezért könnyen belátható, hogy a kettő között szoros korreláció van. Az éghajlatváltozás okozta hatások pontosabb megértése céljából tehát érdemes nemcsak a tűz égési intenzitását befolyásoló tényezőket, de a tűz keletkezési okait is számba venni és megvizsgálni.

5.2. Az erdőtűzek keletkezését és égési intenzitását befolyásoló tényezők

Az erdőtűzek keletkezését, valamint a tűzek terjedését, következményeit számos tényező befolyásolja. Ezeket a korszerű szakirodalom az erdő szempontjából úgynevezett biotikus (élő), abiotikus (élettelen) és gazdálkodási tényezők csoportjába sorolja. (BÁNYAI et al. 2004; NAGY 2007) A továbbiakban elsősorban az abiotikus tényezők befolyásoló hatását elemezzük.

5.2.1. Az emberi közreműködés hatása

Az abiotikus tényezők csoportjában a tűzkeletkezési okok között az emberi közreműködés, a gondatlanság és a szándékosság a legjelentősebb. A hazai és a nemzetközi adatok egybehangzóan az emberi közreműködést jelölik meg a leggyakrabban előforduló tűzkeletkezési okként, amelyet a szakma Magyarországon 95% fölöttiként értékel. (NAGY 2004)

Hazánk területén felmelegeledést prognosztizálva alapvetően két lehetőséget kell megvizsgálnunk. Az első esetben – mivel a magasabb átlaghőmérséklet logikailag hosszabb olyan időszakokat jelent, ahol a szabadtéri tűzgyújtás feltételei is adóttak – az emberi közreműködés lehetőségét (gondatlanság, szándékosság) potenciálisan hosszabb időszakokra

kell értelmeznünk, mint korábban. A hosszabb ideig fennálló tűzkeletkezési lehetőség pedig – az átlaghőmérséklet növekedése nélkül is – már önmagában is magasabb kockázati tényezőt jelent.

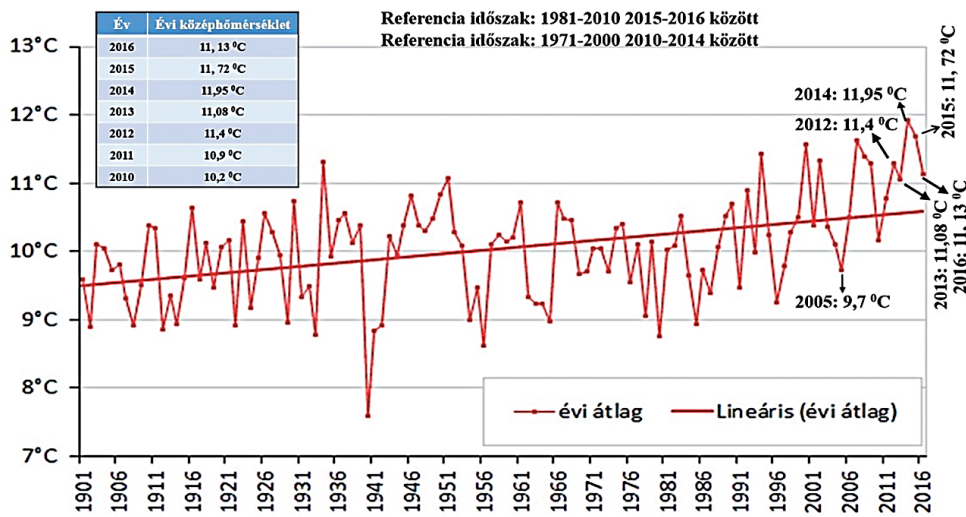
A második esetben, az esetlegesen megváltozó emberi viselkedésformákat kell áttekinteni. Az emberi tényező éghajlatváltozás okozta magasabb kockázatát szervezeti, társadalmi szinten lehet, és kell is kezelni. Erre különböző, úgynevezett korai előre jelző rendszerek (*early warning systems*) adatait lehet felhasználni. Amennyiben a tűzveszély kockázata egy meghatározott küszöbértéket elér, vagy az elfogadhatónál az magasabb, úgy az előre kidolgozott jogi eszközöket (például tűzgyújtási tilalom elrendelését), figyelemfelhívó kampányokat, tájékoztatókat protokollszerűen indítani lehet. Így a társadalom még időben és kellő érzékenységgel tud „reagálni” a magasabb tűzkockázatra, vagyis szabadtéri tűzrakás esetén gondosabban jár el, vagy igyekszik teljesen elkerülni azt. A korai előre jelző rendszerek, így például a tűzkockázatokat mutató úgynevezett tűzveszélyességi indexek döntően meteorológiai adatokkal számolnak, így azok könnyen és előre prognosztizálva folyamatosan elkészíthetők.

A hanyagságból vagy végtelenül okozott tűzkeletkezés lehetősége mellett figyelembe kell vennünk a szándékosság lehetőségét is. Az éghajlatváltozás szándékos tűzokozásra való hatásának megítélése biztosan nagyon nehéz, azt csak kriminalisztikai vizsgálatokkal együtt lehetne elvégezni. Az ezzel kapcsolatos nemzetközi tapasztalatokat azonban hiba lenne nem áttekinteni, vagy felhívni rá a figyelmet mint lehetséges kockázati tényezőre. A mediterrán országokban tapasztaltak alapján előfordult, hogy a gazdálkodók a megváltozott környezeti viszonyokra úgy reagáltak, hogy a gazdálkodásuk jellemzőin is változtattak. (LEONE–LOVREGGIO 2003) Mivel a leégett területek újrahasznosításakor nem minden országban kötelező ismételt erdőt telepíteni, a gazdálkodók az erdő helyett a gyorsabb és magasabb megtérüléssel kecsegtető haszonnövények (például olívaültetvények) telepítésének irányába mozdultak el. Ha az adott területen lévő erdő „egészségi állapota” vagy a folyónövedék az éghajlatváltozás hatására érezhetően csökken, úgy a gazdálkodó számára logikus, hogy a gazdálkodás jellegén úgy változtasson, hogy a magasabb hasznot hozó gazdálkodás lehetőségeit keresse, illetve részesítse előnyben. A fenti célok érdekében tett szándékosság egyértelműen a bűncselekmények kategóriájába tartozik, aminek a megelőzéséhez szigorú jogi eszközöket kell igénybe venni, így ellene a területhasznosítási engedélyek megfelelő keretek közé szorításával és az erdőterületek csökkentésére irányuló kiskapuk bezárásával lehet, illetve célszerű küzdeni.

5.2.2. A hőmérséklet hatása és a várható változások

A hőmérséklet az anyagok azon fizikai jellemzője, amelyet az ember elsősorban tapintás útján érzlel és hőérzetként azonosít. Erdőtüzek szempontjából ez a keletkezést befolyásoló egyik legfontosabb éghajlati elem. A korábbi fejezetek részletesen elemezték az éghajla változás Magyarországot érintő hatásait, külön kiemelve mind a hőmérsékleti átlagértékek változását, mind az extremitásokat, így ennek ismételt tárgyalása szükségtelen. Erdőtüzek szempontjából azonban különösen is jelentős szerepe van az átlaghőmérsékletek változásának és az abból következő hatásoknak, mivel ezek a különböző modellekben nem egyszerűen összeadódnak, hanem sokkal inkább szorzatként viselkedve szinte exponenciálisan gerjesztik egymást.

A magyarországi adatokat tekintve látható, hogy tendenciáját illetően hőmérséklet-emelkedéssel számolhatunk, ami egyértelműen az erdőtüzek keletkezésének és terjedési feltételeinek kedvezőbbé válását eredményezi (5.1. ábra).



5.1. ábra

Az országos évi középhőmérsékletek 1901 és 2016 között, homogenizált, interpolált adatok alapján

Forrás: OMSZ é. n.

Az éghajlatváltozás modellezése alapján Magyarországon már 0,5 fokos globális melegedés is több mint 50%-kal növelheti az erdőtüzek gyakoriságát. (MIKA 1988) Nagyobb átlagos felmelegedés még magasabb erdőtűz-gyakoriságot okozhat. Számítások szerint 4 fokos melegedés esetén az erdőtüzek gyakoriságának akár 200–300%-os növekedése sem zárható ki. (BUSSAY–SZINELL–SZENTIMREI 1999) A modellek eredményeit is figyelembe véve a továbbiakban különböző tényezők változásának logikai összefüggéseit vizsgáljuk.

5.2.3. A légköri kisülések, villámlások hatásai mint lehetséges gyújtóforrások

A villámlás nem más, mint két pont közötti folyamatos áramfolyam, amely a kisülések, vagyis a becsapódások helyein óriási energiadiszperzióval jár. A felszabaduló energia éghető anyag jelenlétekor gyújtóforrást jelenthet, így számos esetben erdőtűzet is okozhat. A meggyulladás az áramfolyam időtartamától és erősségétől, valamint az éghető anyag jellemzőitől függ. A hosszú és közepesen hosszú tülevek esetén például a meggyulladás azok nedvességtartalmától függ, míg az apró tülevek esetén már inkább a gyantatartalom számít. A meggyulladás után a tűz terjedése a tapasztalatok alapján döntően már az éghető anyag nedvességtartalmától függ.

A villámok erdőtüzekre gyakorolt potenciális gyújtóhatását tapasztalati mérések alapján határozták meg. (THE CLIMATE REALITY PROJECT 2017) Amennyiben egy 1 km²-es

területre vonatkozóan már tíz vagy annál kevesebb kisülés is meggyulladást eredményez, úgy a gyújtási potenciált magasnak tekintjük. Amennyiben a meggyulladáshoz már öt vagy akár kevesebb villámcsapás is elegendő, úgy nagyon magas gyújtási potenciálról beszélünk. Vagyis ha a tűzgyulladás kockázata magas, akkor körülbelül kilenc kisülés eredményez egy gyújtást; ha a kockázat extrém magas, körülbelül öt vagy annál kevesebb kisülés okoz egy meggyulladást. A kutatások arra is rámutattak, hogy különbség fedezhető fel a felhőkből (pozitív kisülés), illetve a felszínről (negatív kisülés) induló kisülések gyújtó hatása között, kb. 80%-os aránnyal az előbbi javára. (LATHAM–SCHLEITER 1989)

A fentiekkel összefüggésben meghatározták a villámlási tevékenység szintjeit is (lighting activity levels – LAL). Ez a megfigyelés központja körüli 50 km-es körzetben méri a felhőből induló, de a talajba csapódó (felhő–föld típusú) villámlások gyakoriságát, és ennek alapján 1-től 6-ig terjedő skálán kategorizálja a villámtevékenység szintjeit:

- LAL 1: Nem figyelhető meg zivatar vagy annak kialakulására utaló felhő.
- LAL 2: Egyetlen kialakult vagy kevés kialakulóban lévő felhő észlelhető, amelyeknél legfeljebb csak alkalmasszerűen figyelhető meg a zivataraakra jellemző aktivitás. A zivatarkok vagy villámok észlelése nem szükségszerű, annak csak a lehetősége áll fenn, de legalább egy nagy kumuluszfelhőnek már jelen kell lennie.
- LAL 3: Alkalmasszerűen bekövetkező villámcsapás észlelése (átlagosan 1–2 felhő–föld típusú villámcsapás következik be percenként). A kumuluszfelhők kialakulása már gyakori; a zivatarkok az adott területen már szétszórva megfigyelhetők.
- LAL 4: Gyakori villámlás. A villámlások ilyenkor elsősorban a felhő–felhő típusúak közé sorolhatók, de felhő–föld villámlás is megfigyelhető (átlagosan 2–3 felhő–föld típusú villámcsapás bekövetkezése percenként). A zivatarkok már gyakorivá válnak, és az égbolt láthatóságának 10–30%-át lefedik.
- LAL 5: Gyakori és intenzív villámlás. A felszíni villámcsapások száma eléri, illetve meghaladja a percenkénti hármát. A zivatarkok gyakoriak, néha elhomályosítják a teljes égboltot. A közepes vagy heves intenzitású eső általában megelőzi, de majdnem mindig biztos, hogy követi a villámcsapásokat. Mindenféle villámlás (felhő–felhő, felhő–föld, föld–felhő) jellemző és tartósan jelen van a vihar időszaka alatt.
- LAL 6: Száraz villámlás. Alacsony villámlási gyakoriság figyelhető meg (kevesebb, mint 1–3 felhő–föld típusú villámcsapás 5 perc alatt egy-egy viharcellában).

Szétszóródott felhők figyelhetők meg, néhány ezek közül zivatarjellegű lehet. Jellemző lehet, hogy a felhők alapjai viszonylag nagy magasságban helyezkednek el.

Az éghajlati elemek közül a villámlás mint tűzkeletkezési ok a nemzetközi becslések alapján a tüzek kb. 2%-ára vagy inkább kevesebbre tehető. (TAYLOR 1973) Egyes országokban azonban, ahol lakatlan területeken hatalmas erdőségeket találunk (például Norvégia, Kanada, Oroszország), ez az érték akár egy nagyságrenddel is magasabb lehet. (DAVIDENKO 2004) A magasabb arány oka ez utóbbiaknál azonban nem a gyakoribb légköri kisülések számából adódik, hanem abból, hogy az adott területek gyéren vagy egyáltalán nem lakottak, és ezáltal az emberi közreműködés részleges vagy teljes hiányával találkozunk. Víznyolag alacsony tűzkeletkezési gyakoriság mellett a keletkezési ok arányai tolódnak el.

A megfigyelések alapján az ezredforduló óta drasztikusan növekszik a villámcsapások száma és gyakorisága, amiért döntően az éghajlatváltozást okolják. Egyes előrejelzések szerint már a közeljövőben megduplázódhat a villámlások aránya. Csak az Egyesült

Államokban évente kb. 25 milliószor csap le valahol a villám. A számítások azt mutatják, hogy a globális felmelegedés minden egyes hozzáadott °C-a kb. 12%-kal növeli meg a villámlási átlagot. Ez pedig azt jelentheti, hogy 2 °C átlagos hőmérséklet-emelkedéssel számolva a következő évtizedek során a mostani, felszín érő kisülési ráta kb. 25%-kal megugrik. Magasabb helyi átlagos hőmérséklet-emelkedés esetén azonban a villámlások száma akár 50%-kal is magasabb lehet. (*The Climate Reality Project* 2017)

A villámlások – vagyis a lehetséges gyújtó források – számának növekedése tehát önmagában is magasabb tűzkeletkezési kockázatot jelent. Figyelembe kell venni azonban egyéb tényezőket is. Egyrészt a villámokat magukkal hordozó viharok az éghajlatváltozás miatt számos helyen hosszabb ideig tartó száraz időszakok után fognak kialakulni, emiatt a vegetáció nedvességtartalma a korábbiakhoz képest is alacsonyabb lesz; vagyis az könnyebben tud majd lángra lobbanni és intenzívebben fog égni. Másrészt figyelembe kell venni azt is, hogy a villámlást kísérő viharok többségében csapadékat is magukkal hoznak, így annak mennyiségétől függően az akár az esetlegesen kialakuló tüzek eloltásához vagy továbbterjedésének megakadályozásához is elegendő lehet. Ez utóbbi most is jellemző, vagyis számos esetben a meggyulladás az azt követő csapadék gyakorlatilag azonnal el is oltja. Mivel a villámlás okozta és a csapadék által eloltott tüzek arányának változását nem tudjuk megítélni, így azonos ütemű változást feltételezve arra jutunk, hogy a villámlások gyakoriságának növekedésével a keletkezett tüzek száma is nőni fog. Ezt erősítheti az a logikai következtetés is, hogy a globális hőmérséklet-emelkedés nemcsak gyakoribb villámlást, de hosszabb szárazabb időszakokat is jelent, így a becsapódások gyúlékonyabb és intenzívebben égő anyaggal találkozhatnak. Összességében tehát mind a tüzek gyakorisága, mind intenzitása növekedni fog.

5.2.4. A csapadék jelenlegi és várható jövőbeni hatásai

Az egyéb éghajlati elemek közül a tüzek terjedésében a csapadék, a levegő relatív nedvességtartalma és a légmozgás játszanak jelentős szerepet. Az éghajlatváltozás ezekre az elemekre nyilván külön – külön is jelentős hatással van. A közhiedelemmel ellentétben a bolygónk melegedése nem csökkenti a csapadék átlagos mennyiségét, hanem éppenséggel megnöveli azt. Ennek oka, hogy egyrészt, a bolygónk felszínének kétharmad részét víz borítja, tehát a párolgásra alkalmas felszín jóval nagyobb, mint az arra kevésbé alkalmasak (szárazföldek), másrészt pedig, a magasabb hőmérséklet ugyanazon felület vonatkozásában is nagyobb párolgási intenzitással jár. Összességében tehát a levegő nedvességtartalma a melegedés hatására átlagosan magasabb lesz, mint jelenleg vagy a korábbiakban volt.

A lehullott korábbi csapadékmennyiség mind az élő növényzet, mind a talajt takaró elhalt vegetáció nedvességtartalmára hatással van. A frissen lehullott, illetve hulló csapadék a vegetáció égésének alapvető feltételeit megszünteti. Sajnos a nemzetközi gyakorlatban számos példát találunk arra, hogy a kiterjedt erdő- vagy egyéb vegetációtűz esetén csupán a frissen hullott csapadék volt képes sikeresen eloltani (például Borneó, 2002; Kalifornia, 2003).

Az éghajlatváltozás azonban a csapadék kihullásának korábbi – ha úgy tetszik, emberi léptékkel számolva megszokott – időbeli eloszlását és intenzitását változtathatja meg: egyes területeken mind mennyiségében, mind intenzitásában növekedést tapasztalhatunk,

míg máshol éppen az ellenkezőjét. (JORDAAN 2012) Az eloszlásában és intenzitásában hektikussá váló csapadék azonban nem segíti elő sem az erdők egészségének megóvását, sem vízmegtartó képességének növelését. A korábbi csapadékeloszláshoz alkalmazkodott őshonos erdőterületek a hirtelen lezúduló csapadékot nem képesek tartalékolni még akkor sem, ha annak mennyisége esetleg több, mint amennyi a korábbiakban volt. Ennek oka, hogy a gyorsan lezúduló csapadék nem képes beszivárogni a talajba, a domboldalak felszínéről az lefolyik, inkább árvizeket, villámárvizeket okoz, mintsem elraktározódna a talajban, illetve a növényzetben. Sőt a hirtelen lezúduló csapadék a lejtősebb területeken akár fokozott eróziót is okozhat, ami tovább csökkentheti a talaj erdőmegtartó képességét. Összességében tehát a talajba kerülő csapadék mennyisége időszakonként a korábbiakhoz képest akár jelentősen is csökkenhet, ami által a növények nedvességtartalma is csökkenni fog.

A fentiek alapján egyértelmű, hogy a csapadék eloszlása jelentős hatással van az erdőtüzekre. A hosszabb szárazabb időszakok a növényzet nedvességtartalmát jelentősen lecsökkentik, így egyrészt az könnyebben meggyulladhat, másrészt pedig az égése sokkal intenzívebb lesz, terjedése gyorsabbá válhat. Ennek az az oka, hogy a növényzet éghetőségét és égését a saját tömegének a víz-szárazanyag tartalmának az aránya döntően befolyásolja. A növényzet szárazanyagtartalma többnyire nem, vagy csak lassan változik – pontosabban egy fa esetében például annak növekedésével az folyamatosan nő – viszont a nedvességtartalmának a változása ezekhez képest sokkal dinamikusabb. A fa folytonos növekedése során az időszakonként változó nedvességtartalomra is utalnak az évgyűrűk. A szárazabb években keskenyebb, míg a csapadékosabb években szélesebb évgyűrűk keletkeznek.

A nedvességtartalom égésre gyakorolt hatása a frissen kivágott fa és a száraz, légszáraz fa fűtőértéke közötti különbségből is jól látható. A frissen kivágott fa fűtőértéke kb. 50%-os nedvességtartalom mellett kb. $6,8 \text{ MJkg}^{-1}$, míg az úgynevezett légszáraz fánál ugyanez az érték kb. 15%-os nedvességtartalomnál $14,4\text{--}15,8 \text{ MJkg}^{-1}$. A fa szárazanyagtartalmának döntő többsége éghető összetevőkből áll (például cellulóz), aminek a sejtek közötti és a sejtekben lévő nedvességtartalmat is el kell tudni párologtatnia. A fentiek alapján látható, hogy a szárazabb fának kevesebb vizet kell elpárologtatnia, ami gyorsabb, intenzívebb égéshez, így magasabb égési hőmérséklethez is vezet. Meg kell jegyezni azonban, hogy az erdők égése során a nagyobb fatörzsek nem, vagy csak lassabban égnak el, mint ahogyan a tűz frontvonala halad, így az erdőtüz intenzitását nem a legnagyobb tömeget jelentő fatörzs égése határozza meg, hanem sokkal inkább a levelek és az apróbb ágak, valamint a földön lévő kiszáradt biomassza mennyisége és gyors ellobbanása. Az erdő egységnyi biomassza-tömegére vonatkoztatott égéshőt a gyakorlati tapasztalatok alapján az erdészeti és a tűzoltó szakma $18,5 \text{ MJkg}^{-1}$ értékűnek veszi. (NAGY 2004)

Az erdők égése után megfigyelhető, hogy a vastagabb faágak és a törzs is rendszerint megmarad, vagy az az intenzív égést követően ég el, de már sokkal lassabban. Ennek oka, hogy a frontvonalban az égési reakció olyan gyorsan zajlik le, a tűz terjedési sebessége olyan nagy, hogy a fa egyes részei – a vastagabb ágak és a fatörzs – nem tud benne csak részlegesen részt venni. Az, hogy az erdő biomasszatartalmának mekkora része ég el, több tényezőtől is függ, így például az égési hőmérséklettől, a biomassza mennyiségétől vagy a biomassza kiszáradtsági fokától. Egy füves terület – például a tavaszi időszakban – az égés során teljesen megsemmisülhet, többnyire nem marad utána szinte semmi. Úgy is vehetjük, hogy a biomassza 100%-a megsemmisült. Bozótos esetében viszont már azt tapasztaljuk, hogy a vastagabb részek megmaradnak, vagyis a megsemmisülés aránya tág

határok között mozogva, de bizonyosan alacsonyabb. A kezdeti biomassa mennyiségéhez képest bozótos esetén a megsemmisülés arányát 5–95%-osnak vesszük. A vágásérett erdő, a korábbi kitermelés után maradt rönkök és nagyobb fadarabok ritkán égnak el teljesen, a megsemmisülés tömegaránya itt már leesik 5–25%-ra.

A fentieknél természetesen figyelembe kell venni azt is, hogy annak ellenére, hogy a füves területek megsemmisülési aránya 100% körüli, az egységnyi felületre eső éghető anyag mennyisége jóval alacsonyabb, mint egy bozótos vagy kifejlett erdő esetében. Így egy vágásérett erdőterületen az alacsonyabb megsemmisülési arány ellenére is az égés során megsemmisülő biomassa mennyisége többszöröse lehet a füves vagy bozótos területeken lévőhöz képest. Megközelítő értéként, egy füves terület éghető biomassa-mennyisége 1–2 kg négyzetméterenként, míg egy erdő esetében ugyanez fafajtól függően 6–10 kg értékű.

A fentiek alapján tehát, az éghajlatváltozás okozta szárazságok a faállomány nedvességtartalmának csökkenéséhez vezethetnek. A nedvességtartalom csökkenése az eléghető részek arányának növekedését okozza, ami miatt magasabb tűzintenzitást és gyorsabb tűzterjedést várhatunk.

5.2.5. A páratartalom megváltozásának hatása

A páratartalom fogalma alatt érthetünk abszolút és relatív értéket. Az abszolút érték az 1 m³ levegőben lévő vízpára mennyiségét mutatja (gm⁻³), míg a relatív vagy viszonylagos páratartalom a levegőben lévő vízpára arányát mutatja meg az adott hőmérsékleten a lehetséges telítettséghez képest (%). A meleg levegő több vízpárát tartalmazhat, mint a hideg, ezért abszolút nedvességtartalma is nagyobb lehet. Adott hőmérsékleten és nyomáson az egységnyi térfogatú levegő csak meghatározott mennyiségű vizet képes felvenni. Ha a maximális mennyiséget felvette, telítetté válik. 20%-os relatív páratartalmú levegő az adott hőmérsékleten elnyelhető vízpára egyötödét tartalmazza. Ha a vízgőzzel telített levegő nyomását növeljük, vagy hőmérsékletét csökkentjük, pára csapódik ki belőle. A tűzoltók ezzel a fizikai jelenséggel találkozhatnak, amikor a tavaszi, úgynevezett szárazfű-tüzes időszakban az esti órákban már a tűz intenzitásának csökkenését tapasztalják. Ilyenkor a fűszálakra lecsapódott pára hatására a tűz akár már magától is elalszik.

A levegő relatív nedvességtartalma tehát jelentősen befolyásolja az erdőtüzek keletkezésének kockázatát és égési intenzitásának nagyságát. Alacsony páratartalom mellett, vagyis ha a levegő nagyon „száraz”, az égés több ok miatt is intenzívebbé válik. Egyrészt az égés során kialakul egy úgynevezett nyílt téri gázcserefolyamat, amely során az égő frontvonalhoz áramlik a nedvességet is tartalmazó környezeti hőmérsékletű levegő. 30 °C-os levegő 50% relatív nedvességtartalomnál kb. 15 g vízpárát tartalmaz köbméterenként. A magas hőmérséklet miatt ilyen körülmények között általában már jól ég az erdő, tehát számítási példának elfogadható. A száraz fa vagy hasonló minőségű anyagok, így az erdei biomassa égéséhez is kb. 4,6 m⁻³ levegő szükséges, ami 50%-os relatív nedvességtartalom esetén kb. 70 g vízpára égési hőmérsékletre emelését jelenti. Az átlagos lánghőmérséklet erdőtűz esetén kb. 800 °C. A vízpára fajhője 2 kJkg⁻¹, ami alapján a páratartalom égési hőmérsékletre emelése kb. 122 kJ energiát emészt fel az éghető anyag részéről. Ez a mennyiség bár nem tűnik soknak, de összehasonlításként ez a hőmennyiség elegendő lenne kb. 1 kg tömegű víz hőmérsékletének 30 °C-kal való emeléséhez.

Azt tapasztalatból tudjuk, hogy az erdőtüzek égési intenzitása kb. 20% relatív páratartalom körül jelentősen megugrik, és azt is, hogy a különösen nagy erdőtüzeknél a páratartalom 10% körüli, vagy az alatt volt. (VIEGAS 2006) Az előbbi esetén a vízpára mennyisége 6 g, az utóbbinál 3 g köbméterenként. Így 1 kg tömegű biomassza eléégésekor az első esetben kb. 28 g, a második esetben 14 g vízpára hőmérsékletét kell az égési hőmérsékletre emelni. Ehhez 20% relatív páratartalom esetén kb. 48 kJ, 10% esetén pedig kb. 24 kJ energiára van szükség. Az 50%-os relatív páratartalmú környezethez képest az első esetben kb. 74 kJ, a másodikban közel 100 kJ „energiatöbblet” marad az égés során.

A korábbiakra hivatkozva a biomassza égéshőjét a szakirodalmak többsége $18,5 \text{ MJkg}^{-1}$ értéknek veszi, ami alapján a relatív páratartalom égésre gyakorolt hatását ebben a formában mérsékeltnek, de inkább elenyészőnek is vehetjük (kb. 0,5%). Az energiaszükséglet az elméleti minimum 0%, illetve a maximális 100% között is alig haladja meg az égéshőnél felszabaduló energia 1%-át. A tapasztalatok ennek ellenére azt mutatják, hogy alacsony páratartalom mellett a tüzek intenzitása jelentősen megnő, így bizonyos, hogy a páratartalomnak a fenti számítástól függetlenül egyéb tényezőkön alapuló hatása is létezik.

Érdekességként a többletvíz-tartalom helyzeti energiájának megváltoztatásához szükséges energiaigényt is megvizsgálhatjuk. Az égési gázokkal együtt távozó vízgőz 1000 m-re történő szállításához szükséges energiát annak helyzeti energiájából számíthatjuk, így az $E_h = mgh$ törvényszerűséget alkalmazzuk. Az 1 kg biomassza eléégéséhez $4,6 \text{ m}^3$ levegőmennyiség szükséges, és a maximális 100%-os relatív páratartalmat vesszük figyelembe (30 gm^{-3}). A fentiek alapján a helyzeti energia megváltozásához: $E_h = 1000 \text{ m} \times 10 \text{ ms}^{-2} \times 0,138 \text{ kg} = 1,38 \text{ kJ}$ energia szükséges, ami elenyésző a $18,5 \text{ MJkg}^{-1}$ hőmennyiséghez képest ($< 0,01\%$).

A páratartalom azonban másként is befolyásolja az égést. A tapasztalatok alapján tudjuk, hogy az élő vegetáció mellett mindig jelen van, és akár jelentős is lehet az adott terület úgynevezett holtanyag-tartalma, ami nem más, mint az elpusztult biomassza többnyire a talajon felhalmozódott része. Ezek rövid időn belül elvesztik élőkori nedvességtartalmukat, és kiszáradnak, illetve sokkal szárazabbakká válnak. Köztudomású, hogy a holt anyag az eleve kevesebb nedvességtartalom miatt sokkal tűzveszélyesebb, mint az élő biomassza; így az éghetőségével kapcsolatos változások jelentősen befolyásolják egy-egy terület kockázati besorolását. A holt anyagok közé soroljuk a kiszáradt fűvet, a lehulló faleveleket, de a száraz gallyakat, sőt az elhalt fatörzset is. A holt biomassza nedvességtartalma a környezetétől, vagyis leginkább a levegő páratartalmától függ, attól nem tud kiszáradni. A kiszáradás üteme függ az adott anyag méretétől; a fa esetén ilyenkor többnyire a gallyak átmérőjéről beszélünk. Logikus, hogy a kisebb átmérőjűek gyorsabban, a nagyobbak lassabban képesek követni a környezetük páratartalmának változását. Emiatt az avar nedvességtartalmának vagy a vékonyabb gallyak, ágak nedvességtartalmának a változása sokkal hektikusabb, mint a vastagabb részeké. Egy füves terület nagyon gyorsan elveszítheti nedvességtartalmának jelentős részét, de szinte ugyanilyen gyorsan, akár a levegő páratartalmából pótolni is képes lehet azt. A nedvességtartalom ingadozásának, az eltérő mértékű kiszáradásnak a kifejezésére az erdészeti és a tűzoltó szakma exponenciálisan növekvő óraszámokhoz rendelt, nevesített értékeket határoz meg, amely tulajdonképpen nem más, mint az anyag vastagságához, az elszáradt gallyak átmérőjéhez rendelt késleltetett kiszáradási idő. A késleltetés kategóriái a következők:

- 1 órás kiszáradás: az gallyak átmérője kevesebb, mint 6 mm;
- 10 órás kiszáradás: a gallyak átmérője 6–25 mm közötti;

- 100 órás kiszáradás: a gallyak átmérője 25–75 mm közötti;
- 1000 órás kiszáradási idő: a gallyak átmérője meghaladja a 75 mm-t.

Az adatokból látható, hogy a holt anyag nedvességtartalma akár jelentős is lehet, így az égés dinamikáját döntően is befolyásolhatja. A jövőben hektikusabbá váló időjárási viszonyok az alacsonyabb páratartalmú időszakok által nemcsak az égés levegőfogyasztásán keresztül befolyásolják az égést, de a holt biomassa nedvességtartalmán keresztül is. A fentiekhez köthetően, illetve abból is levezethetően az erdőtüzek gyakoriságát, kockázatát előre jelző, meteorológiai adatokon alapuló indexeket alkottak, amit a nemzetközi gyakorlat már régóta alkalmaz. (BRYAN 2003)

5.2.6. A szél tűzterjedésre gyakorolt hatása

A szél nem más, mint a légkört alkotó levegőtömegnek a közel vízszintes irányú áramlása, amely az eltérő helyi nyomáskülönbségek miatt jön létre. Nagyobb földrajzi területeket figyelembe véve mindig van nyomáskülönbség, ezért a szél szinte mindig fúj, ha nem, az többnyire időszakos és földrajzi értelemben véve csak korlátozott területekre vonatkozik.

A szél hatása az erdőtüzek vonatkozásában rendkívül meghatározó. Egyrészt a friss csapadék gyorsabb elpárolgotatásában, a felszín felszárításában, az elhalt növényzet mielőbbi kiszáradásában van jelentős szerepe, másrészt pedig döntően befolyásolja a tűz terjedési sebességét és irányát is. A gyakorlati megfigyelések igazolják, hogy erdőtüzek esetében a szél sebessége akár teljes mértékben is meghatározhatja az erdőtűz kontúrját. Minél nagyobb a szélesebesség, annál nyúltabb a tűz kontúrja a szél irányában. Az erdőtüzek oltása során megállapították azt is, hogy a szélirány változásával egyidejűleg a tűz terjedési iránya is megváltozik. A tűzoltás szempontjából a 10 m/s-nál nagyobb szélesebességnél a szél iránya állandónak mondható, 6 m/s-nál nagyobb szélesebességnél az aljnövényzet égése átterjedhet koronaégésre.

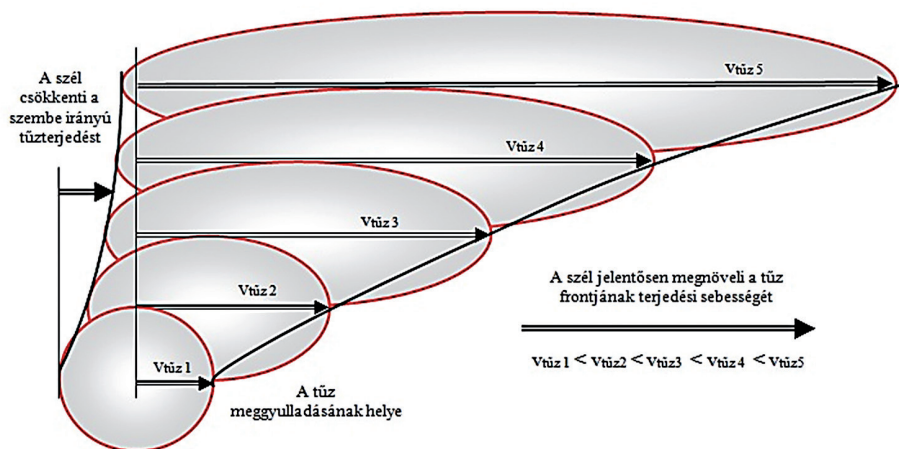
Ideális esetben a tűz terjedése a keletkezési helyétől számítva időben koncentrikus körök-ként rajzolható fel. Ezt a szimmetrikus terjedést változtatja meg a szél úgy, hogy a szél vektorával megegyező irányba megnöveli, míg azzal ellentétesen lecsökkenti azt. Minél nagyobb a szél sebessége, a szél vektorával megegyezően annál nagyobb lesz a tűz terjedése is, míg azzal ellentétesen annál kisebb. Ezáltal – maradva az ideális feltételeknél – időben szimmetrikus ellipszisek írják le a tűz terjedését. A tűz terjedési sebességével megegyező szél esetén elméletileg nincs is széllal szembeni tűzterjedés. Az égés által generált mikrometeorológiai tényezők azonban jelentősen befolyásolják a tűz terjedését, megváltoztatják az ideális viszonyokat.

A tűz által generált feláramlás következtében a tűz frontvonalával szembefújó szél vertikálisan „elhajlik”, azaz a feláramlás irányába mutató vektora keletkezik. Ez az égés, vagyis a talaj szintjén azt jelenti, hogy a légmozgás vízszintes irányú vektora a frontvonal előtt lecsökken, aminek következményeként az átlagos szélesebesség értékétől alacsonyabb tűzterjedésénél is egy bizonyos értékig még megfigyelhető széllal szembeni tűzterjedés. Amikor az ellentétes irányú vektorok a talaj szintjén azonos nagyságúak, vagyis hatásaik kiegyenlítődnek, a tűzterjedés elméletileg megszűnik. Tapasztalatok alapján a tűzterjedés sebessége a szél irányával szemben 6–10-szer kisebb, mint azzal megegyezően. (BLESZITY–ZELENÁK 1989)

A tűzterjedés irányával azonos légmozgás a feláramló égésgázokat a terjedés irányával azonos irányba „hajlítja el”. Ennek hatására a még nem égő területek többlethősugárzást

kapnak, ezáltal gyorsabban kiszáradnak, így könnyebben gyulladnak meg, intenzívebben és nagyobb terjedési sebességgel fognak égni. A feláramlás okozta mikrometeorológiai tényezők itt is szerepet kapnak, azonban annak hatásait a „megdőlt” láng és az égési gázok hősugárzása ellensúlyozza.

A fentiek alapvetően a szél mikrometeorológiai hatásainak változására fókuszálnak, és nem veszik figyelembe a szél többlet-oxigénszállításából generált hatásokat, a párolgási egyensúlytalanságokat és az égés okozta turbulenciákat sem.



5.2. ábra

Az ideális szél hatása a tűz terjedésére

Forrás: a szerző szerkesztése

A szél szerepe az úgynevezett röptűzek kialakulásában is jelentős, hiszen a frontvonaltól távolabb is számos tűzgócot hozhat létre, ami a beavatkozó egységek háta mögött azok biztonságára is veszélyt jelenthet.

Az éghajlatváltozás okozta magasabb helyi hőmérséklet nagyobb területi nyomáskülönbséget okoz, így várható, hogy a nyomáskiegyenlítődést szolgáló szeles napok száma több lesz, a szelek erőssége pedig nagyobb. Köztudomású, hogy a légmozgás elősegíti a párolgást, így a szeles napok számának növekedése egyértelműen elősegíti majd a biomassza kiszáradását is, azaz a vegetáció meggyulladásának feltételei egy-egy esős időszak után egyrészt gyorsabban válnak kedvezőbbé, másrészt a kiszáradás mértékének növekedésével intenzívebb égés és gyorsabb tűzterjedés várható még a szélcsendes napokon is.

A fentiekből az is látható, hogy a szél elősegíti a tűz terjedését is, azaz a szeles napok számának várható növekedése a korábbiakhoz képest, vagyis a szélcsendes napokon kialakult tüzekhez viszonyítva megnöveli a keletkezett tüzek terjedési sebességét, így intenzitását is. Az átlagos szélerősség növekedésének hatása is ugyanezt okozza, vagyis a terjedési sebesség növekedésével a tűzintenzitás értéke is magasabb lesz.

5.2.7. A domborzati viszonyok befolyásoló hatása

A földfelszíni egyenetlenségek, vagyis a domborzat a tűz terjedésére szintén alapvető befolyású. A domborzat alsó része a felső részen lehullott és lecsorgó csapadék áztató hatását is élvezi. Így az aljnövényzet, valamint az elhalt növényzet és a talajtakaró nedvességtartalma – egyéb hatásokat figyelmen kívül hagyva is – itt potenciálisan mindig magasabb.

A domboldalak felső része, többnyire a felső harmada, kedvezőbb feltételeket nyújt az azt takaró növényzet kiszáradásához. Ez a felső rész a szél szárító hatásának mindig jobban ki van téve, sőt a napsugárzás hatása is szintén jobban érvényesül ezen a harmadon. Ez egyrészt annak köszönhető, hogy a szomszédos dombok, hegyek árnyékoló hatásából eredően a felkelő és lenyugvó Nap sugárzási ideje a dombok tetején hosszabbra nyúlik, mint azok alján, másrészt pedig annak, hogy a völgyekben tovább megmaradnak a ködös, párák légtömegek, ami szintén késlelteti mind a vegetáció pillanatnyi, mind a hosszabb távú kiszáradását. A völgyekben megmaradó pára egyrészt védi a növényzetet a napsugárzástól, másrészt csökkenti, gátolja a levelek párolgását.

Az éghajlatváltozás okozta hőmérséklet-emelkedés a domboldalak gyorsabb kiszáradását okozza, ahogyan a relatív páratartalom várható csökkenése is. Ez utóbbi esetben nemcsak a domboldalak magasabb részein, de különösen az eddig védettebb helyeken, a szűkebb völgyekben okozhat jelentősen kedvezőbb meggyulladási és tűzterjedési feltételeket, így intenzívebb égést is. A szűkebb völgyekben kialakuló tüzek nagyobb szárazságok idején és alacsonyabb páratartalom mellett különösen intenzívvé válhatnak, így a jövőben az eddig kevésbé tűzveszélyes helyek is jelentősen kockázatosabbak lehetnek. (VIEGAS–PITA 2006)

Az éghajlatváltozás miatt esetenként intenzívebbé váló csapadékhullás az esetleges csapadéktöbblettel együtt sem biztos, hogy csökkenti a dombos-hegyes területen a tűz kockázatát. Ennek oka, hogy a domboldalak lejtőin lefolyó víz áztató hatása időben bár lehet, hogy nem csökken, viszont a korábbiakhoz képest gyorsabb lefolyás eróziót okozva rombolja az erdő általános egészségi állapotát. Az erdő egészségi állapotának romlása pedig egyértelműen növeli a holt biomassza mennyiségét, ezzel a tűz kockázatát. (GELETA 2003)

5.3. A tűzveszélyességi indexek

5.3.1. A tűzveszélyességi indexek jelentősége

Az erdőtűzet különböző mértékben befolyásoló tényezők együttes hatásának pillanatnyi összegzésére, illetve egyszerű bemutatására a szakértők úgynevezett tűzveszélyességi indexeket alkottak. Ezek az indexek statikus és dinamikus adatokat tartalmaznak, így például az adott vegetáció jellemzőit (statikus) vagy az aktuális időjárási adatokat (dinamikus). Az indexek jellemzői, hogy azok viszonylag lassan változnak, az érintett közösségek számára könnyen kommunikálhatók, és vizuálisan is megérthető üzenetet tartalmaznak. A tűzveszély mértéke alapján a hatóságok korlátozó (például tűzgyújtási tilalom) vagy kötelezően megteendő (például oltóvíz időszakos felhalmozása) intézkedéseket írhatnak elő, amelyek megsértése szankciókat is lehetővé tesz. Azért, hogy a tűzveszély könnyen kommunikálható üzenetként a lakossághoz is eljusson, az írott és elektronikus média által – többnyire az időjárási hírekhez kötötten – rendszeresen megismétlik. A különösen veszélyeztetett

helyeken, például nemzeti parkok, erdősült területek megközelítési útvonalai, tűzrakó helyei környékén színskálával illusztrált jelzőtáblákat helyeznek ki, amelyek alapján az arra járók azonnal tudatában lehetnek a tűzveszély mértékének. A tűzveszélyességi skála a hozzá rendelt színekkel a következő üzeneteket hordozza: (BRYAN 2003)

- alacsony tűzveszélyességi szint (zöld);
- mérsékelt tűzveszélyességi szint (kék);
- magas tűzveszélyességi szint (sárga);
- nagyon magas tűzveszélyességi szint (narancssárga);
- extrém magas tűzveszélyességi szint (piros).

Az éghajlati elemekből számított valamilyen tűzveszélyességi jelzőszám, index meghatározására többféle módszer alkalmazásával folynak kísérletek. Ezek közül néhánynak a rövid jellemzői a következők.

5.3.2. Keetch–Byram-szárazsági index

A Keetch–Byram-szárazsági index (KBDI) a szezonálisan kialakuló aszályos időszakok tűzzel szembeni hatásainak mérésére használható. Az index tényleges numerikus értéke becslése annak a csapadékmennyiségnek (100 cm-ben), amely ahhoz szükséges, hogy a talajt visszaadja a telítettségnek (0 érték telített). Az index a talaj profiljának legfelső 20 cm-ével foglalkozik. Az index az angolszász területeken terjedt el, a hétköznapiakban is alkalmazták, ezért hüvelyk mértékegységet használ. Az index maximális értéke 800 (8 hüvelyk). Ez az a csapadékmennyiség, amely ahhoz szükséges, hogy a talaj visszaálljon a teljes telítettség szintjére. Az index tűzhöz való viszonyát úgy értelmezhetjük, hogy az indexértékek növekedésével a vegetáció nagyobb nedvességhiánya miatt az fokozott „stressznek” van kitéve. Magasabb értékeknél az élő növények kiszáradnak és elpusztulnak, így anyaguk könnyen éghetővé válik. (KEETCH–BYRAM 1968)

- KBDI = 0–200: mind a talaj nedvessége, mind az élő és elhalt vegetáció víztartalma magas, ezért a tűz intenzitása viszonylag alacsony marad. Ez erdők esetében jellemzően a téli csapadék után, illetve a tavaszi nyugalmi időszakban figyelhető meg, de ez nem, vagy csak korlátozottan érvényes a füves társulásokra.
- KBDI = 200–400: tipikus a késő tavaszi vagy a kora nyári időszakokban. Az erdő alján összegyűlt avar lassan elveszíti nedvességtartalmát, és egyre szárazabbá válik, ami elősegíti a tűz intenzitásának növekedését.
- KBDI = 400–600: tipikusan a nyár végén, kora ősszel előforduló időszak. Az erdő alsó növényzintje, valamint az avar is jelentősen veszít nedvességtartalmából, illetve kiszárad, így aktívan hozzájárulnak a tűz intenzitásához.
- KBDI = 600–800: gyakran összefüggésbe hozható a tartósan száraz, aszályos időszakokkal, így a fokozottan tűzveszélyes időszakok előfordulásával. Ilyen értékek mellett a tűz várhatóan nagyon intenzív lesz, a növények keresztmetszetüket tekintve jelentősen beégnek, vagy teljesen átégnek, sőt az élő növényzet is intenzíven ég, táplálja a tüzet.

5.3.3. A Haines-index

Az alsó légkör stabilitási indexét – az úgynevezett Haines-indexet – a rendszerbe kötött megfigyelő állomások Észak-Amerikában gyakorlatilag folyamatosan számolják és továbbítják a szakembereknek. Az indexnek van egy stabilitási és egy nedvességtartalom összetevője. Az index a stabilitási határértéket két légköri szint hőmérséklet-különbségéből határozza meg, míg a nedvességtartalomra vonatkozó érték egyetlen légköri szint harmatpont-depressziójából származik. Ez az index a tüzek keletkezésének kockázatára és a terjedés várható mértékére ad iránymutatást a felszíni szelek hatásának figyelmen kívül hagyásával. A Haines-index értékei 2–6 közé skálázhatók: (HAINES 1988)

- 2 – nagyon alacsony potenciál (nedves, stabil alsó légkörrel);
- 3 – nagyon alacsony potenciál;
- 4 – alacsony potenciál;
- 5 – mérsékelt potenciál;
- 6 – nagy potenciál (száraz, instabil alsó légkörrel).

5.4. Következtetések és megállapítások

A szakirodalmak döntő többsége ma már a globális klímaváltozást tényként fogadja el. Egyes klímamodellek szerint az előre jelzett üvegházgáz-koncentrációk esetén az éghajlat fokokban kifejezhető változás előtt áll. Ennek egyik velejárója, hogy az időjárás szélsőséges jelenségei megszorodnak. Így egyre inkább várható, hogy az özvízszerű esőzések, felhőszakadások egyes helyeken gyakoribbá válnak, míg más területeken a tartósan csapadégmentes időszakok tolódnak ki. A szárazabb időszakokban a vegetáció nedvességtartalma lecsökken, ezáltal a meggyulladás, égés feltétele jelentősen kedvezőbbé válik.

Az erdőtüzek gyakoriságát, kockázatát előre jelző, meteorológiai adatokon alapuló indexeket a nemzetközi gyakorlat már régóta alkalmaz. A regionális éghajlati forgatókönyveket és erdőtűz-gyakorisági indexeket kombinálva azt kapjuk, hogy Magyarországon már fél fokos globális melegedés is több mint 50%-kal növelheti az erdőtüzek gyakoriságát. Nagyobb felmelegedés magasabb erdőtűz-gyakoriságot okoz. Számítások szerint négy fokos melegedés esetén az erdőtüzek gyakoriságának akár 200–300%-os növekedése sem zárható ki.

A következő általános megállapítások, illetve problémafelvetések jellemezhetik a vegetációtüzek, erdőtüzek kezelésének jelenlegi rendszerét.

A globális felmelegedést tényként fogadjuk el. Tudományos kutatásokkal igazolható, hogy ez az aszályosabb időszakok számának és tartamának növekedésével jár. A Kárpát-medencében a csapadék évi mennyisége várhatóan nem fog jelentősen változni, de az eloszlása igen. A lehulló csapadék rövidebb idő alatt, de nagyobb mennyiségben, esetleg koncentráltabb területeken fog jelentkezni. A szárazabb időszakok hosszabbak lesznek, ami a növényzet nagyobb fokú kiszáradásához, így a meggyulladás, égési, tűzterjedési feltételeinek kedvezőbbé válásához vezet.

A „tüzes” időszakok a meteorológiai viszonyok, valamint a tapasztalat alapján viszonylag jól előre jelezhetők, ezért a megelőző intézkedések hatékonyságát (például tűzgyújtási tilalom elrendelése) jelentősen növelni szükséges.

Mind a hazai, mind a nemzetközi tapasztalat igazolja, hogy a tűz keletkezésének okánál az emberi közreműködés aránya 80–90% közötti. Az állampolgári fegyelem javításával ez az arány jelentősen csökkenthető.

Összességében megállapítható, hogy a tűzkeletkezésben szerepet játszó tényezők többsége az éghajlatváltozás következtében növelni fogja a tüzek keletkezésének kockázatát, a terjedésének a sebességét, így a tűzvonala intenzitását is, amelyet korszerű gazdálkodási viszonyok bevezetésével, korai előre jelző rendszerek alkalmazásával és a társadalom megfelelő érzékenységgel és tudatosságával lehet és kell csökkenteni.

Felhasznált irodalom

- BÁNYAI P. – HORVÁTH B. – MÉSZÁROS K. – NAGY L. – PAKSY P. – SZEDLÁK T. (2004): Az erdőtüzek elleni védekezés kérdései. *Védelem*, 11. évf. 2. sz. 11–14.
- BLESZITY J. – ZELENÁK M. (1989): *A tűzoltás taktikája*. Budapest, BM.
- BRYAN, L. (2003): Fire Danger, fire risk, fire threat – Mapping Methods. In *EARSeL, 4th International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management*. Ghent.
- BUSSAY A. – SZINELL Cs. – SZENTIMREI T. (1999): *Az aszály magyarországi előfordulásainak vizsgálata és mérhetősége. Tanulmány*. Budapest, Országos Meteorológiai Szolgálat.
- DAVIDENKO, E. (2004): The 2003 Forest Fire Season in the Russian Federation. In *Conference on Forest Fire Management and International Cooperation in Fire Emergencies in the Eastern Mediterranean, Balkans and Adjoning Regions of the Near East and Central Asia*. Antalya.
- GELETA F. (2003): Az erdőtüzekről – EU-csatlakozás előtt. *Védelem*, 10. évf. 2. sz. 25–28.
- GOLDAMMER, J. G. – PAGE, H. (2000): *Fire History of Central Europe: Implications for Prescribed Burning in Landscape Management and Nature Conservation; Baltic Exercise for Fire Information and Resources Exchange (BALTEX FIRE 2000)*. Freiburg, Global Fire Monitoring Center [GPMC]. Forrás: www.fire.uni-freiburg.de/programmes/natcon/BAL-AP3-2.PDF (A letöltés dátuma: 2018. 02. 23.)
- HAINES, D. (1998): A lower-atmosphere severity index for wildland fires. *National Weather Digest*, Vol. 13, No. 2. 23–27.
- JORDAAN, A. J. (2012): *Drought risk reduction in the Northern Cape, South Africa*. (PhD dissertation) Bloemfontein, University of the Free State.
- KEETCH, J. J. – BYRAM, G. M. (1968): *A drought index for forest fire control*. Asheville, Res. Pap. SE-38, Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station.
- KSH (2017): *Központi Statisztikai Hivatal adatbázis*. Budapest, Központi Statisztikai Hivatal.
- LATHAM, D. J. – SCHLEITER, J. A. (1989): *Ignition Probabilities of Wildland Fuels Based on Simulated Lightning Discharges*. (Research Paper INT-411) Ogden, UT.
- LEONE, V. – LOVREGGIO R. (2003): Human fire causes: a challenge for modeling. In *EARSeL, 4th International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management*. Ghent.
- MIKA J. (1988): A globális felmelegedés regionális sajátosságai a Kárpát-medencében. *Időjárás*, 92. évf. 178–189.
- NAGY D. (2004): Erdőtüzek megelőzési és oltási gyakorlata és problémái Magyarországon. *Erdészeti Lapok*, 139. évf. 5. sz. 156–159.

- Országos Erdészeti Egyesület honlapja [OEE (é. n.)]. Elérhető: www.oee.hu/hirek/agazati-szakmai/terulet_csokkent_elofakeszlet_nott (A letöltés dátuma: 2017. 12. 06.)
- Országos Meteorológiai Szolgálat [OMSZ] honlapja: *Éghajlatváltozás, Megfigyelt változások, Magyarország.* (é. n.) Forrás: www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarorszag/ (A letöltés dátuma: 2018. 01. 18.)
- PADÁNYI, J. – FÖLDI, L. (2016): Security Research in the Field of Climate Change. In NÁDAI, L. – PADÁNYI, J. eds.: *Critical Infrastructure Protection Research: Results of the First Critical Infrastructure Protection Research Project in Hungary.* Zürich, Springer International Publishing. 79–90. (Topics in Intelligent Engineering and Informatics, 12.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-28091-2_7
- TAYLOR, A. R. (1973): Ecological aspects of lightning in forests. *Proceedings of the Annual Tall Timbers Fire Ecology Conference*, Vol. 13. 455–482.
- TEKNŐS L. (2017): A lakosság szélsőséges időjárási eseményekre történő felkészítésének lehetőségei Magyarországon. *Bolyai Szemle*, 26. évf. 3. sz. 137–160.
- The Climate Reality Project (2017): *How does climate change affect forest fires?* Elérhető: www.climaterealityproject.org/blog/how-does-climate-change-cause-forest-fires (A letöltés dátuma: 2018. 02. 26.)
- VIEGAS, D. X. (2006): Parametric study of an eruptive fire behaviour model. *International Journal of Wildland Fire*, Vol. 15, No. 2. 169–177. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF05050>
- VIEGAS, D. X. – PITA, L. P. (2006): Fire spread in canyons. *International Journal of Wildland Fire*, Vol. 13, No. 3. 253–274. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF03050>