

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

# A magyarországi bükkösök hosszú távú egészségi állapot trendjei

---

Készítette:

**Janik Gergely Kálmán**  
erdőmérnök  
doktorjelölt

Témavezető:

**Dr. Csóka György**  
tudományos osztályvezető

**Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola**  
„Az erdőgazdálkodás biológiai alapjai” című program

**Soproni Egyetem**  
**Sopron**  
**2021**

## A MAGYARORSZÁGI BÜKKÖSÖK HOSSZÚ TÁVÚ EGÉSZSÉGI ÁLLAPOT TRENDJEI

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:  
Janik Gergely

Készült a Soproni Egyetem Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási  
Tudományok Doktori Iskola  
E2 — Az erdőgazdálkodás biológiai alapjai programja keretében.

Témavezető: Dr. Csóka György

Az értekezés témavezetőként elfogadásra javasolt: igen / nem \_\_\_\_\_  
témavezető aláírása

A komplex vizsga időpontja: 20\_\_\_\_\_ év \_\_\_\_\_ hónap \_\_\_\_\_ nap

A komplex vizsga eredménye \_\_\_\_\_ %

Az értekezés bírálóként elfogadásra javasolt (megfelelő aláhúzendó):

1., bíráló: Dr. \_\_\_\_\_ igen / nem \_\_\_\_\_  
(aláírás)

2., bíráló: Dr. \_\_\_\_\_ igen / nem \_\_\_\_\_  
(aláírás)

Az értekezés nyilvános védésének eredménye: \_\_\_\_\_ %

Kelt Sopronban, 20\_\_\_\_\_ év \_\_\_\_\_ hónap \_\_\_\_\_ napján.

\_\_\_\_\_  
a Bíráló Bizottság Elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
az Egyetemi Doktori és Habilitációs Tanács Elnöke

## NYILATKOZAT

Alulírott **Janik Gergely**, jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy az „**A magyarországi bükkösök hosszú távú egészségi állapot trendjei**” című PhD értekezésem önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény szabályait, valamint a **Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola** által előírt, a doktori értekezés készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.<sup>1</sup>

Kijelentem továbbá, hogy az értekezés készítése során az önálló kutatómunka kitétel tekintetében témavezetőmet, illetve a programvezetőt nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy az értekezést nem magam készítettem, vagy az értekezéssel kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem megtagadja az értekezés befogadását.

Az értekezés befogadásának megtagadása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Kelt Kecskemét, 2021 év április hónap 30. nap

---

doktorjelölt

---

<sup>1</sup> **1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1)** A mű részletét – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.  
**36. § (1)** Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára – a cél által indokolt terjedelemben – szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást – a szerző nevével együtt – fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

## TARTALOMJEGYZÉK

Kivonat:.....	6
Abstract:.....	6
1 Bevezetés .....	7
1.1 Célkitűzés .....	8
2 Szakirodalmi áttekintés .....	10
2.1 A bükk ( <i>Fagus sylvatica</i> L.) biológiai, ökológiai jellemzése .....	10
2.1.1 Bükkfa, közönséges bükk ( <i>Fagus sylvatica</i> L.) leírása.....	10
2.1.2 Elterjedés és ökológiai igények.....	11
2.1.3 Életciklus és reprodukció .....	13
2.1.4 A bükk társulás-képessége .....	13
2.1.5 A bükk genetikai tulajdonságai, paleobotanikai vonatkozásai.....	14
2.2 A bükk erdőművelési tulajdonságai .....	15
2.3 A bükk fafaj hazai térfoglalása és erdőgazdasági jelentősége .....	15
2.4 A bükkösök magyarországi erdőkárainak irodalmi áttekintése .....	20
2.4.1 A bükkösök általános erdővédelmi helyzete .....	20
2.4.2 A bükkösök erdővédelmi helyzete Magyarországon .....	21
2.4.3 A bükkösök hazánkban jellemző kártípusai .....	22
2.5 Az erdőkár adatsor-elemzések erdészeti szakirodalma .....	36
3 Alaphipotézisek.....	37
4 Anyag és módszer .....	38
4.1 A bükkösökben gyűjtött erdővédelmi adatsorok .....	38
4.1.1 Az Erdővédelmi Figyelő-Jelzőszolgálati Rendszer.....	38
4.1.2 Erdővédelmi monitoring hálózatok Magyarországon .....	39
4.1.3 Nemzetközi (ICP) I.-II. szintű monitoring parcellák .....	39
4.2 A felvételezés módszere és a rögzített adatok .....	41
4.3 Meteorológiai-, és erdőállomány-adatok.....	43
4.4 Az alkalmazott matematikai statisztikai módszerek .....	43
4.4.1 A CReMIT (Cyclic Reverse Moving Interval Techniques): .....	44
5 Eredmények.....	45
5.1 Az erdővédelmi jelzőlapok adatai a bükkösökről .....	45
5.1.1 A biotikus károk jelentései.....	46
5.2 A mintaterületek alapadatai .....	54
5.3 A mintaterületek időjárás- és termőhelyi jellemzése .....	55

5.4	A mintaterületek állapotváltozásainak részletes értékelése.....	71
5.5	A mintaterületek adatsorainak összefoglalása és értékelése: .....	92
5.6	A CReMIT elemzés eredményei.....	96
5.6.1	A lombvesztés és az időjárás paraméterek CReMIT eredményei.....	98
5.6.2	Az EDI és az időjárás paraméterek CReMIT eredményei.....	108
5.6.3	A CReMIT eljárás eredményeinek összegzése .....	117
5.6.4	A talált összefüggések további vizsgálatai.....	120
6	Diszkusszió .....	124
6.1	A kutatási munka adott körülményei.....	124
6.2	Kimutatott eredmények.....	125
6.3	Javaslatok erdőgazdálkodóknak.....	129
6.4	Javaslatok további kutatásra .....	131
7	Köszönetnyilvánítás .....	132
8	Felhasznált irodalom .....	133

Kivonat:

**Janik Gergely: A magyarországi bükkösök hosszú távú egészségi állapot trendjei**

Jelen értekezés témája az ERTI bükkösökről gyűjtött erdővédelmi adatsorainak értékelése és összehasonlítása meteorológiai adatsorokkal; az eredmények alapján pedig javaslatok megfogalmazása a bükkösök kezelésére a klímaváltozás várható hatásainak mérséklése érdekében. Az értekezés az ERTI erdővédelmi jelzőlapok rendszerének és az ERTI bükkös fafajú mintaparcelláinak adatait az OMSZ 10 km x 10 km-es hálózatra interpolált havi időjárás adatosaival vettem egybe, az erdővédelmi monitoring parcellához legközelebbi rácspontok adatait tekintetbe véve.

Az erdővédelmi jelzőlapok rendszeréből az évente jelentett bükkösöket érintő kárterületeket elemeztem 1962-től 2011-ig. A monitoring parcellák adataiból az éves átlagos levélvesztési %-ot és az évente számított EDI (Egészségügyi Deficit Index) mutatót használtam fel, 15 mintaterületről. Az időjárás adatok 1961-től 2010-ig álltak rendelkezésre, és a havi maximum-hőmérsékletet, a havi csapadékösszeget, a havi nyári napok számát és a havi hőségnapok számát vettem össze a bükkösök egészségi állapotát leíró mutatókkal.

Az adatsorok értékelését követően a kedvezőtlen, aszályos éveket FAI (Forestry Aridity Index – erdészeti aszályindex) alapján azonosítottam. A statisztikai elemzést CReMIT (Cyclic Reverse Moving Intervals – ciklikusan visszatérő mozgó intervallumok) és PCA (Principal Component Analysis – főkomponens analízis) eljárásokkal végeztem el.

Az eredményekben az egyes eltérők eltérő erősségű korrelációt mutattak az említett erdővédelmi és meteorológiai adatok között. A statisztikai kapcsolat több esetben a kár évét megelőző 2 évben is kimutatható volt a károk és a kedvezőtlen időjárás között. Az eredményekben a magas hőmérséklet esetében erősebb és gyakoribb volt a korreláció, mint az alacsony csapadékösszegre kapott értékek. A korrelációs értékek alakulását mintaterületek közötti összehasonlításban a klimatikus tényezőkön túl termőhelyi- és erdőállomány-tényezők is befolyásolták, amelyek sorrendben a következők voltak: hőmérséklet, termőréteg-vastagság, tengerszint feletti magasság, csapadék, záródás, lejtés, elegyarány.

Abstract:

**Gergely Janik: Long term trends in the health status of Hungarian beech forests**

The dissertation aims the evaluation of beech (*Fagus sylvatica* L.) forest health data collected by Forest Research Institute, and comparing and correlating them with meteorological datasets. Health status data were delivered from the forest-protection reporting system, and the network of forest health monitoring plots. Meteorological data were obtained from the Hungarian Meteorological Service. Statistical connection was revealed between forest damage and weather for even two preceding years before the damage. Less favourable site and stand parameters for beech occurred with stronger damage-weather correlation. Among climatic, forest site and forest stand parameters, the most influential ones on beech health were: temperature, topsoil depth, altitude, precipitation, canopy closure, slope, species mixture, respectively.

## 1 BEVEZETÉS

„S már-már a fák titkát is ellesem: Elnyúlni, fölfelé, türelmesen.”  
Sík Sándor: Búcsú a bükköstől



Napjainkban az erdészeti tudományok területét foglalkoztató egyik leg súlyosabb kérdéskör a klímaváltozás. Ez a tény szükségszerű, hiszen a megfigyelt környezeti változások globális mértékűek (IPCC 2007, Watson et al. 1998). Illetőleg hazánkat, és benne az erdőgazdálkodást is jelentős mértékben érintik (Führer 1995, Mátyás et al. 2010, Gálos et al. 2011).

A klímaváltozással összefüggő időjárási szélsőségek gyakorisága az egész Földön megnőtt (Rummukainen 2012, IPCC 2013), de helyileg igen különböző módokon jelentkezhet. Csak Európát tekintve is jelentősek az eltérések, és az eltérések természetesen a helyi ökoszisztémákat – köztük az erdőket – is különbözőképpen érintik (Zimmermann et al. 2013, Kundzewicz et al. 2005). Európa déli területein, a mediterrán térségben gyakoribbá váltak a csapadékmentes és megnövekedett hőmérsékletű nyári időszakok (Rozas et al. 2015). Ez pedig rovarkárokra, sőt nagy kiterjedésű erdőtüzek kialakulásának kedvez (Flannigan et al. 2000). Ezzel szemben Európa északnyugati területein a hőmérséklet növekedése az erdőállományok növekedését elősegíti, bár bizonyos károsítók és kórokozók számára is kedvező feltételeket teremt (Bolte et al. 2009).

Hazánkban a klímaváltozás a szélsőséges időjárási események gyakoriságának növekedésében jelentkezik (Bartholy et al. 2011), és elsősorban az aszályos időszakok gyakoribbá válásával sújtja erdeinket (Führer 1995, Hirka et al. 2008, Hirka & Csóka 2008).

A biotikus és abiotikus erdőkárok jelentőségének megnövekedésével szükségessé vált a káresemények és az időjárási folyamatok összefüggéseinek vizsgálata. Az erdők állapotának felmérését, az erdőkárok mértékének rögzítését az Erdészeti Tudományos Intézet már évtizedekkel korábban megkezdte mintaterületein (Koltay 2004). Rendelkezésünkre állnak tehát az erdőállományokat jellemző adatsorok. Emellett meteorológiai mérési adatokkal is rendelkezünk, melyek gyűjtését és gondozását az Országos Meteorológiai Szolgálat végzi.

A bükk fafaj nagy jelentősége és a felmerülő bükkpusztulásos problémák miatt az ERTI szakemberi már az 1980-as évek végétől megindították a bükk monitoring parcellák kijelölését és folyamatos megfigyelését.

Az adatsorok mostanra közel egy emberöltőnyi időszakot ölelnek fel, igen sok befektetett terepi munka eredményeként. Bár egyes módszerek mai szemmel nem feltétlenül tűnnek korszerűnek, de az adatgyűjtési célra alkalmasak és a gyakorlatban jól kivitelezhetőek. Ugyanakkor pont ezzel összefüggően, az adatgyűjtés hosszúsága kiemelkedő nemzetközi összehasonlításban is.

Ezek az idősorok tehát alkalmat adnak olyan vizsgálódásra, amely az utolsó két évtized klimatikus változásainak a bükkösökre gyakorolt hatását, az egészségi állapot változásait, és a lehetséges összefüggéseket feltárását célozzák meg (Führer 1987, 1989, 1992, 1995).

Bár a feltárandó összefüggések lényege ökológiai, élettani és erdészettudományi értelemben részben ismert, mégis szükséges a rendelkezésre álló adatok elemzése és statisztikai kiértékelése az általánosan elfogadott szakmai hipotézisek ellenőrzésére, és az összefüggések mértékének számszerűsítésére.

## 1.1 Célkitűzés

Az rendelkezésre álló adatok közül a bükkös állományok vizsgálatát választottam a dolgozat témájául, mivel a hazai állományalkotó fafajok közül a bükk csapadék- és légnedvesség-igénye jelentős, így az aszályra érzékeny fafajnak tartjuk. Klímaindikátor is, azaz érzékeny a klíma változásaira. Csapadékigénye nagy, míg aszálytűrő képessége meglehetősen gyenge. (Arend et al. 2016). Különösen érzékeny az átlagostól szárazabb és melegebb évek időjárására (Ognjenović et al. 2020). Hazánkban sok termőhelyen szárazsági tűrőképességének határán él (Czucz et al. 2013).

Ez a fafaj hazai természetvédelmi jelentősége (Ódor & Standovár 2011) és területaránya miatt a mintaterületek között is jelentős számú bükkös fordul elő. Az elmúlt időszakokban már történtek olyan – bükkösökre jellemző – káresemények, amelyek megmutatták a fafaj érzékenységét a klímaváltozás hazai hatásaira (Molnár & Lakatos 2007).

A szakirodalomban számos várható klíma-szenárió a bükkösök hazai visszaszorulását, vagy akár eltűnését valószínűsítik az elkövetkező évszázadban (Borovics & Mátyás 2013, Führer 2018, Mátyás et al. 2010). Így fontos az eddigi eredmények alapján megvizsgálni az erdőgazdálkodás lehetőségeit a várható pusztulások megelőzésére és mérséklésére.

Mindezek alapján dolgozatom megírásakor az alábbi célokat fogalmaztam meg:

- A bükk magyarországi káreseményeinek összegzése, elemzése.
- Az ERTI bükkös monitoring parcelláiról rendelkezésre álló erdővédelmi adatsorok értékelése.
- A fenti mintaterületekre interpolált meteorológiai adatsorok értékelése, és a két adatsor összevetése.



- Az ERTI erdővédelmi jelzőlapok rendszerének bükkösökre vonatkozó adatainak értékelése, és összevetése időjárás adatokkal.
- Az adatsorok matematikai statisztikai módszerekkel való elemzése, korrelációk kimutatása a káresemények és az időjárás események között.
- Az előbbi korrelációs értékek és a mintaterületek termőhelyi és erdőállomány jellemzőinek összevetése, azaz annak vizsgálata, hogy hogyan módosíthatják-e az összefüggéseket a termőhely és az erdőállomány bizonyos jellemzői.
- Az eredmények ismeretében javaslatok megfogalmazása erdőgazdálkodók számára a bükkösök jövőbeni termesztésére, nevelésére vonatkozóan.

## 2 SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1 A bükk (*Fagus sylvatica* L.) biológiai, ökológiai jellemzése

#### 2.1.1 Bükkfa, közönséges bükk (*Fagus sylvatica* L.) leírása

A bükk faj alaposan kutatott és az egész világon széleskörűen ismert faj, hazai botanikai szempontú kutatói (Bartha 1999, Gencsi & Vancsura 1995, Simon 1995) szerint rövid leírása a következő:

40 m-ig növény. Törzse hengeres, mely szabad állásban alacsonyán ágas, zárt állásban nyúlank és jól feltisztul. Villásodásra hajlamos.

A levelek tojásdadok 5-8 érpárral. A levéllemez felül fényes élénkzöld, a fonákon világosabb és az erek szőrösek. A lemez éle hullámos és pillás. A párhák keskenyek, vörösbarnák, hamar lehullók.

Kérgé vékony és sima, kősejteket tartalmaz, ezért kemény és törékeny. Szürke színű, jellemzője az ághegeknél kialakuló többé-kevésbé íves forradás, a „kínai bajusz”.

Gyökere kezdetben karógyökér, majd 5-10 éves korban a főgyökér növekedése leáll és szívgyökérzet alakul ki, sok felszínközeli oldalgyökérrel. Idősebb korára gyökérterpeszei fejlődnek.

A hosszúhajtások kezdetben fényes felületűek, hónaljrügeikből a következő évben képződnek a rövidhajtások, 3-4 levéllel és végálló rüggyel. A rövidhajtások egy részéből elegendő növénytérben hosszúhajtás fejlődhet. Az oldalágak hajtásai közel vízszintesen, egy síkban ágaznak szét. A rügyek orsó alakúak, fahéj-barnák.

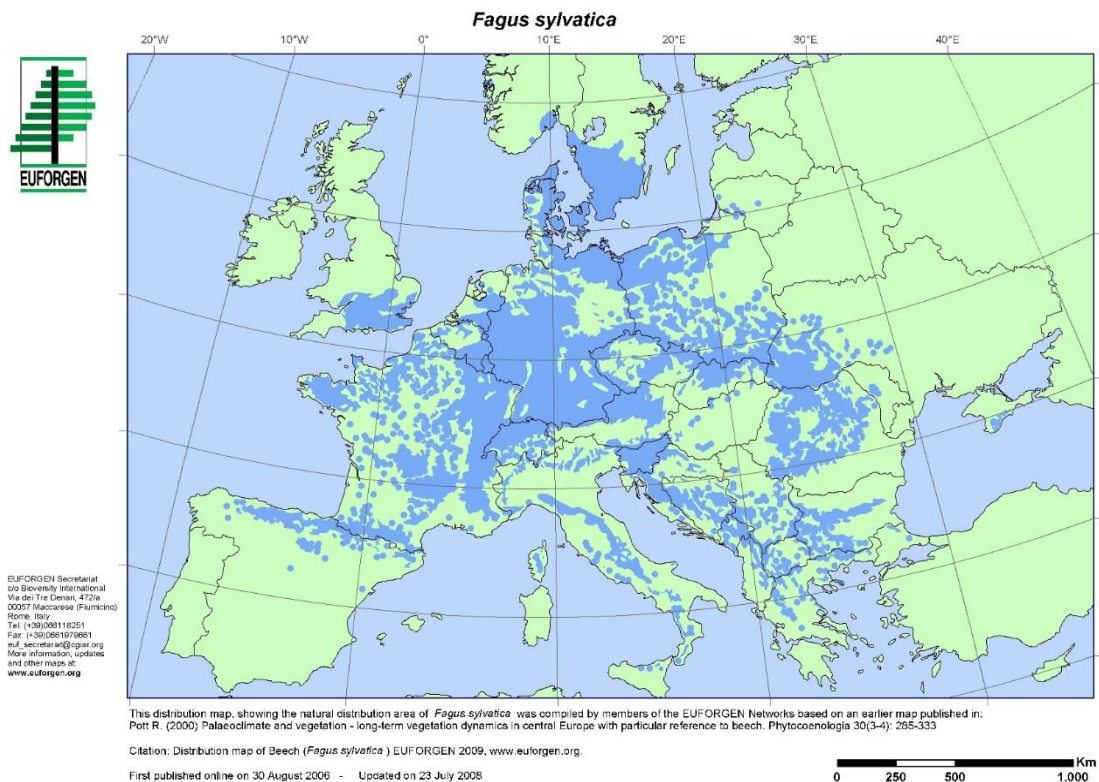
A terméságazat ár alakú elálló vagy visszahajló függelékekkel fedett, 2-3 cm hosszú kupacs, mely éréskor 4 kopáccsal nyílik. 3 élű, csúcsukon hegyes, gesztenyebarna magjai tartaléktápanyagként olajat tartalmaznak. A kupacs általában 2 makkot tartalmaz. A termés háromszögletű, kissé szárnyas élű makk. A makkokban tekervényesen összehajtott sziklevelek vannak, amelyek csírázáskor a talaj fölé emelkednek.

A bükk faanyaga sűrű (700 kg/m<sup>3</sup> átlagosan), finom edénynyalábokkal és jól látható bélsugarakkal. Kemény, de rugalmatlan, igen fülledékeny. Színe széles tartományban változhat a majdnem fehér és a vörös között. A legsokoldalúbban hasznosított európai faj. (von Wühlisch 2008).

A bükk fajtára jellemző, hogy stressz események hatására, de legkésőbb 100 éves életkorban általában megindul az álgesztesedés. Ez a faanyag elszíneződését jelenti (von Wühlisch 2008). A gyökfőben a bélből kiindulóan, a palást és a fa csúcsa felé terjed, a bütün csillagos alakú, amely a faanyag műszaki tulajdonságaira gyakorlatilag nincs hatással. A cserepesedő kérgű bükkfák kevésbé bizonyultak érzékenynek az álgesztesedésre (Kiss 1972).

## 2.1.2 Elterjedés és ökológiai igények

Az európai bükk a kontinens középső részén összefüggő elterjedésű. Areája Dél-Angliában és Dél-Svédországban sík vidéken éri el északi határait, Dél-Európában ellenben felszakadozott, montán jellegű. A Pireneusokban, az Appenineken, az Ukrán- és Déli-Kárpátokban (Fogarás) 1400–1600 m között erdőhatárt alkot (1. ábra).



1. ábra: Az Európai bükk elterjedése. (EUFORGEN 2009)

A bükk jól tűri a téli hideget, de a kései fagyokra érzékeny (emiat hiányzik a fagyugos völgykatlanokból). Az európai bükk számára kb. 10°C évi és 18°C júliusi középhőmérséklet, valamint 800–1000 mm évi csapadékösszeg optimális.

Megjegyzendő, hogy bár általánosságban a bükk fafajt csapadékigényesnek és így szárazsággal szemben érzékenynek tekintjük, egyes kutatók ettől eltérő következtetéseket vontak le: például Pflug és munkatársai kísérletükben arra jutottak, hogy a bükk csemeték meglehetősen jól tolerálják a szárazságot, és hamar képesek életfolyamataikat helyreállítani szárazság-stressz hatását követően (Pflug et al. 2018).

Mivel időjárási igényei igen határozottak, erdészeti klímajelző fafajként először Járó Zoltán alkalmazta: a bükkös erdészeti klímaöv ott jelenik meg, ahol a júliusi 14 órai átlagos relatív páratartalom a 60 %-ot meghaladja, az évi átlagos csapadék 600-800 mm-nél több, és az évi középhőmérséklet átlaga 8-10 C° alatt van (Járó 1972). A későbbiekben a klímakategóriát kissé módosították, napjainkban pedig már az erdészeti aszályindexszel is kifejezhető (Führer & Járó 2000, Führer 2010, 2017, 2018).

Magyarországon elterjedésének súlypontja a kontinentálisabb Északi-középhegységben 18,5°C júliusi középhőmérséklet mellett mindössze évi 650 mm

csapadékösszegű hegyvidék. A csapadékosabb (évi 700-800 mm) Dunántúlon 19°C, sőt a Dél-Dunántúlon (Zselicség) 20,5°C júliusi átlaghőmérséklet mellett is még előfordul, ez egyben elterjedési határát is kijelöli (Mátyás 2002).

Bükk előfordulások hazánkban igen ritkán az Alföldön is találhatóak, de ezek nem természetes állományok, hanem mesterséges eredetűek.

A hazai bükkösök egymástól eléggé elszigeteltek, így jelentős különbségek vannak köztük fakadás, kéregszín, törzsalak, növekedési sajátosságok és villásodásra való hajlam tekintetében. Az erősen kötött vagy jelentős többletvízhatású talajokat kerüli. Levegős talajban viszont gyökerei mélyre hatolnak, az anyagközet repedéseibe is belenőnek és a mélyben lévő nedvességet is jól hasznosítják. Inkább mészkedvelő, bár savanyú talajok is megfelelőek számára. Optimális termőhelyei mészkövön, löszön vagy bázisokban gazdag vulkáni eredetű, mély rétegű talajokon vannak. Ezekben a termőhelyeken bőséges avarja gyorsan bomlik, a felszabaduló tápanyagok serkentik a fák növekedését. A szélsőségesen savanyú vagy sós talajokat nem bírja (Gencsi & Vancsura 1995).

Tranzspirációjára jellemző, hogy amíg a talaj vízkészletei ki nem merülnek, a transzspirációt csak a légköri viszonyok befolyásolják. Meleg, nyári napokon, megfelelő talajvíz-ellátottság mellett egy uralkodó helyzetű bükkfa napi 350-400 l víz transzspirálására képes. Ugyanakkor nem képes a vízfelhasználás szabályozására, így az alacsony relatív páratartalom a levegőben tovább fokozza a transzspirációt, és ez a talajvízkészletek kimerüléséhez vezethet. A bükk állományok koruktól majdnem függetlenül, egységesen viselkednek a környezeti tényezők változásaira (napsugárzásra, párányomás-értékekre, hőmérsékletre) (Barna et al. 2011).

A fenológiát a genetikailag meghatározott tényezőkön kívül a külső klimatikus hatások is befolyásolják. A levélbomlás időpontja például szoros korrelációban van a megelőző tavaszi fenofázisok bekövetkezésével és a hőmérséklettel. Az őszi levélhullást a talajnedvesség, a légnedvesség és esetleg a légszennyeződések befolyásolják. Természetesen az egyedek kora és állományon belüli szociális helyzete is hat a fenológiára, illetve adott erdőállományokban az örökletes különbségek miatt különböző fenofázisú egyedeket találhatunk (Barna et al. 2011).

Az állományklíma néhány sajátos tulajdonságot mutat. Az elegyetlen, zárt bükkösökben, teljesen kibomlott levélzet mellett a lombkorona felett mért besugárzás kevesebb, mint 5%-a éri el a talajszintet, amely pedig éppen az alsó határa az alsó szintű vegetáció meglétének. Ez természetesen a talajflórára és a lebomlási folyamatokra is hatással van. A zárt bükkösök még nem záródott lékjeiben a talajhőmérséklet magasabb, mint a környező állományban (Barna et al. 2011).

A bükk fiatalosokban a levegő páratartalma magasabb, mint az idősebb és elegyetlen erdőkben, főleg az alsóbb szintek hiánya miatti átszellőzésből adódóan. A talajhőmérsékletre az állomány árnyalása, illetve télen a hóborítás is jelentős hatással van. Megfelelő vastagságú hótakaró esetén a talajhőmérséklet nem süllyed 0°C alá, és ez a jelenség a bükk termőhelyein (általában 600m tszfm. felett) gyakori (Barna et al. 2011).

Barna és munkatársai szerint a bükkösök talajai a lehulló csapadék mintegy 8-11%-át tudják visszatartani. A transzspirációt bükk esetében erősen befolyásolja a szociális helyzet. Az uralkodó fákhoz képest az alsóbb szociális helyzetűek akár 10-30%-kal kevesebb transzspirációra képesek.

Szlovákiai vizsgálatok során kárpáti ősbükkös rezervátumokban azt találták, hogy az egy koronaszintű állományrészek ritkák, és 0,1 ha alatti kiterjedésűek. A két és három koronaszint előfordulása tipikus. Továbbá azt találták, hogy a természetes

lécek 51%-át 1-2 fa pusztulása okozta, és további 40%-ot pedig 3-7 fa pusztulása. A lécek a terület általában 10-15%-át foglalták el, nagyságrendileg (Barna et al. 2011).

### 2.1.3 Életciklus és reprodukció

A lombfakadás tengerszint feletti magasságtól függően tavasz közepén történik. Ideje nagy változatosságot mutat egy populáción belül is az egyedek között. Szakasos hajtásképzésű: néhány hetes növekedés után tavaszi hajtásképzése leáll, majd nyár közepén, az intenzív növekedési szakaszban lévő fák rendszeresen hoznak másodhajtásokat.

Magtermő korát szabad állásban 40, zárt állásban 60-80 éves korában éri el, termésképzése periodikus-rapszódikus, Magyarországon 8-10 évente van bőséges makktermés. A tavaszi hajtásmegnyúlással egy időben virágzik (Gencsi & Vancsura 1995).

A makk terjesztésében a téli készletet felhalmozó állatok (pl.: szajkó, mókus) is részt vesznek, kis mértékben. A magas tápértékű makkot számos élőlény fogyasztja.

A makk csírázása szempontjából fontos az aljzat nedvességtartalma, de az áttelelés is a talaj jellemzőitől függ. Csírázás szempontjából legkedvezőbb a humuszos talajfelszín, ezt követi az avar, majd pedig a lágyszárú növényzettel is borított talaj (Barna et al. 2011).

A levelek ősszel sárgára, sárgásbarnára színeződnek, és általában csak az első fagyok alkalmával hullanak le. A fiatal fák leveleiket télen sem hullatják le (Gencsi & Vancsura 1995).

### 2.1.4 A bükk társulás-képessége

A bükk erdőtársulásai jellemzően és szükségszerűen a fafajról elnevezett erdészeti klímakategóriában fordulnak elő, azonban még a gyertyános-tölgyes klímakategóriában is jellemző társulás-elem lehet. A bükkös klímakategória szubmontán és montán jellegű, a Bakony, Mecsek, Börzsöny, Mátra, Bükk és Zemplén hegységekben, 400–500 m tszf. magasság felett alakult ki. A Szombathely–Nagykanizsa vonaltól nyugatra, elsősorban a Göcsejben, a bükkösök azonban lehúzódnak a vízfolyások menti lapályokig. Ez a térség is zonális bükkös övnek tekinthető, amely csatlakozik a felső-szlavóniai és dinári bükkösökhöz (Mátyás 1997).

Klímakategóriájában kiváló versenyképessége miatt legtöbbször elegyetlen állományokat képez, főleg szárazabb klímában és alacsonyabb térszíneken elegyedik gyertyánnal, tölgyekkel.

A klímakategórián belül az azonális és xerofil társulásokban, kedvezőtlen kitétségű gerinceken, sziklás oldalakban, és törmeléklejtőkön a bükk általában nem képez záródott állományokat, gyakoriak az elegyfajok (Mátyás 1997).

A klímakategória társulásai florisztikai és gazdasági szempontból is értékesek, bár fafajokban aránylag szegényebbek, viszont más klímakategóriák társulásaihoz képest kisebb mértékben bolygatottak (Mátyás 1997).

A bükkösök fő zonális társulás-típusai Borhidi (2007) szerint:

- Montán bükkösök
- Előhegységi (szubmontán) és zonális bükkösök
- Mészkerülő (acidofrekvens) bükkösök
- Illír bükkösök

A bükkös klímájú hegyvidékek sziklás, meredek oldalain, görgeteges lejtőin és szurdokaiban a különleges talaj- és mikroklimatikus viszonyok miatt azonális jellegű társulások jelennek meg. Gyenge fatermő képességű, bolygatásra érzékeny, hiányos záródású állományok. Természetvédelmi értékük ellenben nagy, számos ritka növény- és állatfaj élőhelyei.

Legfontosabb főtípusaik:

- Juhar-kőrös szurdokerdők
- Andezit-szurdokerdők
- Mecseki szurdokerdők
- Sziklai bükkösök
- Tiszafás bükkösök

### 2.1.5 A bükk genetikai tulajdonságai, paleobotanikai vonatkozásai

A *Fagaceae* család a késő Kréta korban alakulhatott ki Észak-Nyugat-Amerikában. A család egyedei később a Bering-szoroson keresztül terjeszkedtek Ázsiába és a Késő Negyedidőszakban jelentek meg Európában. A *Fagus sylvatica* vonal az eocénban jelent meg. A pleisztocén időszakot a bükk Európában több refúgiumban vészelte át. A felmelegedések idején Dél-Európában és szórványosan Közép-Európában is megtalálható volt (Barna et al. 2011).

Egyes szerzők szerint elképzelhető, hogy a Kárpátok nyugati szélén és a Bihar-hegységben is volt a bükknek kisebb kiterjedésű refúgiuma (Magri et al. 2006, Magri 2008). A Kárpát-medencében és a Kárpátokban található bükkösök kb. 5000 évvel ezelőtt jelentek meg, a Délnyugat-Dunántúlon viszont valószínűleg már 1000 évvel korábban (Mátyás 1997).

A bükk jól repülő pollenje nagy távolságokban is fenntart kismértékű génáramlást, döntően idegenbeporzó fafaj (Mátyás 2002). Sűrű állományokban viszont főleg a szomszédos fák termékenyítik egymást, amely kisebb genetikai változatosságot eredményez egy-egy erdőtömbön belül (Jump & Penuelas 2007). A keleti bükk (*Fagus orientalis* Lipsky) fafaj genetikai változatossága jóval nagyobb, ami filogenetikailag korábbi eredetet mutat (Mátyás 2002; Gömörly et al. 2007). A bükk fafajon belül a balkáni és az itáliai előfordulások erősen különböznek a többitől, és az area szélei felé haladva csökken az allélgazdagság, amely a jégkorszak utáni kolonizációval járó sokszori genetikai palacknyak-hatás nyoma (Comps et al. 2001, Mátyás 2002).

A nem túl nagy genetikai változatosság ellenére a faj adaptivitása jelentős, hiszen képes volt nagy területeken elterjedni. A fenológiai viselkedés kontinentális trendet mutat: az atlanti populációk későn fakadnak, később fejezik be vegetációjukat, azaz az éves ciklusban magasabb hősszeg-küszöbértékekhez adaptálódtak. A kontinentális helyszínek, ill. montán fekvések populációi korán fakadók, vegetációjukat korábban fejezik be. Ugyanakkor az előbbi trenden belül aránylag kisebb távolságra is eltérő viselkedésű populációk fordulhatnak elő. A különbségeket a mezoklimában mutatkozó eltérésekkel csak részben lehet magyarázni. (Mátyás 2002).

## 2.2 A bükk erdőművelési tulajdonságai

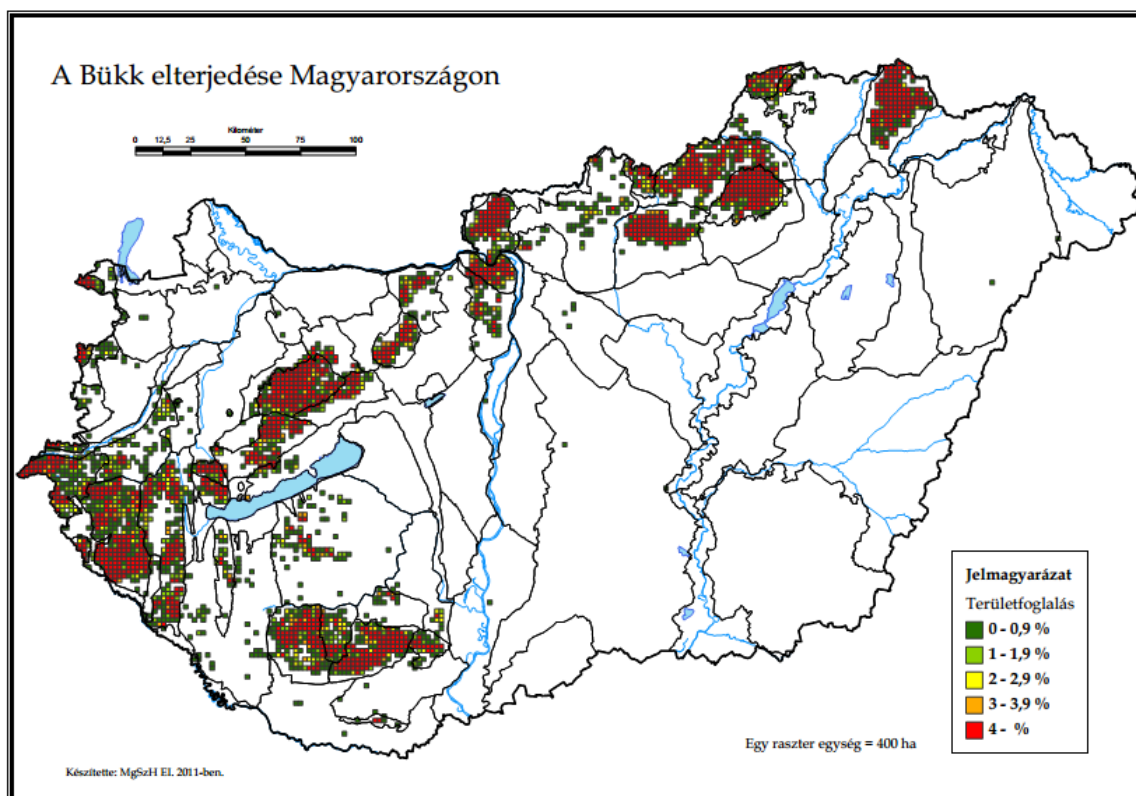
A bükk jellemzője a fiatalkori árnytűrés. Növekedése lassú. Nem túl hosszú életű fa, 200 éves kora felett általában igen erős bélkorhadás alakul ki. A bükk csemetenevelése problémás, de a bükk erdőfelújítása Magyarországon ma szinte kizárólag természetes úton történik. Jó makktermést követően tömeges az újulat, amely fokozatos bontással jól felnevelhető. A bükk visszاسzerző képessége mérsékelt, alvórügyei viszonylag rövid ideig (20 év) életképesek, ezért ha kifejlett korában szabad állásba kerül, a tölgyektől eltérően nem keletkeznek rajta fattyúhajtások. Ilyenkor gyakran héjaszás is fellép a törzsek napsütötte oldalán. Gyökérsarjakat nem fejleszt, és csak a fiatal fák tuskói sarjadnak kielégítően. Kéregsebeit igen lassan, vagy egyáltalán nem növi be (Danszky 1975, Gencsi & Vancsura 1995).

Fülledékenysége miatt a faanyagát nem tartották értékesnek. A faanyag gőzöléses kezelésének elterjedésével viszont kiváló ipari nyersanyaggá, értékes árucikké vált. (Mátyás 2002)

A bükk erdőművelési szempontból könnyen nevelhető. Árnytűrő fafaj, minden lombkorona szintben életképes. Jól záródó koronáival megfelelő neveléssel kiváló törzsárnyaló és magassági-növekedés fokozó hatás érhető el. Bükköseink alatt alsószint emiatt általában nem tud kialakulni. Mivel jól differenciálódik, a természetes kiválasztódás folyamata viszonylag lassú. Növekedése kezdetben lassú, 10 éves kor után gyorsul, majd magassági növekedési maximumát 20 éves korban, vastagsági növekedési maximumát pedig 30-35 éves korban éri el. A kis bükkcsemetéket így lassú növekedésük miatt más fafajok elnyomásától szenvedhetnek. A bükk fafaj képes koronáját gyorsan növelni, emiatt igen plasztikus. A nevelővágások után a koronák hamar újra záródnak. Élettartama közepes (150-300 év). Törzsalakja általában kedvező. Hátrányos tulajdonsága, hogy vékony kérge miatt igen sérülékeny. Ezenkívül sarjadó képessége is gyenge, csak tuskósarjakat fejleszt. (Majer 1972)

## 2.3 A bükk fafaj hazai térfoglalása és erdőgazdasági jelentősége

A bükk fafaj hazánk erdőterületeinek az Országos Erdőállomány Adattár szerint mintegy 6,3%-át foglalja el és fakészletünk 7,5%-át adja. Azaz fakészletének aránya nagyobb, mint területi aránya. Tovább növeli jelentőségét, hogy nagytájaink közül csak hegy- és dombvidékeken fordul elő, hazánk legnagyobb területeiről gyakorlatilag hiányzik. Faanyaga fontos ipari alapanyag és kiváló tűzifa. Bükköseink továbbá a fa sima kérge és minden évszakban esztétikus megjelenése miatt a legkedveltebb kirándulóhelyek közé tartoznak. A bükk hazai nagytájak szerinti megoszlását az 1. táblázat tartalmazza. A bükkös erdőrészek elhelyezkedése az 2. ábra átható. Legnagyobb területe a bükknek az Északi-középhegységben van. Ezt követi a Dunántúli-középhegység, a Nyugat-Dunántúl, majd a Dél-Dunántúl. Ez a sorrend fennáll a bükk arányát tekintve is. Alföldi tájainkon, alacsony térszíneken a bükk előfordulása a fafaj termőhelyi igényeiből adódóan minimális, valamint az alföldi állományok mind mesterségesen telepítettek (2. ábra). Bükkösökkel jellemzően magasabb térszíneken, a középhegységeken találkozunk, illetve a Dél-Dunántúli dombvidéken (3. ábra).

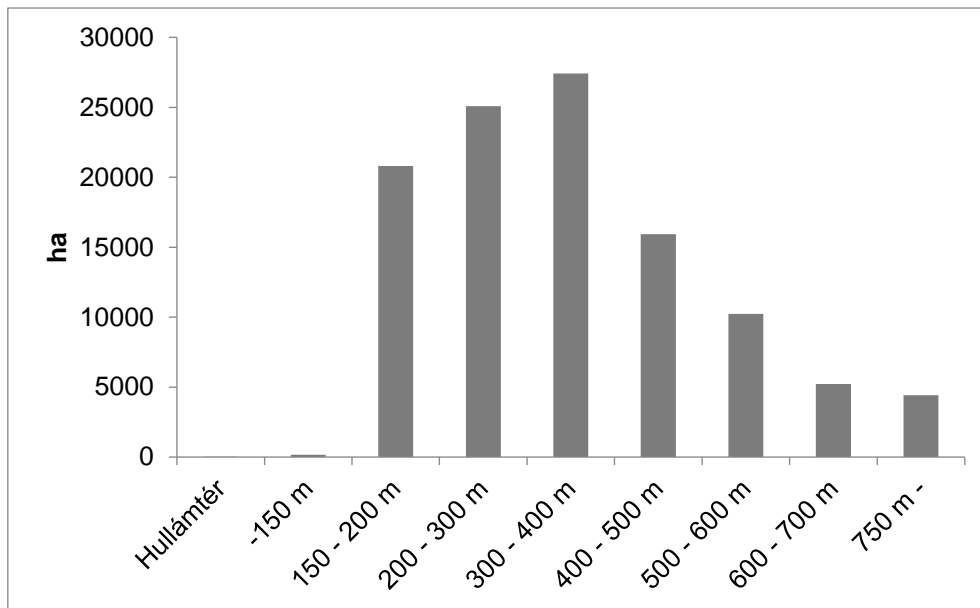


2. ábra: A magyarországi bükkös erdőrésztetek elhelyezkedése a NÉBIH 2011-es adatai szerint.

1. táblázat: A bükk fafaj fakészlete és területfoglalása hazánk főbb régióiban (NÉBIH 2012).

	Bükk fakészlet (m <sup>3</sup> )	Egyéb fakészlet (m <sup>3</sup> )	Bükk terület (ha)	Egyéb terület (ha)
Dél-Dunántúl	902761	17086753	15267	309972
Dunántúli-középhegység	1523138	8745761	26956	224293
Északi-középhegység	2428288	13290538	50328	370431
Kisalföld	1648	3463278	13	69642
Nagyalföld	400	23831230	10	587534
Nyugat-Dunántúl	1033816	11621007	16709	162115
Országosan	5890051	78038567	109282	1723987

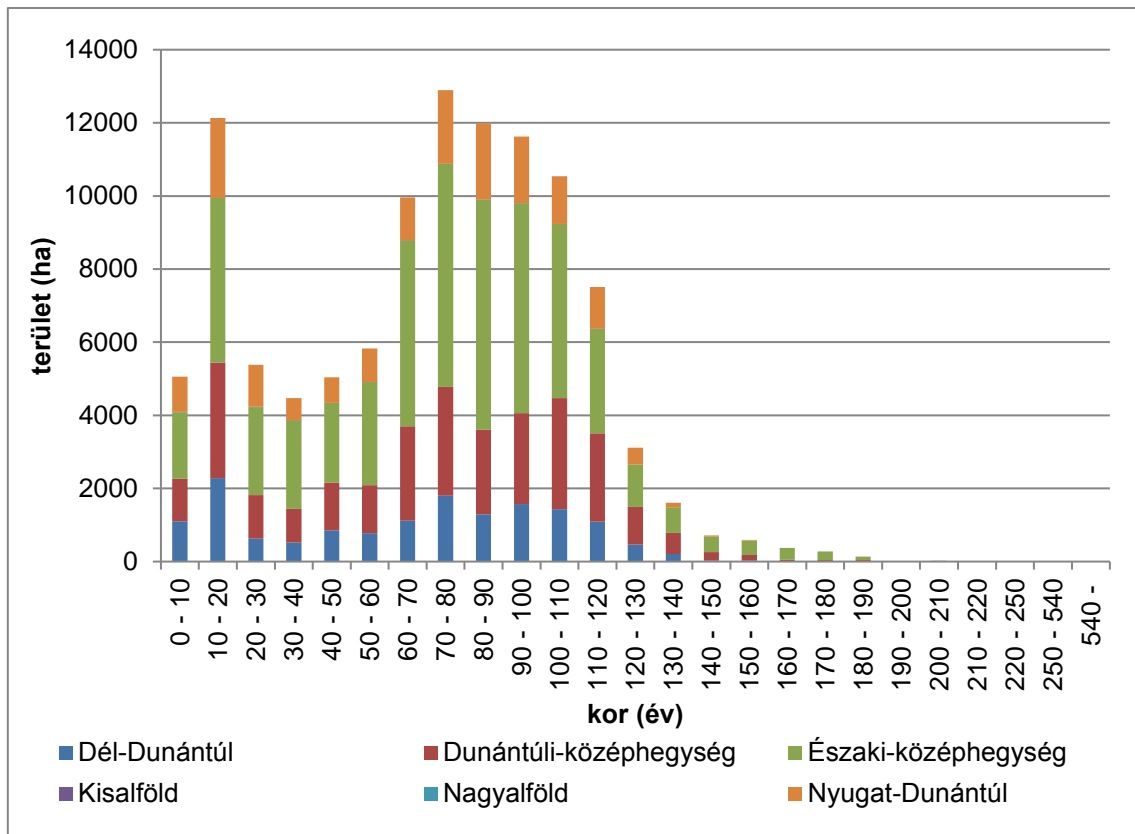




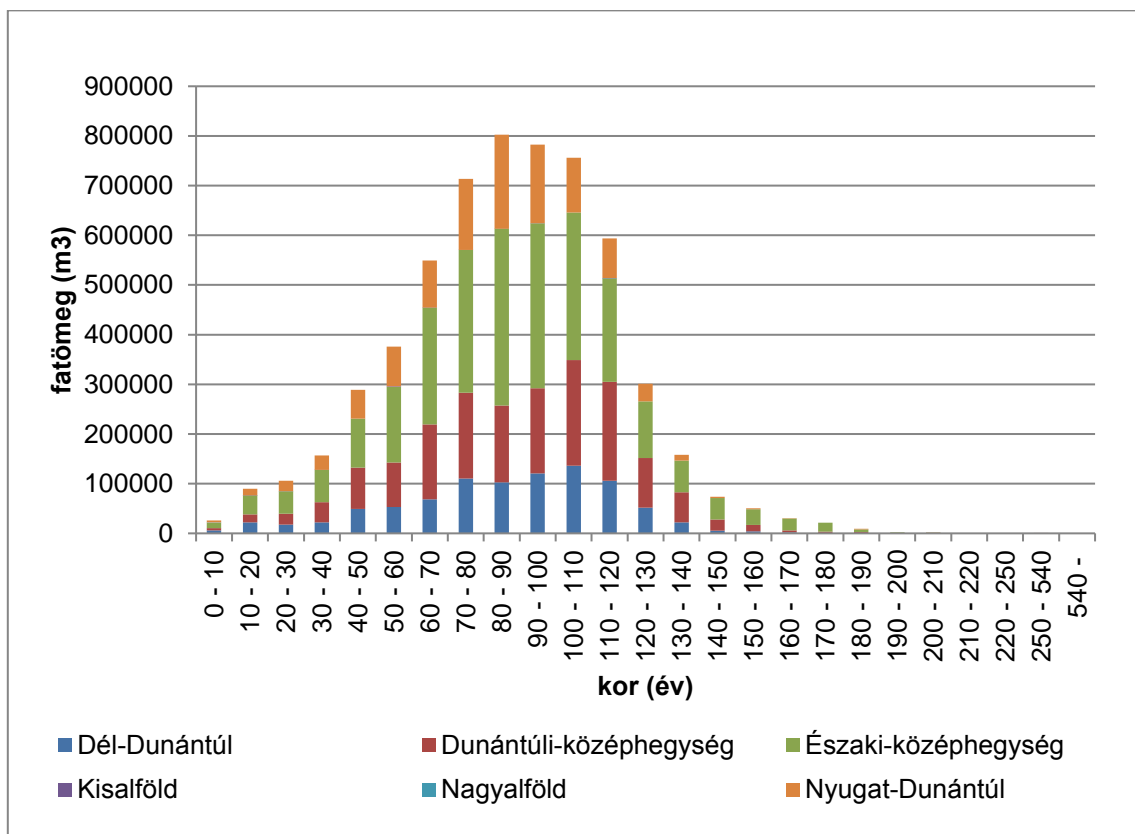
3. ábra: A bükkösök területfoglalása tengerszint feletti magasság függvényében (Nébih EI 2012).

Bükköseink koreloszlását tekintve látható, hogy zömében 60 és 110 éves kor közöttiek állományaink (120 év körüli leggyakrabban az alkalmazott vágáskor) és ezek adják a fatömeg zömét is. Nagy területet foglalnak el a fiatal állományok is, természetesen a fatömegben viszont nem jelentős az arányuk. A koreloszlás a bükk jellemző nagytájaiban egymáshoz hasonló (4. ábra és 5. ábra).

A bükkösök korosztályok szerinti területi megoszlása kedvezőbb lenne, ha az 50 év alatti és feletti állományok területarányai egymástól kevésbé térnének el hazánkban.



4. ábra: A bükkösök korosztályok szerinti területe erdészeti tájcsopontonként (Nébih EI 2012).



5. ábra: A bükkösök korosztályok szerinti fatömege erdészeti tájcsopontonként (Nébih EI 2012).

Hazánkban kevés az olyan terület, ahol a bükk számára minden ökológiai feltétel megfelelő. Elsősorban a klímaadottságok jelennek meg korlátozó tényezőként (Ódor & Standovár 2011). A hazai klíma ugyanakkor a témakör magyarországi és nemzetközi kutatói szerint is a legutóbbi időszakban változásokat mutat: gyakoribbá váltak az aszályos periódusok és általában az extrém időjárás is (Führer 1995, Berki et al. 2007, Cannel & Sparks 2008, IPCC 2007). Ilyen helyzetben a klímaváltozás, az egyre gyakrabban jelentkező szélsőséges időjárási események (aszály, vihar, zúzmara, kései fagy, és más károk) jelentősen veszélyeztetik, és gyakorlatban is károsítják a bükk-állományokat.

Az erdőállományokban ez a fokozatosan erősödő ökológiai és ökonómiai problémát jelent, melynek kezelése egyre nagyobb erőforrásokat vesz igénybe. A bükkösöket érő szélkár, az újulatot elpusztító kései fagy, vagy az aszálykár önmagában is jelentős erdőgazdálkodási többletköltséget jelentő káresemények, amelyekhez gyakorta biotikus károk is társulnak.

## 2.4 A bükkösök magyarországi erdőkárainak irodalmi áttekintése

### 2.4.1 A bükkösök általános erdővédelmi helyzete

A bükkösök erdővédelmi helyzetét napjainkban meghatározza a klímaváltozás folyamata, mivel a bükk klímaigénye a többi fafajhoz képest szűk sávban mozog. A klímaváltozás hatásai a hazánkban előforduló erdészeti klímakategóriák közül a legkisebb térfoglalású bükkös klímára gyakorolják a legdrámaibb hatást. Fa fajaink közül a bükk kitétsége a klíma-anomáliáknak ezért igen nagy. Külön ki kell emelni a bükkpusztulás jelenségkörét, amely a klímaváltozással párhuzamosan jelentkezik, bár lefolyása és a benne részt vevő károsítók és kórokozók földrajzi régióként is eltérőek. Emiatt a bükkpusztulás jelensége részletesebb tárgyalást igényel.

A bükkösök egészségi állapotában kimutatható romlások következtében már egész Európában érzékelhetőek a változó időjárási trendek hatásai (Fischer et al. 2010).

Az ICP-Forests adatai alapján Európában 1997-től kezdődően a bükk mintaterületeken átlagosan 20% körüli volt a lombhiány, amely azonban enyhén növekvő trendet mutat. 1992 és 2004 között a tünetmentes fák aránya 43,7%-ról 18,3%-ra csökkent. A mintapontok 8,1%-án romló az egészségi állapot trendje; 10,5%-án pedig javulást mutat. Európában a bükk esetében a legmagasabb kárértékeket 2003-ban jegyezték, az akkori erős aszály miatt, amely után azonban regeneráció volt megfigyelhető (Lorenz & Becher 2012). Ugyanakkor az elmúlt években a legtöbbször az egymást követő években emelkedik a bükkösökben a lombvesztés értéke (Michel & Seidling 2014). A 2003-as különlegesen erős közép-európai aszály Németországban is komoly károkat okozott (Low et al. 2006). Lengyelországban szintén emelkedett az elmúlt időszakban az aszályos évek száma, de a bükkösök szempontjából az időjárási extrémítások okoztak problémákat: a kései fagyok és a szélkárók voltak a legjelentősebb károkok (Jarzyna 2021).

A mediterrán térség aszályal sújtott részein növekedés és csökkenést is kimutattak (Jump et al. 2006).

Angliában az 1989-es és 1990-es aszályok a déli országrészekben a bükkösökben jelentős egészségügyi romlást eredményeztek: koronaritulást, kislevelűséget, levélpöndörödést, növedék-visszaesést (Innes 1992, Ling et al. 1993, Power et al. 1995). Bulgáriában szintén megnövekedtek az elmúlt évtizedekben a bükkösöket érintő kárók, a legsúlyosabb károkat többnyire abiotikus káreseményhez (hó- és jégtörés, jégeső) vagy a nem megfelelően végzett fakitermelések okozta sebzéseket követően fellépő gombakárosítók okozták (Georgieva et al. 2019).

Európa nyugati, atlantikus területein viszont épp a felmelegedés teremthet majd (bár mérsékelt kiterjedésű) újabb alkalmas termőhelyeket (Hlásny et al. 2011). Svédországban érdekes módon a helyi bükkpopulációkban a korábbi 5 évente ismétlődő jó makktermés periódusa rövidült, mostanában már átlagosan 2,5 évente van tömeges termés a klímaváltozás miatt (Övergaard 2010). Azaz Svédországban a változások kedvezőek a bükk reprodukciója szempontjából.

A bükk fafaj ráadásul fiziológiásan érzékenyen reagál az aszályal összefüggő károokra. Például a fák növekedése ősszel a levelek 10%-ának elsárgulásakor leáll. A klímaváltozás miatti őszi meleg és száraz időjárás meghosszabbítja a bükkösök őszi fenológiai folyamatait a levél-sárgulástól (mely egyre korábban kezdődik) a teljes lombhullatásig (mely egyre későbbre tolódik). Ez viszont pont a téli nyugalmi időszak

rovására történik, amely nem biztos, hogy így kellő időtartamú lesz a fák téli nyugalmi folyamatainak zavartalan lezajlásához (Bednářová & Merklóvá 2007).

#### 2.4.2 A bükkösök erdővédelmi helyzete Magyarországon

Magyarországon a bükk számára ideális termőhelyek területe összességében csekély, ennek ellenére a fafaj jelentős összefüggő területeken természetes állományokban is jelen van. Ugyanakkor ez a fafajunk a második a sorban a lucfenyőt követően a hűvös-csapadékos klímaigény tekintetében. A bükkös-klímakategória határain, vagy adott esetben azon kívül eső állományokban hazánkban ez a fafaj a szakirodalmak szerint megfelelő növekedést mutatott a múlt század közepéig. Azonban az erdővédelmi szakemberek már jelentős pusztulásokat, és más káreseményeket regisztráltak az elmúlt néhány évtizedben.

Emellett hazánkban az átlaghőmérséklet növekedésével és a tenyészidőszaki csapadék csökkenésével várhatóan a bükkösök egészségi állapotának romlása fog bekövetkezni. Sajnos elképzelhető az is, hogy bükköseink területe csökkenni fog (Berki et al. 2007, Molnár & Lakatos 2007, Somogyi 2007, Szabados 2007).

Az elmúlt évtizedek trendjei pontosan ugyanezt mutatják, mind az egészségi állapot, mind a növedék tekintetében (Führer 1995, Janik et al. 2012).

Gyakoriak lettek az aszálykárok, és hozzájuk társulva a rovarkárok is, és különösen érzékenynek tűnnek a zalai bükkösök (Janik et al. 2012, Molnár & Lakatos 2007).

Amennyiben hazánkban az alkalmas bükk termőhely csökkenni fog (Mátyás et al. 2010), ez erdőgazdálkodásunkra erős negatív hatással lehet (Führer et al. 2011).

Érdemes megemlíteni, hogy a klímafüggés ellenére a bükk állományok bizonyos mikroklíma-módosító szerepet is be tudnának tölteni megfelelő körülmények között. A REMO klímamodell szerint hazánk északkeleti részén az erdők jelenléte a klímaváltozás miatti csapadék-csökkenést bizonyos mértékig enyhíteni tudná (Gálos et al. 2011).

### 2.4.3 A bükkösök hazánkban jellemző kártípusai

A bükk elterjedtsége és állományalkotó volta miatt sok (bár a tölgyekénél jóval kevesebb) fogyasztó és lebontó szervezet gazdanövénye. Általánosságban mind károsítóinak, mind kórokozóinak fajszáma jelentős. A lombfogyasztó rovarjainak nagy része polifág (Gencsi & Vancsura 1995). Az idős, beteg törzseken gyakoriak a különféle gombák és taplók, mint például a legjellemzőbb bükktapló: *Fomes fomentarius* (L.: Fr.)Fr. (Igmándy 1991). A romlandóság oka a faanyagot rovaroktól és gombáktól védő cseranyagok, tanninok hiánya. Az abiotikus károk közül jellemző a bükkre viszonylagos érzékenysége a szélöntésre.

A hazánkban legfontosabb bükk kártípusok, károsítók és kórokozók a következők:

#### Kártevő rovarok

##### Gyökéren károsítók:

Magyarországon legnagyobb jelentősége a májusi cserebogárnak, *Melolontha melolontha* L. van, de helyenként és évenként más fajok (pl. *M. hippocastani* Fabr.; *M. pectoralis* Mergele) szerepe is megnőhet (Tóth 1999, Győrfi 1957). Az erdészeti szempontból jelentős fajok többsége 3 éves fejlődésű, ám a fejlődési idő az időjárás függvényében változhat. A pajorok gyökérvárosítása miatt igen jelentős erdészeti és mezőgazdasági károsítók, különösen csemetekertekben és az erdősítésekben. Tavasszal, április végén, május első felében kezdődik meg rajzásuk, elsősorban állományszegélyeken. Ekkor a kifejlett nemzök erőteljesen rágják a leveleket, tömegszaporodásakor tarrágást is okoznak. Kedvenc tápnövényeik a tölgyek, de gyakorlatilag minden fafajt fogyasztanak. Laza és kötött talajokban egyaránt előfordulhatnak, de komoly károkat könnyen felmelegedő homoktalajokon okoznak, elsősorban csemetekertekben, erdőfelújításokban és erdősítésekben (Janik et al. 2008).

A pattanóbogár-félék (*Elateridae*) közül számos faj felléphet kártevőként, erdei élőhelyeken a szegélyes pattanó (*Dolopius marginatus* L.) a leggyakoribb, de mezőgazdasági kártevőként ismert *Agriotes* fajok sem ritkák (Tóth 1999).

Álcáik, melyeket kemény kitinvázuk miatt drótféregnek nevezünk, elsősorban csemetekertekben, és fiatal erdősítésekben okoznak károkat, a gyökérvétésével. Sok fajuk azonban mindenevő, korhadéklakó, vagy ragadozó. Amennyiben a talaj felső rétegében elegendő nedvesség van és elegendő mennyiségű lágyszárú növényzet található, általában nem okoz kárt, de szárazság esetén érzékeny károkat okoznak a fiatal csemetékben. Előnyben részesítik a savanyú, kötött talajokat, ellentétben a cserebogarakkal. Nyár végén a talajban kialakított bábbölcsőben bábozódnak, és az imágók a bábbölcsőben telelnek át (Csóka et al. 2008, Győrfi 1967, Laibner 2000).

A növényekkel táplálkozó fajok álcái kedvelik a magokat, gyökér és szárkezdeményeket. Különösen szeretik a dugványokból meginduló hajtásokat. Kárképe hasonlít a cserebogár-pajorok kártételére: hiányos kelés, foltos vagy soron haladó száradás a csemetekertekben és erdősítésekben (Tóth 1975).

## Törzsön károsítók:



6. ábra: A zöld karcsúdíszbogár imágója, peterakása, és a lárvá rágásképe.

A zöld karcsúdíszbogár (*Agrilus viridis* L.) kulcsszerepet játszott hazánkban a bükkpusztulás folyamatában (Lakatos & Molnár 2009). Tömeges elszaporodásakor képes egyes fák elpusztítására (7. ábra, 6. ábra).

Változatos fajcsoport, Muskovits és Hegyessy (2002) 3 változatát említik. Európában, Közép- és Észak-Ázsiában gyakori. Magyarországon szinte mindenütt megtalálható, és igen gyakori díszbogár faj. Fő gazdanövénye a bükk, de más fafajokon is előfordul (Győrfi 1963).

Kimondottan melegkedvelő rovar, fejlődésmenete is nagyban függ a hőmérséklettől, de 1-2 évig tart. Emiatt kártételére leginkább a megbontott állományokban és az erdőszegélyekben, különösen délies fekvésű, jól benapozott helyeken kell számítani, száraz és meleg időjárású éveket követően. A károsító fellépésekor a kéreg megrepedezik, a korona kigyűrül, elszíneződik és a lombzat elfonnyad. Egyes ágak hirtelen elhalnak, akár csúcsszáradás is bekövetkezik. A petéket védő meszes, szürkésfehér foltok, fehéres nedvfolyások a törzsön (súlyos esetben az ágakat madárürülék-szerűen borítja), és végül a jellegzetes kirepülési nyílások jól jelzik a bogár jelenlétét (Kamp 1952, Levey 1977, Scönherr 1974, Csóka et al. 2013).



7. ábra: A zöld karcsúdíszbogár lárvá.

Németországban tömegszaporodásával már 1950-es évek elejétől komoly károkat okoz, akkor a fertőzött fák döntésével, fogófák alkalmazásával igyekeztek enyhíteni a károkon (Heering 1956, Kamp 1956). A német erdőkben – ellentétben a hazánkban megfigyelt kárlefolyással - a bükkpusztulásban résztvevő gomba többnyire valamelyik fitoftóra-faj, és így a kivételesen csapadékos időjárás iniciálja a folyamatot. Ebben az esetben a fitoftóra először a gyökérzetet pusztítja. Ezt a kárlefolyási típust 1981-1983 között, valamint 1994-1995 között is megfigyelték a német erdőkben jelentkező bükkpusztulás kapcsán (Hartmann & Blank 1998). A legutóbbi németországi tömegszaporodások időpontjai: 2003-2004 (Schröter et al. 2004) és 2007-2008 (Petercord 2008).

A Krím-félszigeten érdekes módon a *Rhytisma acerinum* Fr. levélgomba-faj által megtámadott és legyengített hegyjuhar-törzseket károsítja, ott ezzel a gombafajjal közös előfordulású (Győrfi 1963).

Magyarországon több nagyobb károsítása történt az irodalmi leírások alapján, jobbra még az erdővédelmi jelzőlapok rendszerének bevezetése előtt: 1885 (Piso 1885), 1932-1933-ban és 1954-ben gyertyán és tölgy állományokban (Győrfi 1963). 2003-ban és 2004-ben, aszálykárokat követően a zalai bükkösökben okozott súlyos károkat, amikor szintén erdőrészeket letermelése vált szükségessé (Lakatos & Molnár 2009). Gyakorta lép fel a zöld karcsú-díszbogárral együtt a bóbítás bükkszú, károsítását pedig rendszerint követi a *Biscogniauxia nummularia* Kuntze gomba fellépése. (Lakatos & Molnár 2009)

A bóbítás bükkszú (*Taphrorychus bicolor* Hbst.) hazánkban részt vesz a bükkpusztulási folyamatban, akár a zöld-karcsúdíszbogárral együtt, emiatt erdészeti szempontból jelentős bogárfaj. Ugyanakkor a karcsúdíszbogárhoz viszonyítva csak jóval lassabban képes fák elpusztítására. (Csóka et al. 2008; Lakatos & Molnár 2009, Mátyás et al. 2010) (8. ábra). Feltehetően a bükk-pusztulás gomba-kórokozójának vektora is lehet (Bolvanský et al. 2014). Több gazdanövénye van, támadását jellegzetes fekete nedvfolyás jelzi (Postner 1974, Schönherr & Krautwurst 1979). A nőstények petezésre előszeretettel választják a kései fagy által károsított kéregfelületeket (La Spina et al. 2012).

Érdekessége, hogy lárvájátaiban és az imágók Malphigi-edényeiben megtalálható a *Bursaphelenchus fagi* fonalféreg, mely gyengén patogén hatású a bogárra. A fonalféreg kölcsönhatása a bükkfával még nem ismert (Tomalak & Filipiak 2014).

Hazai károsításai közül emlékezetes az új évezred első néhány évében Zalában történt kiterjedt bükk-pusztulásban való részvétele (Lakatos & Molnár 2009).

Erdővédelmi jelentősége Európában is nagy, németországi tapasztalatok is az aszálykárokat követő, elsősorban kigyérült állományokat tartják fogékonnak a bükkpusztulás fellépésére és e rovar fölszaporodására (Schönherr et al. 1983). Legjelentősebb kárai Németországban is 2003-ban voltak (Delb 2006). Egyébként csapdázások szerint igen gyakori rovar a bükkösökben (Simon 1995). Horvátországban szintén 2003-as erős kártételét regisztrálták (Hrašovec et al. 2005).





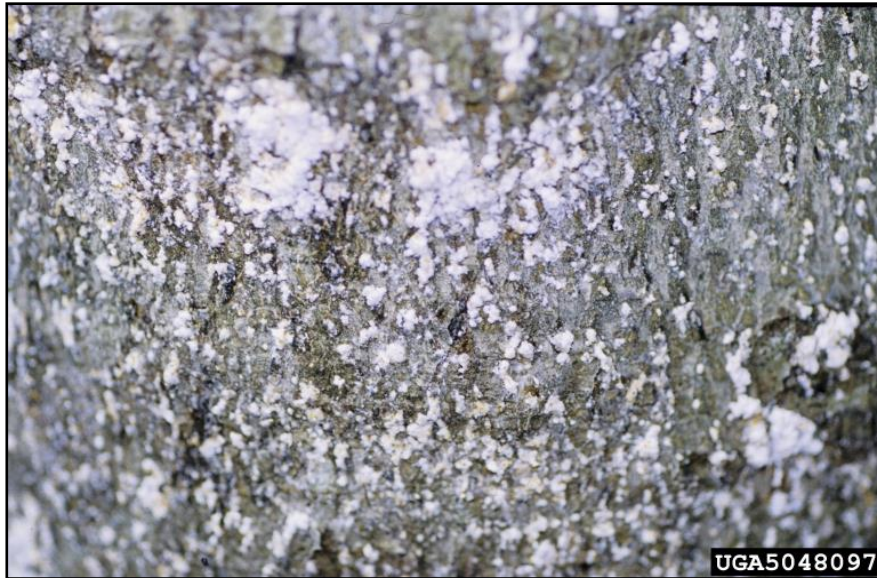
8. ábra: A bóbitás bükkészű kárképe.

A bükk gyapjas-pajzstetű (*Cryptococcus fagisuga* (Lindinger)) az előző fajhoz hasonlóan vektora lehet a bükk-pusztulásban szerepet játszó gombafajoknak, és a Nectriás kéregelhalás fő terjesztője (Szontagh 1989a).

Nyugat-Európában és Észak-Amerikában igen gyakori ez a bükk-kéregbetegség, és ott is legfőbb vektora a *C. fagisuga*. A *Nectria coccinea* gombafaj okozza a tetvek szívogatásával terjedve a felrepedező és nedvedző kéregsebeket. Észak-Amerikában invazív volta miatt igen komoly károkat okoz (Ehrlich 1934, Perrin 1983, McCullough et al. 2003).

A Nyugati – Kárpátokban, Selmecbánya környékén szintén előfordult a bükkpusztulás Nectriás változata a pajzstetűhöz kapcsolódóan (Kunca & Leontovyč 1999).

Hazánkban ez a kéregbetegség nem járványszerű, de a sok évig tartó erős gyapjas-pajzstetű fertőzés elpusztíthatja a fákat (Csóka et al. 2008). Általában egymáshoz közeli fákon jelenik meg, rossz repülőképessége miatt a szél segítségével is kell a terjedéséhez (Győrfi 1963, Wainhouse 1980). Genetikai kutatások alapján eredeti tápnövénye a keleti bükk lehetett (Gwiazdowski et al. 2006). Németországban aszályal összefüggő felszaporodását írták le (Schmutterer 1974). A német területeken az 1990-es évek közepén ismét nagyobb mértékű tömegszaporodása fordult elő, melynek vizsgálata során a faegyedek fogékonyságának genetikai összefüggéseit is kimutatták (Gora et al. 1994b, Krabel & Petercord 2010). Észak-Amerikában behurcolt károsító, a *Nectria* kórokozóval az amerikai bükk állományokban súlyos károkat okoz, és emiatt kiemelt jelentőségű (Ramirez et al. 2006). Ebben a kárfolyamatban is fontos szerepe van a fák előzetes meggyengülését okozó környezeti tényezőknek (Lonsdale 1980).



9. ábra: Bükk gyapjas-pajzstetű bevonatszerű megjelenése a kérgen. (Joseph O'Brien, USDA Forest Service, Bugwood.org)

### Levélen károsítók

A bükk gyapjaslepke (*Calliteara pudibunda* L.) hernyója jellegzetes okkersárga pamacsot visel (Tóth 1999).

Egynemzedékes, polifág faj. Egészen az ősz elejéig táplálkoznak, tömegszaporodáskor a levéllemez részeit vagy egészét is elfogyasztva, majd a talajtakaróban, laza szövedékben bábozódnak, és ebben az alakban telelnek át. Elsősorban száraz, napos, déli kitettségű bükkösökben telepszik meg. Elszaporodása csak kiritkult vagy rossz termőhelyen álló állományokban várható (Wellenstein 1974, Csóka et al. 2008).

Említésre méltó tömegszaporodások hazánkban nem fordultak elő (Szabóky & Leskó 1999). Ellenben Európa nagy részén, a bükk fő elterjedési területén hasonló jelentőségű, mint tölgyesekben a gyapjaslepke (Wellenstein 1974).

A legutóbbi években a klímaváltozással összefüggően a olyan károsítók is előfordulnak, amelyek korábban bükkösökben nem voltak megfigyelhetőek. Legjelentősebb ilyen esemény az előző fajjal rokon gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) tarrágása volt a hazai bükkösökben, amely faj eredendően tölgyesekben jellemző, lévén fő tápnövénye a csertölgy (Csóka et al. 2008). Ez a jelenség korábban csak igen ritkán volt megfigyelhető, kivételesen erős tömegszaporodás esetén (Györfy 1963, Szontagh 1986).



10. ábra: Peterakó gyapjaslepke nőstény.

Az araszoló fajok (*Geometridae*) hazánk erdeiben gyakori károsítók. Jellemzőjük, hogy a nőstények általában csökevényes szárnyúak és röpképtelenek. A hernyók jellegzetes mozgásáról kapták nevüket (Szabóky & Leskó 1999).

A lombrágást általában több faj együttesen okozza: *Agriopsis (Erannis) aurantiaria* Hübn., *Colotois pennaria* L., *Erannis defoliaria* Clerk, *Opheroptera brumata* L., *Opheroptera fagata* Scharfenberg., *Ennomos quercinaria* Hufnagel. de az egyes években a fajok szerepe, jelentősége eltérő. A nőstények a rügyek közelében helyezik el petéiket. Pete alakban telelnek, majd a hernyók a rügyfakadással egy időben kelnek, és megkezdik táplálkozásukat először a rügyeken, majd a kifejlődő, zsenge leveleken (Csóka et al. 2008).

Emiatt rügykártételük jelentős, bár kevésbé könnyen észlelhető, mint a megrágott levéllemezek. Gyakran elpusztítják a bükk virágzatát is, ezáltal erősen csökkenthetik a makktermését. Az araszolók számára a hideg, esős és késői fagyos idők annyira kedvezőtlenek, hogy a gradáció (tömegszaporodás) alig vagy ki sem alakul, vagy idő előtt összeomlik (Szontagh 1989b).

Egész Európára kiterjedő vizsgálatok alapján a kis téli araszoló általában 10 évente tömegszaporodási hullámot mutat, amely K-DK-i irányból Ny-ÉNY-felé terjed, és szintén 10 év alatt halad végig a kontinensen, így folyamatosan vannak tömegszaporodásos területek (Tenow et al. 2013).

A bükk bolhaormányos, *Rhynchaenus fagi* L. a legjelentősebb levélkártevője hazánkban a bükknek. Ugyanakkor tömegszaporodásai csak időszakonként nagy kiterjedésűek. Hazánkban eddig súlyosabb károkat az 1980-as évek második felében okozott. Megfigyelések szerint a több éves aszály és a kései fagyok elősegítik a gradáció kialakulását (Szontagh 1989a, Csóka et al. 2008). Ugyanebben az időszakban szlovén területeken is tömegszaporodást tapasztaltak (Jurc 1997).

Telelés után petezésre és táplálkozásra a bogarak inkább az árnyékleveleket választják. A lárvák közül kétszer annyi képes kifejlődni az árnyékleveleken, mint a fénynek kitetteken, viszont a fényleveleken fejlődő lárvák nagyobb testtömeget érnek el. A lárvákból kifejlődő fiatal bogarak pedig főként a fényleveleken táplálkoznak (Schardt et al. 2006).



A hosszan tartó erős téli fagyok jelentősen tudják csökkenteni egyedszámát, így az enyhe telek a tömegszaporodást segítik elő (Coulson & Bale 1996).

A bükklevél gubacsszúnyog (*Mikiola fagi* (Hartig)) a levél színén tojásdad, hegyesedő, világoszöld, majd pirosodó, keményfalú, egykamrás gubacsot képez (Skuhrava & Skuhravy 1994, Jensen 2006). A madarak gyakran felnyitják a gubacsot, és kieszik a lárvát. Vadrágott fiatalosokban, sarjakon helyenként tömegesen is megjelenhet, és ritkán a fiatal fákcskák pusztulását is okozhatja (Csóka et al. 2008).

Hasonló életmódú, de hazánkban ritkábban kerül szem elé a *Hartigiola annulipes* Hartig gubacsdarázs, melynek gubacsai szőrösek. Nemezes gubacsot okoz a levél hátoldalán az *Eriophyes nervisequus fagineus* (Nalepa) gubacsatka (Csóka 1997).

A bükklevél-gyapjastetű (*Phyllaphis fagi* L.) hazánkban a lomblevelek szívogatásával károsít, elsősorban kései fagyokat követően és fiatalosokban (Szontagh 1989a). Hazánkban gyakorta megfigyelhető, de általában jelenléte önmagában nem okozza a fák pusztulását. Életciklusa a koronában zajlik, a vékony ágak alsó oldalán, de legfőképpen az ágvillaiban telel (Szalay-Marzsó 1999, Iversen & Harding 2007, Kot & Kmiec 2012).

Csemetekerti kísérletek alapján preferálja a jó tápanyag-ellátottságú talajokon álló fákat. Igazolták azt is, hogy a fák a támadás mértékével arányos mennyiségben igyekeznek védekezni bizonyos vegyületek termelésével. Ez erőforrást von el normális élettevékenységeiktől, és a tetvek okozta stresszhez hozzájárul (Gora et al. 1994a, Polle et al. 2001).

### Terméskárosítók

A bükkmakkmoly (*Cydia fagiglandana* Zeller) egész Európában elterjedt. Petéit a magkezdeménybe rakja, ahol a hernyó a teljes kifejlődésig él. Nyár végén, ősz elején a hernyó – miután többnyire teljesen kirágta a makk belsejét – kis ovális alakú nyíláson keresztül távozik, és hernyó alakban telel. Tömeges előfordulása esetén komoly bükkmakktermés kiesést okozhat. A bükk makkjában előfordulhat még a magfúrómoly (*Pammene fasciana* L.) és a mogyorómoly (*Cydia amplana* Hübner) is, de ezek korántsem olyan gyakoriak, mint a bükkmakkmoly (Csóka et al. 2008, Nilsson 1985).

### Xylofág rovarok

Általában csak holt faanyagban, vagy erősen legyengült élő fában fordulnak elő, ezért nem számítanak károsítóknak. Ilyen fajok a havasi cincér (*Rosalia alpina* L.), hosszúkás farágóbogár (*Hylecoetus dermestoides* L.), az egérszínű darázscincér (*Xylotrechus rsuticus* L.), a varratos bükkszú (*Xyloterus domesticus* L.), vagy a nagy farontó lepke (*Cossus cossus* L.) is (Szontagh 1989b).

## Kórokozók:

### Csemetepusztulás

A *Phytophthora cactorum* (Lebert et Cohn) a bükk csemetepusztulás gyakori kórokozója, de valamennyi fafaj esetében hasonló, többnyire talajlakó gombafajok (*Pythium* sp.; *Fusarium* sp.) idézik elő a csíracsemeték, illetve a fiatal magoncok elhalását. A kórokozó már a csírázó magvakat is támadhatja, vagy a kikelt csíranövényt fertőzi. Támadása nyomán a csemete gyökerei, szára illetve a levélkék károsodnak, gyakran elhalnak. A szikleveleken vagy az első lombleveleken, esetenként a száron, barna vagy vörös foltok jelennek meg, amelyek egyre nagyobbak lesznek. A szár a talajfelszín közelében befűződik, elhal, és a csemete eldől (Jung & Osswald 2004, Szabó 2003).

### Kórokozó levélen

Az *Apiognomonina errabunda* Höhn. erdeinkben mindenütt elterjedt, számos fafajt fertőző lomblevél-kórokozó. Meleg és nedves időjárás segíti elő terjedését, de eredendően szaprofita karakterű, járványszerű fertőzését az állományokat korábban ért stressz szokta kiváltani (Szabó 1991). A fertőzések a vegetációs periódus során nagyrészt tavasszal történnek (Moricca & Ragazzi 2008). Nemcsak a lomblevelekben, hanem a kéregben is él, fejlődik (Danti et al. 2002). Toti és munkatársai (1993) szerint képes a lombleveleket a hajtásokról megtámadni. Növekedését az (egyébként a fákra szintén káros) ózon jelenléte gátolja (Olbrich et al. 2010). Sieber (2007) véleménye szerint más gombákhoz hasonlóan a fák endofita gombaközösségének tagja, amely csak bizonyos kedvezőtlen körülmények hatására válik patogénné. Hazánkban ritkán okoz kiterjedt károkat, és hasonlóan viselkedik egész Európában is. 2010-ben Ausztriában feljegyezték kártételét (Czech 2010).

### Kórokozó törzsön

A bükkkrák (*Neonectria ditissima* (Tul. & C. Tul.) és *Nectria coccinea* (Pers.) kórokozók a bükkön fordulnak elő leggyakrabban, de esetenként más lombos fafajokon is megjelenhetnek. Apró kéregsérüléseken keresztül fertőznek, kezdetben csak kisebb deformációk mutatkoznak a kérgen, majd a torzulások egyre nagyobbak kifejezettebbek lesznek. A kéreg lassan felrepedezik és a repedések egyre kiterjedtebb rákos sebekké alakulnak. A kéregrepedésekben jelennek meg a gombák jellegzetes élénk vörös termőtesteik. A kéregelhalás révén az egész ág elhalhat (Csóka et al. 2013, Szabó 2003).

Fiatal bükk csemetéket könnyen fertőz, ekkor leginkább a spórák szél általi terjesztése érvényesül (Metzler et al. 2002). A fertőzés terjedését a bükk gyapjas pajzstetű nagyban elősegíti. Szerepe a bükkök pusztulásában, mint a bükkpusztulás-

kárláncolat egyike eleme tekinthető Észak-Amerikában, Nyugat-Európában és Angliában (Lonsdale 1980, Lonsdale & Wainhouse 1987, Cech 2010).



11. ábra: A *Nectria*-fajok előtűremkedő termőtesteinek vöröses-narancssárgás színezetűek.

#### Törzskorhasztók:

A bükk fájában gyakran előfordulnak különféle parazita, valamint szaprofita gombák, amik kezdetben álgesztésedést, majd később korhadást idéznek elő. Szinte valamennyi gombafaj kéregsérüléseken illetőleg ágcsomkokon keresztül hatol be a fatestbe, de a xilofág rovarok rágása is segíti a fertőzések kialakulását, terjedését. A fertőzés a levegőben folyamatosan jelenlévő spórákkal történik. A spóra megtapad a frissen sebzett faanyag felületén, és a gombafonalak növekedése révén terjed a fában. Előrehaladott állapotban és megfelelő időjárás esetén megjelennek a gombára jellemző termőtestek (általában taplók). A bükkön a gyakrabban megjelenő korhasztók: bükktapló (*Fomes fomentarius* (L.:Fr.)Fr.), piztrícgomba (*Polyporus squamosus* (Huds.):Fr.) óiás bokrosgomba (*Meripilus giganteus* (Pers.) P. Karst.), szegett tapló (*Fomitopsis marginata* (Pers.) P. Karst.), derestapló (*Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat.), kései laskagomba (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Qué.) (Igmándy 1991, Szabó 2003).

#### Abiotikus károk:

##### Héjaszás:

A héjaszás általában az olyan vékony kérgű fafajokat érinti, mint amilyen a bükk is. Legtöbbször úgy alakulhat ki, hogy az idősebb állományok intenzív megbontását követően, vagy az állomány szegélyeken maradó fákat közvetlen, tartós napsugárzás éri. Emiatt a vékony kéreg alatti szövetek nagy felületen elhalnak, és a kéreg táblásan felrepedezik, leválik. A levált részeken másodlagos korhadás indul meg (Csóka et al. 2008).

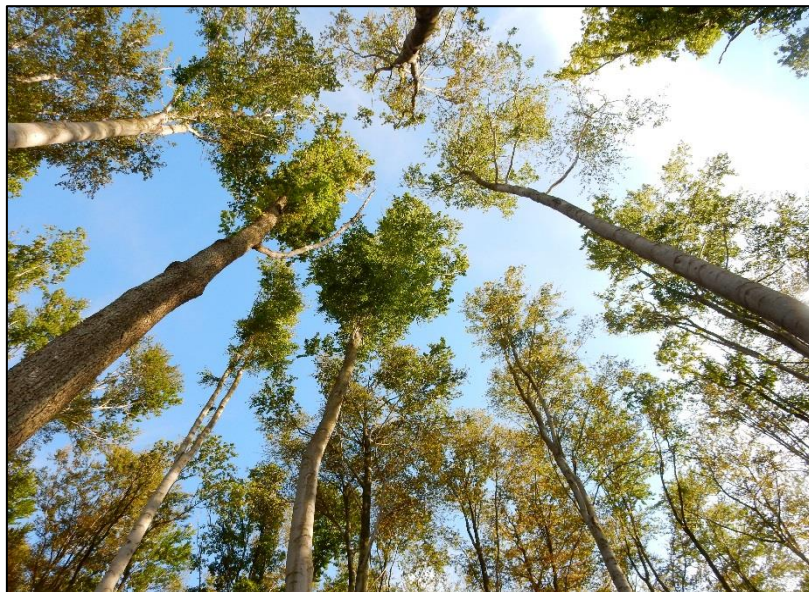




12. ábra: Héjaszás.

#### Szárazság, aszály:

A bükkök fokozottan érzékenyek a hőmérséklet szélsőségeivel szemben, különösen a túlzott meleg és száraz időjárás okozhat maradandó károkat az állományokban. A szárazság hatása közvetlenül, levélvesztésben, a csemeték, fiatal növények elszáradásában is megnyilvánulhat, de többnyire a fák legyengítése révén kárláncolat kialakulásához vezethet. Ennek eredményeként másodlagos károsítók, kórokozók telepednek meg a fákon és akár teljes pusztulás is bekövetkezhet (Csóka et al.. 2008, Győrfi 1967).



13. ábra: Tavaszi fagy és az azt követő aszály okozta koronaritkulás.

### Fagykár:

A bükkök esetében is megkülönböztetünk korai és kései fagykárokat. A korai fagykárak ősszel jelentkeznek, amikor a még be nem fásodott hajtások, esetenként elfagyhatnak. A kései vagy tavaszi fagy sokkal nagyobb károkat okozhat a bükkösökben. Egyrészt a virágzat elhalása miatt a termésképződés elmaradása, másrészt a fiatal levelek hajtások elhalása jelent komolyabb károkat az állományokban. A kései fagy hatására az állományok vitalitása csökkenhet és ennek révén a másodlagos károsítók, kórokozók könnyebben megtelepedhetnek az egyedeken. A kései fagyok hajtáspusztító hatása sokszor a komplex leromlási folyamatok egyik első eleme (Szontagh 1989a). Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a frissen kihajtott leveleket érintő fagykárak többségét az állományok kiheverik néhány hét alatt, azaz a fák viszonylag jól regenerálódnak.

Az idősebb fák is szenvedhetnek a korai vagy késői fagyoktól. Ha a fagyra a szállítószövetek még vagy már nincsenek felkészülve, a vékony kéreg alatt komolyabb szöveti elhalások keletkezhetnek. Az fagyérzékenységet az aszály is növeli, mivel gátolja a védekezéshez szükséges cukrok és egyéb vegyületek szintézisét is, és a fa nem tud megfelelően felkészülni a télre. Egy kísérletben a bükkfák törzsét mesterséges fagyhatásnak tették ki, és vizsgálták a *Trypodendron* szúfajok reakcióját. A támadás jóval a fagykezelés után történt, azaz valószínűleg a rovarokat bizonyos bomlástermékek vonzzák a törzshöz. A szúk a fagykezelésnek alávetett, elhalt kéregrészeket erőteljesen támadták, és bár a fák végül kiheverték a támadásokat, még a következő években is jelentős volt a szúk újrafertőzése, és már nem csak a fagyasztott felületen (La Spina et al. 2012).



14. ábra: Kései fagy hatása fagyzugos völgyben.

### Törés- és döntéskárok:

Bükköseinkben egyre nagyobb gyakorisággal jelentkeznek az időjárás szélsőségeiből adódó kárformák. Ezek között kiemelt szerepe van a szél által okozott töréseknek, döntéseknek. A döntéskárok során az egész fa kiborul a gyökérrzel együtt. Gyakran a megbontott állományban a dominó effektus érvényesül, és így egy



adott sávban tömeges dőlés alakulhat ki. A nagyobb mértékű dőléses károkat többnyire csapadékos időszakok előzik meg, amikor a talaj átnedvesedik, fellazul. Ilyenkor a szél könnyebben tudja kiborítani a fákat. Bükköseink egyébként is érzékenyek a viharos szélre. Gyakori a hajtások végén a szomszédos lombkoronák mozgása miatt kialakuló ostorkár (Csóka et al., 2008, Gyórfi 1967).



15. ábra: Széltörés.

#### Jégekárok:

A töréskárok egy speciális esete, amikor a téli időszakban ónos eső rakódik le az ágakra, koronákra és egy idő után a jég súlya következtében a korona, vagy egyes ágak letörnek (Barton 1997, Aszalós et al. 2012). Sajnos az utóbbi évek időjárása kedvezett ennek a kárformának kiterjedt megjelenésére középhegységeinkben, emiatt ez a kár komoly nyilvánosságot is kapott.

#### A bükkpusztulás

A bükk fajjal kapcsolatban — akárcsak a tölgyeknél — komplex leromlási betegséget is megfigyeltek. Hazánkban és Európa más területein ez hasonló lépésekben zajlik le: először az erdőállomány valamilyen abiotikus faktor miatt (kései fagy, aszály, stb.) meggyengül, ennek hatására többnyire valamilyen törzskárosító rovar tömeges elszaporodása következik be, illetve sokszor a lombkárosítók is felszaporodnak. A végső lépésben a törzskárosítók által szétterjesztett gombakártevők (*Nectria spp.*) okozzák a fák tömeges pusztulását. (Bressem 2008, Szontagh 1989a, Tuzson 1931).

Angliában az 1980-as évekre gyakorivá vált a bükkpusztulás egy olyan változata, amelyben a bükk gyapjaspajzstetű által terjesztett *Nectria* gomba okozta a pusztulásokat (Lonsdale & Wainhouse 1987). Ugyanez a jelenség volt tapasztalható Észak-Amerikában is, ahová a behurcolt pajzstetű invázió terjedésével kiterjedt károkat okozott (Ehrlich 1934, Houston et al. 1979).

2003-ban Németországban az erős aszály mellett az *Agilus viridis* és a *Taphrorychus bicolor* jelentős károsítása is bekövetkezett, azaz már az aszály évében a bükkpusztulás első lépcsője megtörtént (Delb 2006). Hasonló jelenségek Dél-Németországban 2006-ban szintén az aszály hatására következtek be (Delb 2012, Petercord & Delb 2008). Kelet-Európában szintén hasonló folyamatokat észleltek, és az abban résztvevő fajok is általában megegyeztek (Mihál & Cicák 2001).

Hazánkban elsősorban az extrazonális bükkösökben jelent meg és a legfőbb kiváltó ok az aszály volt. Már a két világháború között is észlelték hazánkban a bükkpusztulást (Tuzson 1931). Ezután az 1990-es évek elején voltak országosan pusztulásos tünetek. Majd 2000-ben kezdődött, öt évig tartó aszályos időszak, melynek következtében az állományok legyengültek. Legutóbb a jelenség 2007-ben lépett fel erőteljesebben Zala megyében. A pusztulás közvetlen kiváltó tényezői az aszály által meggyengített fákon a zöld karcsúdíszbogár (*Agilus viridis* L.) és a bóbítás bükkészú (*Taphrorychus bicolor* Herbst) rovarfajok, valamint a *Biscogniauxia nummularia* (Bull.) Kuntze gombafaj voltak (Lakatos & Molnár 2009).

Megjegyzendő, hogy bár nem elsősorban klimatikus okok miatt, de a fehér-bükkös állományok Észak-Amerikában szintén küzdenek egészségügyi problémákkal és bükkpusztulással, éppen az Európából behurcolt Bükk gyapjaspajzstetű által terjesztett *Nectria*-gombafertőzések (*Neonectria faginata* (Pers.:Fr.) Fr. Var. Lohman, A. M. és *Neonectria ditissima* (Tul. & C. Tul.) Samuels & Rossman) miatt (Lonsdale 1980).



16. ábra: a *Biscogniauxia* termőteste.



17. ábra: Bükkpusztulás, utolsó stádium.



## 2.5 Az erdőkár adatsor-elemzések erdészeti szakirodalma

Sem a nemzetközi, sem a hazai szakirodalomban nem sok olyan publikáció fordul elő, amely hosszabb (öt évnél hosszabb) erdő-egészségügyi adatsorok értékeléséről szólna. Ennek nyilván többek között az is oka, hogy a hosszú távú tartamkísérletek viszonylag ritkábbak, és főleg az utóbbi években keletkeztek (Ognjenović et al. 2020, Popa et al. 2017, Potočić et al. 2017, Seletković et al. 2009).

Jelen értekezés témájához nagyon hasonlít egy horvátországi cikk, amely az ICP Forests 4x4 km-es mintapontok 2001–2006 közötti adatait használta fel, és főleg varianciaanalízissel vizsgálták az adatokat. A meteorológiai adatok lineáris trendje növekvő volt, míg a csapadéké mintaterületenként változó. A kiválasztott mintaterületek közül a svájci felföldön állóak esetében erős volt a korreláció az aszály és az éves lombhiány között. Az alpesi területeken viszont gyenge volt a korreláció. 2003-ban a nagyobb levélvesztést egyértelműen itt is az aszály okozta (Potočić et al. 2008).

A fenti szerzők közreműködésével 2003–2006 közötti vizsgálat született a Medvednicai bükkös ICP pontok adatsorairól. Hasonló módszerekkel szignifikáns összefüggést mutattak ki az éves és a vegetációs időszaki csapadék egészségi állapotra gyakorolt negatív hatásáról (Seletković 2009).

Paraméteres módszereket alkalmazásával egy franciaországi évgyűrű-elemzéses vizsgálatot értékelték, mely alapján megállapították, hogy a bükk esetében a nyár eleji talajnedvesség-deficit és a júniusi csapadék nagy befolyással van az évgyűrűk vastagságára. A hőmérséklet és más hónapok talajnedvesség-viszonyai kevés hatást mutattak, akár csak a korábbi évek időjárása. A korai pászta vastagsága szintén erősen függ a júniusi talajnedvességtől, míg a késői pászta esetén a nyár végi magasabb hőmérséklet eredményez nagyobb vastagságot, és a talajnedvesség hiánya csak másodlagos hatású. Alacsony vízkapacitású talajokon a fák érzékenysége, a klímakorreláció erőteljesebb (Lebourgeois et al. 2005).

Az erdészeti szakirodalomban számos cikk foglalkozik a fák növekedése és a környezeti jellemzők közötti kapcsolatok vizsgálatával. Ezek gyakorlatilag csak a vizsgált függő változóban térnek el jelen dolgozat témájától. Így első megközelítésben ésszerűnek tűnt az ott használt alapszerekek alkalmazása ezekre az adatokra is (Führer et al. 2016, Mölder and Leuschner 2014).

### 3 ALAPHIPOTÉZISEK

Az elemzések kezdetén a fentebbi fejezetek alapján a kiinduló hipotézisek a következők voltak:

- A bükkösök egészségi állapotára a meteorológiai állapotjellemzők, de elsősorban a hőmérséklet és a csapadék bizonyosan hatással van. Ezen belül feltételezzük (a gyakorlati megfigyelések és a szakirodalom alapján), hogy a magas hőmérséklet pozitív korrelációban van az erdőkárok (pl.: a lombvesztés %-a) mértékével, míg a csapadékösszeg negatív korrelációban.
- A fenti hatás a megfigyelések és szakirodalmak szerint visszamenőleges is lehet, azaz a korábbi év(ek) időjárása(i) is korrelációt mutathatnak az adott évben tapasztalt károkkal.
- Mivel olyan egészségügyi mutatókat használunk majd (levélvesztés, egészségi állapot index), amelyek összetett ökológiai folyamatok eredményei, és az időjárás komplex hatásai alatt állnak, feltételezzük, hogy az előbb említett összefüggések nem lesznek egyszerű formában leírhatóak, avagy nem mutatnak majd magas korrelációs értékeket. Emiatt az alacsonyabb korrelációs értékeket is célszerű megvizsgálni, és esetlegesen összetettebb statisztikai módszerek alkalmazását is mérlegelni kell.
- A fenti okok miatt feltételezzük, hogy a korreláció kimutathatóságára nagyszámú valószínűsíthető ható tényező közül a termőhelyi tényezők jelentős befolyással bírnak, statisztikai módszerekkel vélhetően kimutatható mértékben.

## 4 ANYAG ÉS MÓDSZER

### 4.1 A bükkösökben gyűjtött erdővédelmi adatsorok

Az ERTI Erdővédelmi osztálya által fenntartott hosszú lejáratú kísérleti rendszerek az alábbiak:

#### 4.1.1 Az Erdővédelmi Figyelő-Jelzőszolgálati Rendszer

Az Erdővédelmi Figyelő-Jelzőszolgálati Rendszer egyik pillére az erdészeti fénycsapda-hálózat. Az erdészeti fénycsapdák rendszerét 1961-ben Tallós Pál vezetésével kezdték kiépíteni, Jermy-típusú fénycsapdákkal, melyek azóta is folyamatosan szolgáltatnak adatot (Tallós 1968).

Az Erdővédelmi Figyelő-Jelzőszolgálati Rendszer másik pillére pedig az erdővédelmi jelzőlapok rendszere, amely által szolgáltatott bükk fafajra vonatkozó adatokat értékeltem ki jelen dolgozatomban.

Az erdővédelmi jelzőlapokon az erdőgazdálkodók jelentik az általuk kezelt erdőterületeken észlelt erdőkárokat. Hosszú ideig, 2011-ig a jelzőlapokat negyedévente töltötték ki az erdőgazdálkodók, majd postán küldték be őket az ERTI Erdővédelmi Osztályára, ahol megtörtént az összesítés, illetve a fénycsapda adatokat is figyelembe véve prognózis készült a következő évre. 2011-et követően az adatok a NÉBIH által gondozott online adatbázisba kerülnek (bár még lehetséges a papír alapú jelentés is), és megváltozott a jelentés jogi környezete, a jelentések időpontja és a jelentett adatok szerkezete és mennyisége is, mely némileg megnehezíti a korábbi időszakokkal való összehasonlítást is. A jelentés elkészítését most is – mint korábban is – képes kódjegyzék segíti. A prognózisok elkészítése továbbra is az Erdővédelmi Osztály feladata (Koltay 2004, Hirka et al. 2011, Csóka et al. 2013).

A jelzőlapokat az említett időszakban az erdőgazdálkodók töltötték ki és küldték be, évente 4 alkalommal, tehát így önkéntesen szolgáltatott adatok kerültek rögzítésre. Továbbá az erdőgazdálkodók szakmai tevékenységük folytatása mellett szolgáltatották az adatokat, nem pedig tudományos célokból és tudományos pontossággal, így adataink az erdészeti gyakorlat számára már észlelhető mértékű és kiterjedésű károkról szólnak. Az adatszolgáltatás rendszerének kialakításakor több fontos szempontot vettek figyelembe:

- A jelentés ne rójon jelentős adminisztratív terhet a gazdálkodóra.
- A jelentőlap könnyen áttekinthető legyen, és ne igényeljen az erdőmérnöki képzésen túlmenő speciális biológiai ismereteket.
- Emellett a jelentőlap tartalmazza a legfontosabb erdészeti kártípusokat, és szolgáltatson megbízható információkat ezekről.

A jelentésekben szereplő paraméterek:

- az észlelt kár típusa
- a kárral érintett terület az erdőgazdaság egészét tekintve
- a kár súlyossága (erős, közepes és gyenge kategóriákban)
- az esetleges védekezés módja és területe

A jelzőlapok adatsorának azt a részét választottuk a vizsgálat alapjául, amelyben az adatok kezelése az ERTI feladata volt. Mivel a fejlesztések az adatstruktúrát is érintették, így az újabb jelentések nehezen fésülhetőek össze a régebbiekkel. Ez az időszak 1962-től 2011-ig tartott (Janik et al. 2015). 2012-től kezdődően a NÉBIH kezelésében és fejlesztésében működő Országos Erdőkár Nyilvántartó Rendszer vette át az egykori jelzőlapos jelentések funkcióját.

#### 4.1.2 Erdővédelmi monitoring hálózatok Magyarországon

A kocsánytalan tölgy és a bükk fajok megfigyelési hálózatait különleges okok miatt létesítették. Az 1980-as évek közepén hazánkban jelentős tölgypusztulás volt megfigyelhető, melynek okai akkor még nem voltak ismertek. Ennek megfigyelésére és vizsgálatára mintaparcellákat létesített az Erdővédelmi Osztály 1986-tól kezdődően. Az 1990-es évek elején tapasztalt magyarországi bükkpusztulás miatt pedig bükk fajokra is létesült hálózat (Pagony & Szontagh 1986; Tóth 1998). Ennek a dolgozatnak ezek közül éppen a bükk parcellák adatainak feldolgozása a célja.



18. ábra: A mintaterületeken a mintafákat jól látható számozással jelölik meg.

#### 4.1.3 Nemzetközi (ICP) I.-II. szintű monitoring parcellák

A tölgy monitoring parcellák létesítésével nagyjából párhuzamosan, de a légszennyezés hatásainak megfigyelésére egy európai nemzetközi együttműködési program is elindult ICP-Forests névvel, amely 16x16 km-es hálózatban helyezte el mintapontjait az európai erdőterületeken. Magyarországon Erdő Védelmi Hálózatként nevezték el a programot, melyet az akkori ERTI kezelt, és emellett az akkori AESZ egy 4x4 km-es hálózatot is létrehozott.

A kísérlet két szinten működött:

Az I. szint mintapontjaiban állományfelvételek, cönológiai vizsgálatok, szelvényes és fúrásos termőhelyfeltárások, talajfizikai vizsgálatok, meteorológiai adatgyűjtés és erdővédelmi állapotfelvétel történik. Az ERTI a nemzetközi mintapontok

közvetlen közelében saját parcellákat is létesített, és ezek közül a bükkös fafajúak adatai szintén tárgyát képezik jelen dolgozat elemzéseinek. A nemzetközi hálózat mintapontjait sokáig az ÁESZ munkatársai felvételezték nemzetközi metodika szerint, míg az ERTI a mintaterületein nagyobb mintafa-darabszámmal és kissé eltérő módszerrel folytatta a vizsgálatokat (Kolozs 2009). Napjainkban az ERTI is végzi a felvételezést, illetve az egykori ÁESZ Erdőrendezősege ma a Nemzeti Földügyi Központ Erdészeti Főosztályaként működve látja el a monitoring-feladatokat.

A II. szint mintaterületein mindez több mintafával történik, illetve a vizsgálatok depozíció méréssel, biomassza meghatározással, fenológiai megfigyeléssel, meteorológiai mérésekkel, kerületnövekedés-méréssel, légkörkémi vizsgálatokkal egészülnek ki. A II. szinten a fák egészségi állapotának felvételezése jóval alaposabb metodika szerint történik, amit szintén az ERTI végez (Führer 1987, Manninger 1999).



19. ábra: Nemzetközi II.-szintű, intenzív monitoring parcella mérőeszközei.

A fenti rendszerek erdővédelmi adatai közül két fő csoportot vizsgáltam meg, amelyekből bükkösökre vonatkozó adatok állnak rendelkezésre. Egyrészt felhasználtam a Figyelő-Jelzőszolgálat erdőgazdálkodói jelentőlapjainak bükk káradatait. Másrészt a működtetett bükkös monitoring parcellák erdőkár-adatait.



## 4.2 A felvételezés módszere és a rögzített adatok

Az ERTI Erdővédelmi Osztálya saját létesítésű mintaterületein kezdetektől fogva a fentebb felsorolt állományjellemzők mellett fő feladatként az egészségi állapot felvételezését végezte. A mintaparcellákat az ERTI munkatársai eredetileg négyszög alaprajzúnak jelölték ki, úgy, hogy rajtuk 100 mintafa legyen. Természetesen az egyedi számozással ellátott és Kraft-féle szociális osztályokba besorolt mintafák száma ezután különböző okok miatt csökkent. A mintafákat évente egyszer, ősszel minősítik az egészségi állapot alapján. A minősítéshez hagyományosan a még az ERTI Erdővédelmi Osztálya által kidolgozott kézenfekvő és gyorsan alkalmazható egészségügyi mutatót, röviden Fagus-mutatót alkalmazzák:

- 5-egészséges fa
- 4-enyhén károsodott fa
- 3-súlyosan károsodott fa
- 2-az adott évben elpusztult fa
- 1-korábban elpusztult, már nem mintafa

A későbbiekben az ERTI-ben a nemzetközi ICP-Forests módszertan (melyet a kezdetek óta többször megváltoztattak) egy módosított változatát is alkalmazták. Ez jóval részletesebb adatokat eredményezett. Ez a felvételezési eljárás a következő paramétereket tartalmazza (ERTI EVO 1995) (20. ábra):

Kraft-féle szociális helyzet: kimagasló, uralkodó, közbeszorult, alászorult

- Egészségügyi mutató: besorolás 1-től 5-ig a már részletezett kategóriákba
  - elszíneződés: látható-e, avagy nincs
  - levélvesztés %: a kísérletek kezdetén 10%-os pontosságú, később 5%-os pontosságú becslése a fa elveszített levélfelületének
  - levélvesztés oka: a kár tüneteinek besorolása fő kategóriákba (lombrágás; gombakár; levél-gubacs és -tetű; fagy; hőség, aszály és korai lombohullás; ostorkár, azaz szélverés; vadrágás; egyéb; ismeretlen).
  - levélvesztés okának megnevezése: az okozó faj pontos megnevezése, ha azonosítható volt
  - fattyúhajtás: látható-e, avagy nem jellemző; de az ággá fejlődött idős vízajtásokat már nem tekintjük kárnak (általában 5cm töátmérő és kb. 2 m ághossz felett)
  - hajtáskár %: kezdetben 20%-os pontosságú, később 5%-os pontosságú becslése a fa elhalt hajtásainak
  - hajtáskár oka: a hajtáspusztulás tüneteinek besorolása fő kategóriákba (vékony ág elhalás; vágás elhalás; hajtástorzulás; gubacsok és xilofág kártevők; abiotikus vagy mechanikai sérülés; csúcscsúszadás; fagyöngy vagy fakín; vadrágás; egyéb kár; ismeretlen) hajtáskár okának megnevezése: a hajtáspusztulás okának megnevezése, ha felderíthető volt
    - koronatörés: gyenge-közepes-erős megjelöléssel
    - törzskár: a törzsön tapasztalható károk fő kategóriákba sorolva (taplók; rákos sebek, golyvák, fekélyek; kéregtetű; pajzstetű; xilofág rovarok; fagyléc, fagyrepedés vagy villám okozta repedés; kéregsebek; héjaszás; törzstörés; széldöntés; hónyomott törzs; vadrágás és hántás; dörzsölés; vad okozta törés; *Evetria* a *Pinus*-féléken; korhadó ággöcs vagy bélkorhadás; avartűz; villásodás; homokverés)

- törzskár megnevezése: ha lehetséges a kiváltó ok megnevezése és a kár mértéke gyenge-közepes-erős megjelöléssel
- gyökfőkár: a törzs alsó egy méterén tapasztalt tünetek kategorizálva (tő- és tuskó-korhadás; gyökérrontó taplól; egyéb gomba; avartűz; közelítési sérülés; pajorkárok; vadkárok; xilofág rovarok; golyva vagy rákos seb)
  - gyökfőkár megnevezése: ha lehetséges a kiváltó ok megnevezése és a kár mértéke gyenge-közepes-erős megjelöléssel
  - megjegyzés: ebbe a mezőbe jegyezhető le minden, a terepen megfigyelt egyéb lényeges, a felvételezést és az állomány érintő jelenség.

Hely	szám	faj	szoc	Q/F	els zín.	lev% lev%	Lev. Kód	Lev. Megn.	f. hajt. f. hajt.	hajtás %	hajtás . kód	Hajtás. Megn.	korona törés	törzs kód	Törzs. Megn.	gyökfő kód	gyökfő megn.	megjegyzés

20. ábra: Az alkalmazott felvételi táblázat fejléce.

A felvételezés a kísérleti időszak kezdetén minden évben a vegetációs időszak elején és végén (többnyire május és szeptember hónapokban) történt. Jelenleg már csak az őszi felvételezés elvégzésére van kapacitás. Az adatokat a felvételezés után digitalizálják és ellenőrzik.

A mintaterületek felvételezésében 2005-től 2014-ig személyesen részt vettem.

Megjegyzendő, hogy a hosszú adatsor összefüggővé tétele jelentős munkát igényelt, mivel a felvételezési időszak alatt kisebb-nagyobb változtatások történtek a módszerben. A változások oka az volt, hogy az Erdővédelmi Osztály eredetileg különböző célokkal létesített mintaparcelláit fokozatosan egységes rendszerben kezelhessük. A jelenleg használt módszer 2006-óta gyakorlatilag változatlan.

Problémát jelentett még az a történelmi tény is, hogy a parcellák kijelölésekor még kizárólag papír alapon történt (történhetett) a felvételezés és az adattárolás. A későbbiek során azonban az informatika fejlődésével, illetve az azt lassan követő szakaszos számítógép- és szoftver-beszerzésekkel különböző digitális formátumokban tároltuk az adatokat. A többféle digitális formátumot egységesíteni kellett, ezen kívül a csak papíron meglévő felvételeket digitalizálni volt szükséges. Ezek a tevékenységek rengeteg időt emésztettek fel.

A mintaterületek egyedi mintafákról származó adatai a legközvetlenebb elérhető erdőkár adatsorunk, ezért tartom fontosnak ezen adatsorok vizsgálatát a bükkösök vonatkozásában.

### 4.3 Meteorológiai-, és erdőállomány-adatok

A jelen disszertációban felhasznált meteorológiai adatok az Országos Meteorológiai Szolgálatól származnak, melyeket az ERTI a TÁMOP-4.2.2. A-11/1/KONV, a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0004 és a TÁMOP 4.2.2.C-11/1/KONV/2012-0015 projektek kereteiben vásárolt meg. Az adatok származtatottak, speciális felületmodell segítségével interpolálták a meteorológiai állomások adatait, és egy 1x1km-es hálózat rácspontjaiban adták meg őket (Szentimrey et al. 2005). A mintaterületekhez legközelebbi rácspont adatait használtam fel az elemzésekhez.

Egyes elemzésekhez az alapadatokból aszályindexeket számítottam: a Pálfai-féle aszályindexet (PAI), illetve az erdészeti aszályosság indexet (FAI), amelyekkel a klímahatást, azon belül az aszályosság mértékét jelentettük meg (Pálfai 1990; Führer 2010; Führer et al. 2011a).

Ugyanígy a fenti projektek keretein belül jutottunk hozzá a NÉBIH-EI erdőállomány-adataihoz is: a mintaterületek 2012 évi erdőállomány-adatsorai az akkori NÉBIH Erdészeti Igazgatóságától származnak, a TÁMOP-4.2.2. A-11/1/KONV és TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0004 projektek keretein belül.

Bizonyos mintaterületek igen közel esnek egymáshoz, ezért egy meteorológiai ponthoz tartoznak. Ezek a minaterület-párok az alábbiak voltak:

- Zselickislak 8E – Bőszénfa 12E
- Füzér 86F - Füzér 86G
- Répáshuta 11C - Répáshuta 12G

Az adatfeldolgozáshoz nagy segítséget jelentenek a számított mutatószámok. Az erdőállományok egészségi állapotának leírására több mutatót is fellelhetünk a szakirodalomban. Az ERTI Erdővédelmi Osztályán általában az éves átlagos lombvesztés és az úgynevezett Egészségügyi Deficit Index mutatókat használjuk. Az EDI számítása a felvételezéskor megállapított Fagus-osztályzatokra alapul, a különböző osztályzatokat kapott mintafák számából az alábbi képlet szerint számítjuk ezt a mutatót:

$$EDI=100*(1-({Fagus\ 3\ db}*0,33+{Fagus\ 4\ db}*0,66+{Fagus\ 5\ db})/mintafák\ db))$$

Az EDI tehát az 5-ös (tünetmentes), a 4-es (jó állapotú), és a 3-as (jelentősen károsodott) és 2-es (elpusztult) osztályzatú mintafák arányától függ. A súlyozás az egészségi állapot romlásával csökkenő, az elpusztult fák esetében 0, így az index 100-as értékének az az állapot felel meg, ha minden mintafa elpusztult, 0 értéke pedig a teljesen egészséges állományt jelöli.

### 4.4 Az alkalmazott matematikai statisztikai módszerek

Az erdészeti tudományokban az idősorok elemzése és a matematikai statisztikai módszerek használata gyakran speciális megközelítéseket igényel.

Általában nagyszámú hatótényező együttes hatását lenne szükséges vizsgálni, illetőleg sokszor a hatótényezők közül számos nem mért, nem mérhető vagy

egyáltalán nem is ismert. Problémát vet fel az a tény is, hogy az erdőben vizsgálható paraméterek értékei sokszor nem mutatnak megbízhatóan normál eloszlást, amely miatt a paraméteres eljárások nem alkalmazhatóak, avagy nem adnak megbízható eredményt. Ezen kívül gyakran olyan értékeket tartalmaznak nagy számban (pl.: ismétlődő értékek vagy sok „0”), amelyek tovább szűkítik a használható eljárások körét és alkalmazhatóságát.

A fenti problémák ellenére az adatok alapvető kapcsolatainak felderítésére egyszerűsége és a szakirodalomban hasonló jellegű problémák kapcsán történő gyakori alkalmazása (Manninger et al. 2011, Potočić et al. 2008) miatt a korrelációs együtthatók számítása jó kiindulási pontnak látszódott. Azonban adatok nagy mennyisége, a várt eredmények és összefüggések bonyolultsága és az idősoros adatjelleg miatt a CReMIT módszer látszódott megfelelőnek az adatok elemzésére, mivel ez a módszer alkalmas nagyszámú adat időablakos módszerrel történő korreláltatására.

#### 4.4.1 A CReMIT (Cyclic Reverse Moving Interval Techniques):

A CReMIT egy olyan új matematikai statisztikai módszer, melyet elsősorban erdészeti és faipari idősorok elemzésére fejlesztettek ki a Nyugat-magyarországi Egyetem (ma Soproni Egyetem) kutatói (Pödör et al. 2014). Alkalmas klimatikus változók – pl.: csapadék és hőmérséklet adatok – kiterjesztett összevetésére olyan ökológiai változókkal, mint a fanövedék vagy rovarcsapdák fogási adatai. A módszer lényege a vizsgálatba bevont változók körének szisztematikus kiterjesztésén alapul. A felhasznált időablakos technika segítségével a vizsgált paraméterekre az összes lehetséges (felhasználó által előre definiált paraméterekkel) időszaki adatsort előállítja az eljárás. Majd az így elkészített másodlagos adatsorok már bevonhatóak tetszőleges elemzési folyamatokba, mint például a korrelációs (Pearson 1901) vizsgálatok. A módszernek a független paraméterekre történő alkalmazásával és az ehhez kapcsolt összefüggés elemzésekkel definiálhatóak azok az időszakok, melyek a legerősebb összefüggéseket mutatják a függő változóval. A módszer jellegéből adódóan alkalmasnak látszott arra, hogy alkalmazzuk az ERTI Erdővédelmi Osztálya által gyűjtött bükk-egészségügyi idősorokra, illetve a mintaparcellákra interpolált meteorológiai adatsorokra. Feltételeztük, hogy lehetséges lesz összefüggést kimutatni az így kiterjesztett időjárási paraméterek és az erdő-egészségügyi változók között. A CReMIT alkalmazását a meteorológiai adatokra és az ehhez köthető összefüggés vizsgálatokat Pödör Zoltán végezte el.

Mivel az időjárási adatsorok 2010-ig voltak elérhetőek, így elemzéseinket is eddig az időtartamig tudtuk elvégezni a CReMIT-tel. Ezen kívül a CReMIT módszer alkalmazásakor csak a kimagasló és az uralkodó mintafák adataival végeztük el a számításokat, mivel egyrészt a mellé- és alá-szorult egyedek száma kevés volt, másrészt csupán szociális helyzetük miatt az alapadatok szerint is (lásd az egyes mintaterületek eredményeinél) az időjárási paraméterek hatásaitól jobban szenvednek.

## 5 EREDMÉNYEK

### 5.1 Az erdővédelmi jelzőlapok adatai a bükkösökről

Az erdővédelmi jelzőlapok eredményeit országosan értékeltük. Látható volt, hogy a bükkösökre napjainkban jellemző biotikus károsítókról 1962 és 1980 között nem érkezett jelentés, azaz erdőgazdálkodók számára jelentéktelen volt ebben az időszakban az említett kártípusok mértéke és területi kiterjedése. Továbbá látható, hogy a legnagyobb összesített kárterülettel a viszonylag csekély súlyú károkat okozó szívó rovarok rendelkeztek. Az 1980-as évektől jelentek meg az első káradatok, kezdetben szórványosan, majd az időszak vége felé közeledve a legtöbb kártípus esetében a jelentések rendszeresebbé váltak. Általánosságban kijelenthetjük, hogy a károk gyakorisága és mértéke az 1980 előtti időszakhoz képest jelentősen megnőtt, bár az egyes típusok kulminációs csúcsai nem mindig estek egybe.

A hazai gyakorlatban alkalmazott aszályindexek értékei a teljes vizsgálati időszakot tekintve jelentős kilengéseket és igen enyhe növekvő trendet mutattak. Az időjárási paraméterekben nem az átlagok változnak feltűnően, hanem a szélsőséges események gyakorisága nőtt meg. Az indexek értékei 1980 előtt többnyire évente váltakozóan a korszaki átlag feletti, majd a rákövetkező évben az átlag alatti értéket mutattak. 1980 után gyakoribb, hogy több éven keresztül a hasonló értékek követik egymást. A legtöbb kárterületet a bükk hazai elterjedésének megfelelően Borsod-Abaúj-Zemplén megyéből jelentettek. Ezt követte a Nógrádi-Hevesi térség, majd hasonló területösszeggel Zala következik. A Bakony összesített kárterülete az előzőtől jóval csekélyebb volt, és a többi erdészeti tájegységben már minimálisak voltak a bükkös-károkkal érintett területek (2. táblázat). Szembetűnő a bükkpusztulással érintett terület magas értéke Zalában, ahol az alacsonyabb tengerszint feletti magasságon és az Északi-középhegységtől néhány száz kilométeres délebbi elhelyezkedés már melegebb és szárazabb időjárást eredményez, amely magyarázhatja a jelentős zalai kárterület-értékeket.

2. táblázat: Az 50 éves időszak összesített kárterületeinek (ha) megoszlása az egykori ÁESZ (MGSZH, NÉBIH) Igazgatóságok között. (1 = Budapesti Igazgatóság; 2 = Veszprémi Igazgatóság; 3 = Szombathelyi Igazgatóság; 4 = Zalaegerszegi Igazgatóság; 5 = Kaposvári Igazgatóság; 6 = Pécsi Igazgatóság; 9 = Miskolci Igazgatóság; 10 = Egri Igazgatóság)

Kárforma/Régió	1	2	3	4	5	6	9	10	összes:
<i>Apiognomonía errabunda</i>	80	1453	44	416	5	1090	260	86	<b>3434</b>
<i>Phyllaphis fagi</i>	66	739	326	927	10	1078	12519	9875	<b>25540</b>
<i>Rhynchaenus fagi</i>			1050	815			4433	1100	<b>7398</b>
<i>Cryptococcus fagisuga</i>	45	281	237	2008	125	662	3555	1221	<b>8134</b>
<i>Taphrorychus bicolor</i>		60		1285				201	<b>1546</b>
<i>Agrilus viridis</i>		327		1388		2		29	<b>1746</b>
<b>bükkpusztulás</b>	30	974	45	3755	94	302	196	633	<b>6029</b>
<b>összes:</b>	<b>221</b>	<b>3834</b>	<b>1702</b>	<b>10594</b>	<b>234</b>	<b>3134</b>	<b>20963</b>	<b>13145</b>	<b>53827</b>

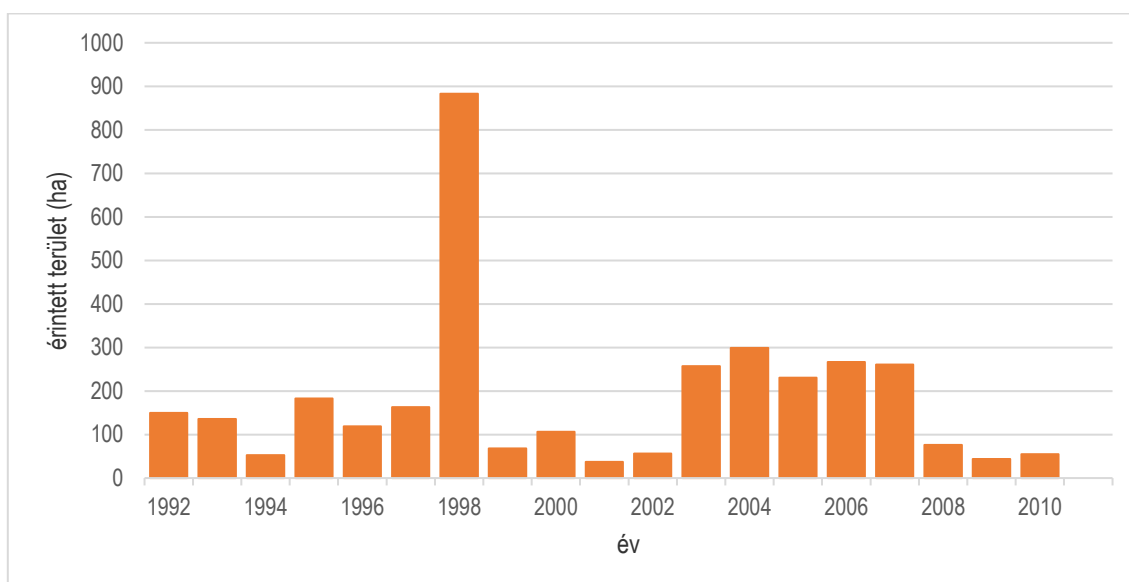
### 5.1.1 A biotikus károk jelentései

A jelentett kárterületek a vizsgált időszak második felében gyakrabban mutatott magas értékeket. Ugyanakkor ezalatt erdeink bükkös-területaránya látszólag mintegy 6,1 %-ról változott a jelenlegi, 5,9 %-os értékre (Kolozsár 2010; Wisnovszky 2015). Ezt a tényt természetesen az azóta történt erdőtelepítés, illetve az időközben az erdőterület fogalmát is érintő jogszabályi változások fényében kell értelmezni, de a bükkösöket érintő károk jelentőségét mindenképpen kiemeli az, hogy viszonylag csekély területen nevelik őket.

A jelzőlapokon az erdőgazdálkodók az 1962-től 2011-ig 7 biotikus kárféleségről adtak le jelentéseket: Apiognomóniás levélhalás (*Apiognomonía errabunda*), bükklevél-gyapjastetű (*Phyllaphis fagi*) tömegszaporodása, bükk-bolhaormányos (*Rhynchaenus fagi*) levélrágása, bükk gyapjas-pajzstetű (*Cryptococcus fagisuga*) fől szaporodása, bóbítás bükkszű (*Taphrorychus bicolor*) károsítása, zöld karcsúdíszbogár (*Agrilus viridis*) kártétele, valamint maga a bükkpusztulás tünetegyüttese. Megjegyzendő, hogy a bükkpusztulás folyamatával az utolsó három rovarkártevő kapcsolatban áll. Ezek voltak azok a káresemények, amelyek az erdőgazdálkodás számára is jelentékeny mértékeket értek el hazánkban a jelentések alkalmával:

#### Kórokozó:

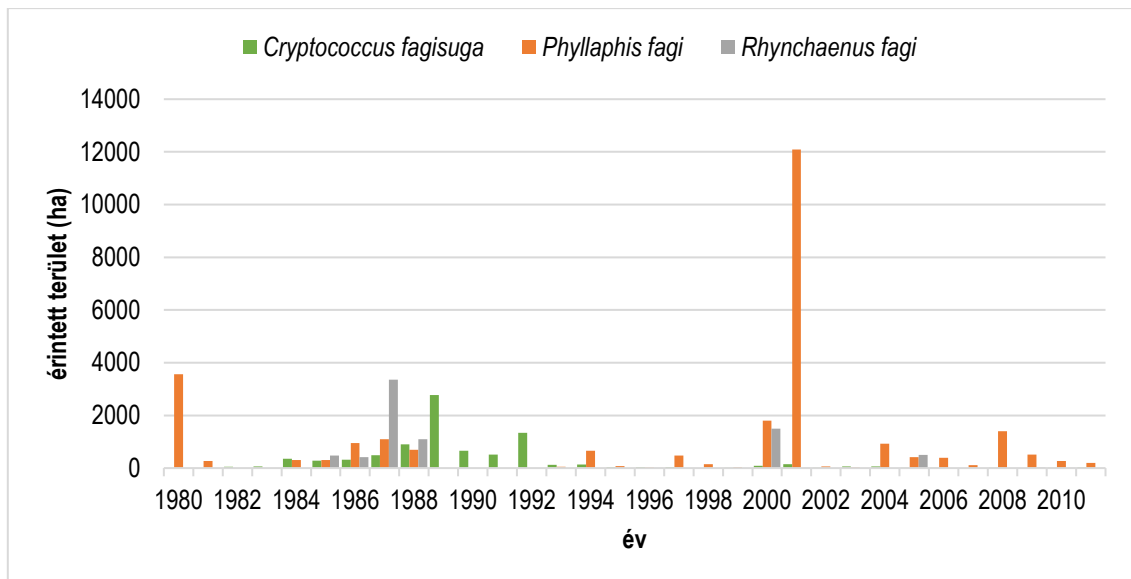
Az Apiognomóniás levélhalást 1992-óta jelentik (1992. adataink szerint országosan szélsőségesen aszályos év volt), közel 900 ha területtel. 1998-ban volt jelentősebb a kárterülete, amely egyébként az átlagosnál kissé csapadékosabb esztendő volt. Jelenléte gyakorlatilag mindenütt észlelhető, de az említett éveken kívül gazdaságilag jelentős kármértéket sehol nem produkált (21. ábra). Ugyanakkor nem zárható ki jelentősebb kártétele a megváltozott időjárási körülmények hatására.



21. ábra: Az Apiognomóniás levélhalás (*Apiognomonía errabunda*) kárterületének alakulása (Janik et al. 2015)

### Kártevő rovarok:

A monofág bükklevél-gyapjastetű kártételét hazánkban 1980-óta jelentették. Gyakorta nem csekély kárterülettel. 1980-ban és 2001-ben viszont hatalmas mértékben megnövekedett a kárterülete (22. ábra). Érdeemes megjegyezni, hogy a 4.2. fejezetben ismertetett adataink szerint a 2000-es év (azaz a károsítást megelőző év) hazánk legnagyobb területén aszályos év volt. Mivel a bükklevél-gyapjaspajzstetű jellemzően nem okozta a fák pusztulását, ezért szerencsére nem jelentett számottevő erdővédelmi problémát.

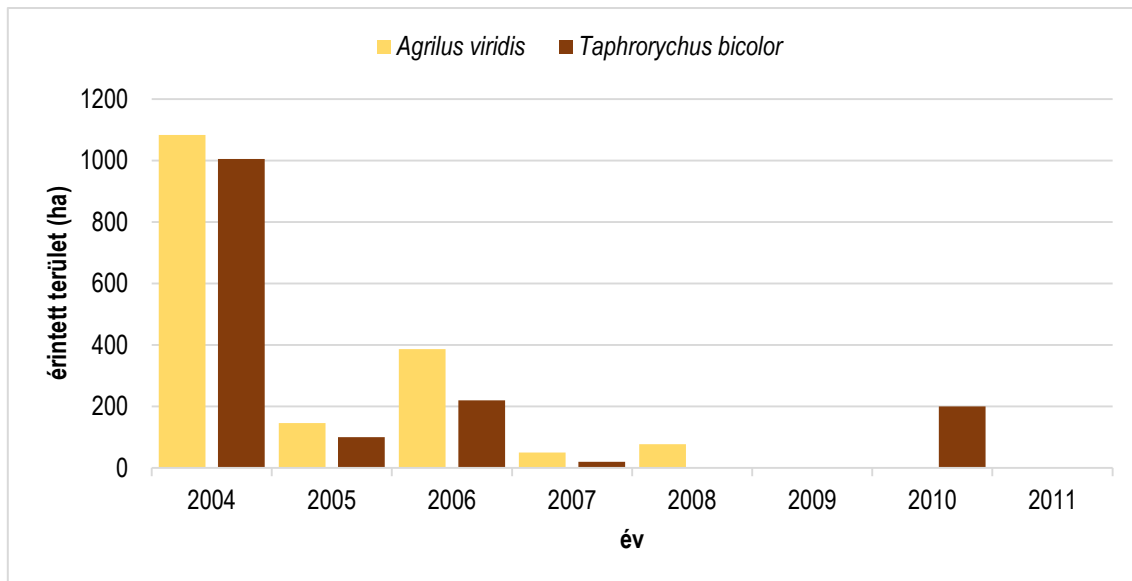


22. ábra: A bükklevél-gyapjastetű (*Phyllaphis fagi*), a bükk bolhaormányos (*Rhynchaenus fagi*), és a bükk gyapjas-pajzstetű (*Cryptococcus fagisuga*) kárterületeinek alakulása. (Janik et al. 2015)

A bükk bolhaormányos tömegszaporodásai időszakonként nagy kiterjedésűek. 1985-től időnként jelentették. 1987-1988-ban és 2000-ben gradációt mutatott (22. ábra).

A bükk gyapjas-pajzstetű szintén monofág károsító. Kártételét 1982 óta jelentették, és 1989-ig növekedett kárterülete, amikor is több ezer hektáros mértéket ért el (22. ábra). Ezt követően viszont a kárterület fokozatosan lecsökkent a jelentésekben.

A bőbitás bükkészű meglehetősen polifág rovarfaj, hazai károsításai közül kiemelkedő a 2000-es évek első felében, elsősorban Zalában történt kiterjedt bükkpusztulásban való részvétele (Lakatos & Molnár 2009). 2004-ben jelentették először, kiemelkedő kárterülettel. Ezt követően szórványosan jelentették kisebb kárait (23. ábra).



23. ábra: A bóbítás bükkészú (*Taphrorychus bicolor*) és a zöld karcsúdíszbogár (*Agrilus viridis*) országos kárterületeinek alakulása (Janik et al. 2015).

A zöld karcsúdíszbogár fajra vonatkozó jelentések 2004-ben jelentek meg, majd 4 éven belül elültek. Valószínűleg a bükkpusztulásként azonosított kártípusban is jelen volt ez a károsító, de már abban a típusban jelentették (23. ábra).

### Bükkpusztulás:

Bár 1994-óta szerepel a jelentésekben, de 2004-ben volt kiemelkedő a kárterület nagysága, és a károk súlyossága is (24. ábra). Az 1990-es évek elején kialakult bükkpusztulás főként az Északi-középhegységben jelentkezett, az Egri Erdészeti Igazgatóság területén. A pusztulásokat ekkor a *Nectria coccinea* okozta, fő vektorként pedig a bükk-gyapjaspajzstetű vett részt benne (Szontagh 1989a).

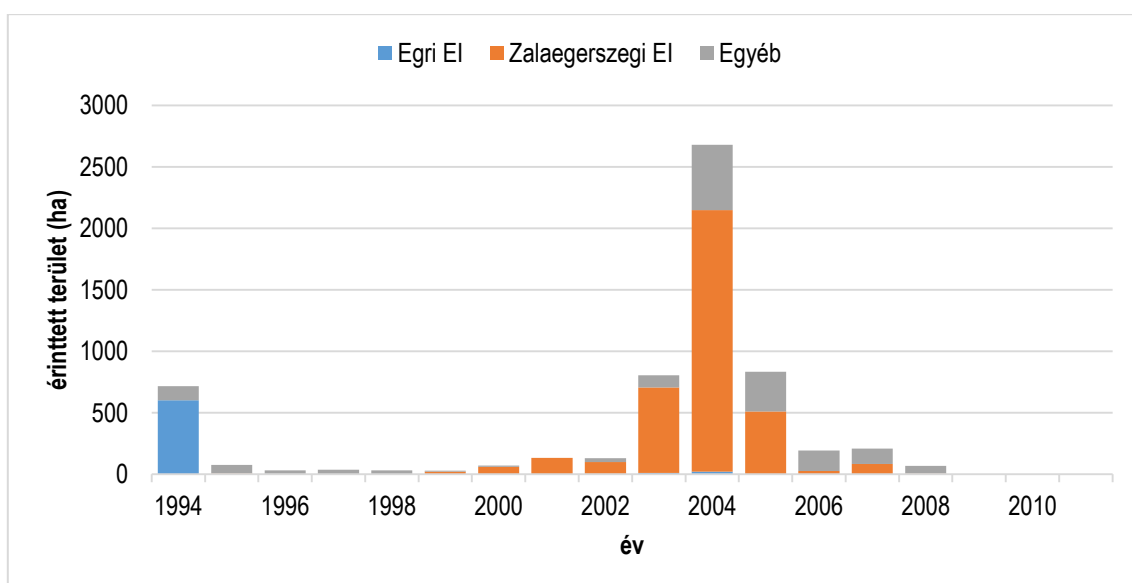
Ezután a 2003-2004 évi bükkpusztulások alkalmával ismét súlyos erdőkárok keletkeztek. Több éves aszály után elsősorban a gyenge záródású, jól felmelegedő bükk állományokban tömeges elhalást tapasztaltak Zalában (Góber 2005). Sikertelen tisztázni a folyamatban résztvevő fajokat is: a xylofág rovarok közül a zöld karcsúdíszbogárral együtt a bóbítás bükkészú volt jelen, majd pedig a folyamat gombakártevőjeként a *Biscogniauxia nummularia* (Bull.) Kuntze gombafajt azonosították (Lakatos & Molnár 2009). Az előbbieket miatt az erdőgazdálkodók jelentéseikben a zöld karcsúdíszbogár és a bóbítás bükkészú kártételeit nem ritkán bükkpusztulásként jelentették (Janik et al. 2015).

Azóta hasonló kártétel nem fordult elő, de a zalai bükkösök extrazonális volta, valamint a klímaváltozás trendjei valószínűsítik hasonló káresemények előfordulását, hiszen az előrejelzések még a zonális bükköseinkre nézve is negatív jövőképet mutatnak (Berki et al. 2007).



3. táblázat: A bükkpusztulás kárterületének megoszlása időben és az egyes Erdészeti Igazgatóságok között. (1 = Budapesti Igazgatóság; 2 = Veszprémi Igazgatóság; 3 = Szombathelyi Igazgatóság; 4 = Zalaegerszegi Igazgatóság; 5 = Kaposvári Igazgatóság; 6 = Pécsi Igazgatóság; 9 = Miskolci Igazgatóság; 10 = Egri Igazgatóság (Janik et al. 2015)

év	1	2	3	4	5	6	9	10	összesen
1994							115	600	715
1995	20			5	20		30		75
1996				1			30		31
1997		20	15						35
1998						20	10		30
1999				19			10		29
2000		10		59					69
2001				131					131
2002			30	96			1	2	129
2003		20		695		80		10	805
2004		297		2129	33	202		19	2680
2005		318		509	6				833
2006	10	123		25	35				193
2007		125		83					208
2008		61		3				2	66
2009									0
2010									0
2011									0
<b>Végösszeg</b>	<b>30</b>	<b>974</b>	<b>45</b>	<b>3755</b>	<b>94</b>	<b>302</b>	<b>196</b>	<b>633</b>	<b>6029</b>



24. ábra: A bükkpusztulás kárterületének alakulása és a leginkább érintett régiók. (Janik et al. 2015)

Megvizsgáltuk a károk kiterjedése és a mezőgazdasági és erdészeti gyakorlatban alkalmazott két hazai aszályindex összefüggését. A FAI és a PAI különböző célokra kifejlesztett indexek, de számítási metódusukból adódóan alapvetően hasonló menetű adatsort mutattak. 2 és 3 éves mozgóátlagaikat tekintve megfigyelhető, hogy az 1990-es évektől kezdve az értékek lassabb lefolyású és nagyobb amplitúdójú ingadozásokat mutatnak (25. ábra, 26. ábra). Tovább vizsgálódva arra a jelenségre figyeltünk fel, hogy amikor az aszályindexek értékei több egymást követő évben bizonyos értékeket meghaladtak, akkor a bükkpusztulással érintett kárterület rendszerint jelentősen megnövekedett. A FAI esetében ez a küszöb a „7”-es, míg PAI esetében a „4”-es érték közelében volt.

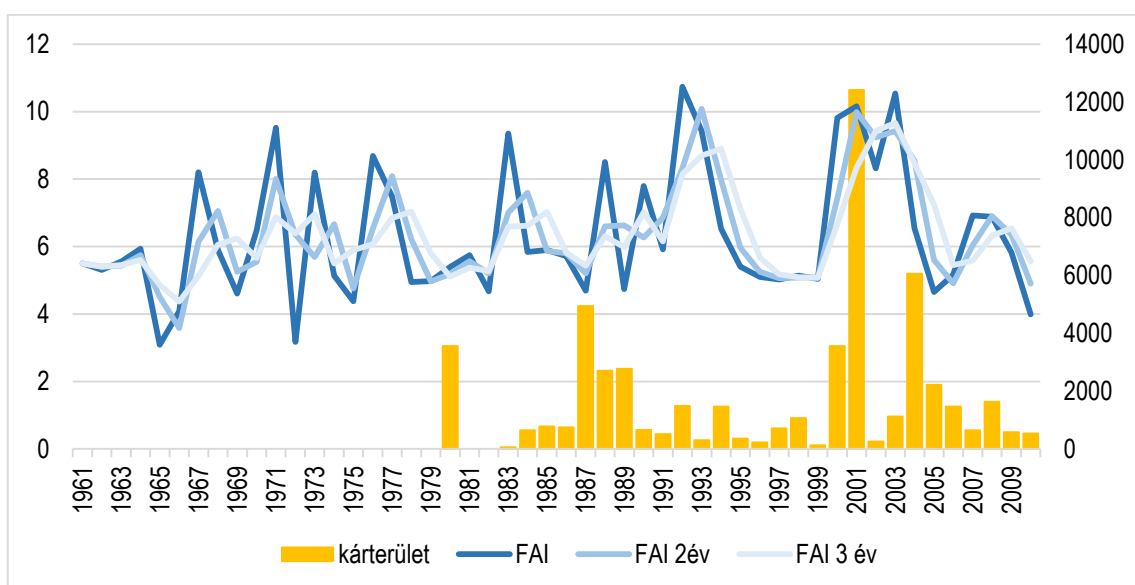
Az alacsony kártértékek előfordulását vizsgálva: 1994 és 1999 között 5 évig folyamatosan alacsony aszályindex-értékek adódtak, melyhez 1995-től társultak csak csökkent kárterület-értékek. Az aszályindexek 2000-ben bekövetkezett megugrását is csak 2003-ban követték növekedéssel a jelentett kárterületek. Az adatokban tehát a bükkösök késleltetett „reakcióját” lehet feltételezni. Esetenként hosszabb időszak súlyosabb aszályait követően leromlás tapasztalható, egy-egy aszályos év nem jár feltétlenül erős károkkal. Az 1987-es károkat megelőző évek azonban épp viszonylag csapadékosak voltak. Ugyanakkor az 1992-1994 közötti aszályos időszakot nem követték nagy területű kárjelentések. A 2000-es évek első felének aszályait követően viszont volt jelentős kárterület-növekedés.

A bükkpusztulás 1994-es első magas értékét az ÁESZ (MGSZH, NÉBIH) Egri Igazgatóságának területéről jelentették, míg a 2000-es években Zalában volt jellemző ez a kárfeleség.

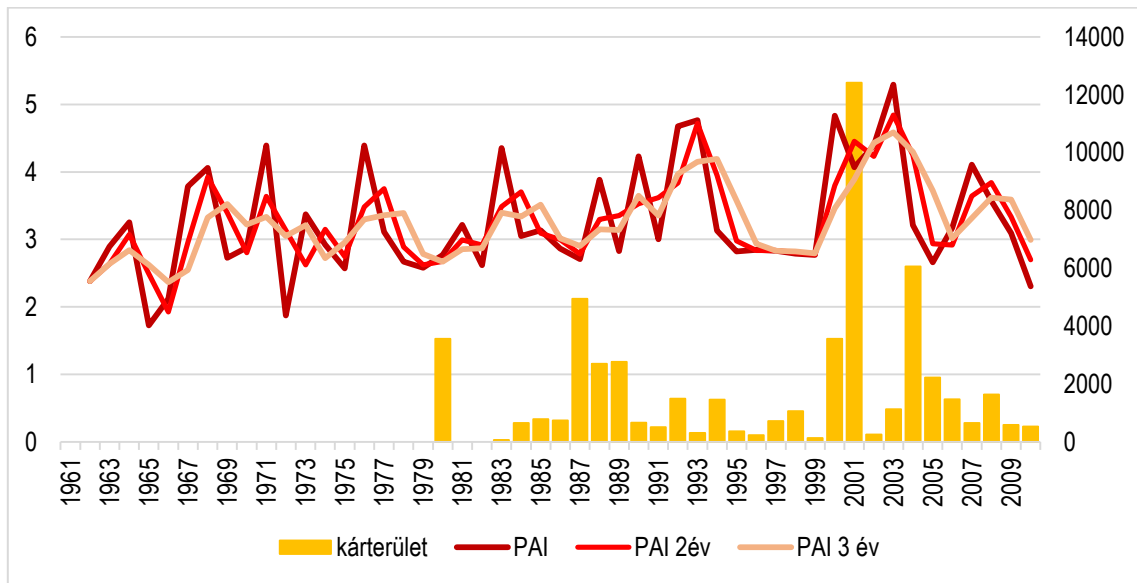
Látható, hogy 1994-et közvetlenül megelőzően az Északi-középhegység említett részén két igen erős aszályos év fordult elő, de a későbbiekben nincsenek ismétlődő aszályos évek, csak 2000-ben volt kiugró az aszály mértéke, amely akkor nem járt bükkpusztulással.

Zalában 1994. év kiugróan aszályos volt, de akkor nem észleltek károkat. A 2004. évi károkat 4 éves aszály előzte meg (27. ábra, 28. ábra) (Janik et al. 2015).

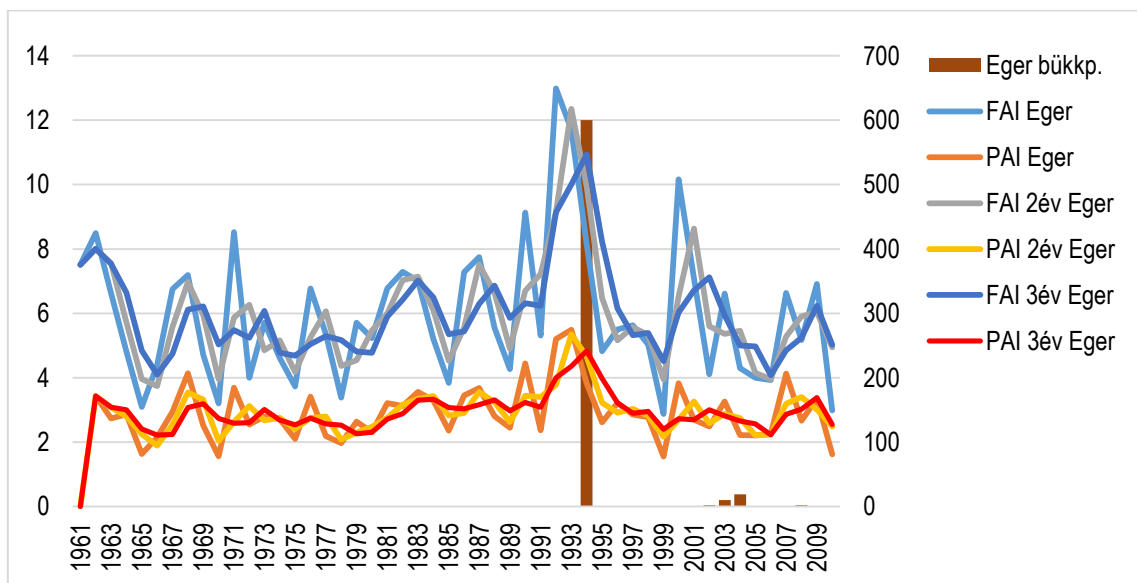
A több éves aszály és az erdőkárok összefüggéseinek pontosabb kimutatására, további vizsgálódást végeztünk a matematikai statisztika módszereivel.



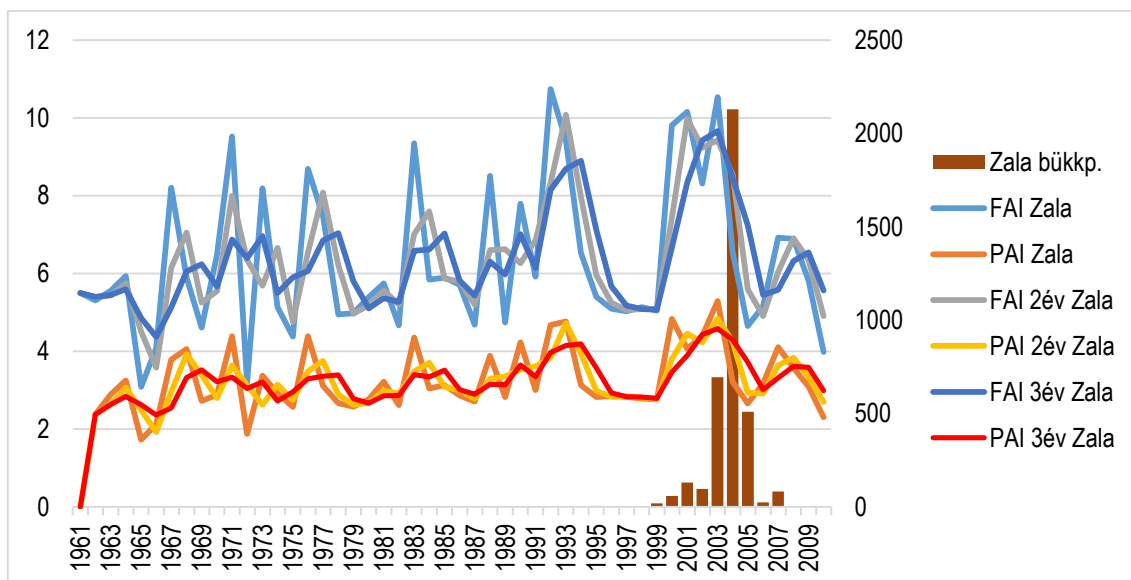
25. ábra: A FAI aszályindex, valamint 2 és 3 éves mozgóátlagainak változása és a teljes kárterület alakulása (Janik et al. 2015).



26. ábra: A PAI aszályindex, valamint 2 és 3 éves mozgóátlagainak változása és a teljes kárterület alakulása (Janik et al. 2015).



27. ábra: Az ÁESZ (MGSZH, NÉBIH) Egri Igazgatóság területén az aszályindexek és a bükkpusztulás területének alakulása 1992-től 2010-ig (Janik et al. 2015).



28. ábra: Az ÁESZ (MGSZH, NÉBIH) Zalaegerszegi Igazgatóság területén az aszályindexek és a bükkpusztulás területének alakulása 1992-től 2010-ig (Janik et al. 2015).

Az összefüggések vizsgálatára Pearson-féle korreláció-számítást alkalmaztunk. Az országos adatokra mind a teljes jelentett kárterületet, mind a bükkpusztulás kárterületét korreláltattuk az aszályindexekkel, a 2 és 3 éves mozgóátlagokkal. Az Egri Igazgatóság és a Zalai Igazgatóság esetében csak a bükkpusztulást korreláltattuk az említett, helyileg számított aszály-jellemző mennyiségekkel (4. táblázat).

4. táblázat: Korrelációs- és p-értékek az aszályindexek és mozgóátlagaik, valamint a teljes kárterület és a bükkpusztulás között; országos adatokra, az Egri EI területére és a Zalaegerszegi EI területére. A legmagasabb és szignifikáns korrelációs értékeket aláhúzással jelöltük (Janik et al. 2015).

		FAI	PAI	FAI 2év	PAI 2év	FAI 3év	PAI 3év
Országos	Kárterület r érték	<b>0,26732</b>	<b>0,095534</b>	<u>0,36925</u>	<b>0,29347</b>	<b>0,22539</b>	<b>0,18012</b>
	kárterület p érték	0,14599	0,60919	<u>0,040924</u>	0,10908	0,22281	0,33223
	Bükkpusztulás r érték	<b>0,10227</b>	<b>0,054338</b>	<b>0,36975</b>	<b>0,38889</b>	<b>0,49006</b>	<u>0,55008</u>
	Bükkpusztulás p érték	0,6961	0,83591	0,14408	0,12289	0,04583	<u>0,02215</u>
Egri EI	Bükkpusztulás r érték	<b>0,35146</b>	<b>0,35386</b>	<b>0,69541</b>	<b>0,76702</b>	<u>0,778</u>	<b>0,76075</b>
	Bükkpusztulás p érték	0,16656	0,16348	0,001939	0,000327	<u>0,000236</u>	0,000391
Zalaegerszegi EI	Bükkpusztulás r érték	<b>0,15592</b>	<b>0,10689</b>	<b>0,42643</b>	<b>0,45733</b>	<b>0,5084</b>	<u>0,56302</u>
	Bükkpusztulás p érték	0,56419	0,69356	0,099536	0,074899	0,044342	<u>0,023161</u>

Országosan a teljes kárterület a FAI 2 éves mozgóátlagával sejtet pozitív kapcsolatot, míg a bükkpusztulás az indexek 3 éves mozgóátlagával. Az Egri igazgatóság területén adataink jelentős és szignifikáns korrelációt mutattak a bükkpusztulás területe és a FAI 3 éves mozgóátlaga között, hasonlóan a PAI 3 éves mozgóátlagához. A 2 éves mozgóátlagok csekélyebb korrelációt adtak. A Zalai adatokra hasonló kép rajzolódott ki, de a korreláció gyengébb volt (Janik et al. 2015).

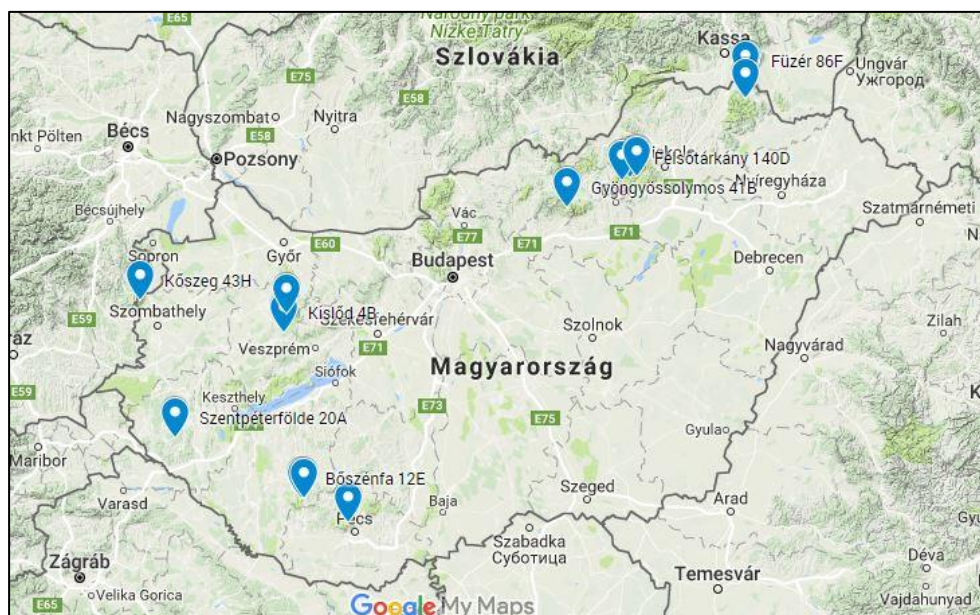
Az országos kárterületek és aszályindexek esetében a korrelációs értékek nem utaltak erős összefüggésre, amely várható is volt. Ezért is folytattuk vizsgálatainkat nagyobb felbontású adatsorokkal.

## 5.2 A mintaterületek alapadatai

5. táblázat: A részletes elemzésekhez kiválasztott 15 mintaparcella alapadatai.

erdőrészlet	koordináták	első év	fák (db)	fák 2010-ben (db)	kor 2010-ben	adatsor hossza (év)	mintafák átlagos száma (db)
Bőszénfa 12E	N46 15.727 E17 47.470	1992	100	98	128	19	99
Felsőtárkány 140D	N48 02.394 E20 28.986	1994	100	98	101	17	99
Felsőtárkány 55A	N48 01.515 E20 24.938	1994	100	99	95	17	100
Füzér 86F	N48 34.248 E21 25.785	1992	97	81	86	19	89
Füzér 86G	N48 34.123 E21 25.707	1992	99	80	81	19	88
Gyöngyössolymos 41B	N47 52.918 E19 57.480	1992	100	98	108	19	99
Kislőd 4B	N47 11.512 E17 38.402	1996	90	61	117	15	69
Kőszeg 43H	N47 22.103 E16 27.902	1992	76	64	133	19	69
Nagyhuta 10C	N48 28.157 E21 25.580	1995	89	66	89	22	60
Orfű 21B	N46 07.610 E18 10.292	1992	69	62	62	19	72
Répáshuta 11C	N48 03.288 E20 32.060	1994	100	100	83	17	100
Répáshuta 12G	N48 03.135 E20 32.290	1994	99	97	78	17	97
Szentpéterfölde 20A	N46 36.055 E16 44.973	1989	68	42	119	22	55
Ugod 31A	N47 17.534 E17 39.765	1992	120	84	101	19	97
Zselickislak 8E	N46 15.617 E17 48.380	1995	100	99	126	16	100

Az ERTI erdővédelmi monitoring-parcellái közül 32 db bükkös parcella. Ezek között 15 volt az elemzésekhez megfelelő, mivel egyszerre megfelelően hosszú adatsorral rendelkezett, és a vizsgálati időszak alatt a mintafák száma nem csökkent 30%-ot meghaladóan. A parcellák földrajzi elhelyezkedését a 29. ábra, alapadatait a 5. táblázat mutatja.



29. ábra: A mintaterületek elhelyezkedése.



Mint látható a térképen, a mintaterületek elég jól mintázzák a bükk magyarországi areáját.

### 5.3 A mintaterületek időjárási és termőhelyi jellemzése

A mintaterületek termőhelyeire és erdőállományaira vonatkozó adattári adatokat a 6. táblázat és a 7. táblázat mutatja be. Az erdőrészeket tengerszint feletti magassága változatos – 150 m alattitól az 500/650 m-es magasságokig fordulnak elő mintaterületek, összhangban tájegységi elhelyezkedésükkel. Ugyanilyen változatosság látható a fekvés tekintetében is. A lejtés sehol nem haladja meg a 20°-ot. Az erdőállomány-adattárban minden mintaterület esetében bükkös klíma szerepelt, amely szükségképpen az egykori termőhely-feltárást végző szakember helyszíni megfigyeléseire (és nem meteorológiai mérésekre) alapozott alapadat. Hidrológiai viszonyok tekintetében csak két területen jegyezték fel szivárgó vizet, minden más terület többletvíz-hatástól független. A termőréteg mélysége csak egy esetben tekinthető sekélynek, többnyire középmély vagy mély. Genetikai talajtípus szerint egy mintaterület áll közethatású rendzina talajon, de a talajréteg mélysége itt megfelelő. Két zempléni mintaterületen a podzolosodás jelenségét jegyezték fel, amely kedvezőtlen a fák fejlődése szempontjából, de összességében a mintaterületek talajadottságai megfelelőek a bükk számára.

A rendelkezésre álló meteorológiai adatok alapján értékeltem a mintaterületek klimatikus viszonyait 1961 és 2010 között. A vizsgálati időszakban a mintaterületek évenkénti FAI értékeit idősoros diagramokkal, a mintaterületek korszaki jellemzőit klímadiagramon jelenítettem meg. A FAI éves értékeinek diagramjain feltüntettem a különböző erdészeti klímakategóriák határvonalait is (rövidítések: bükkös – B, gyertyános-tölgyes – GYT; kocsánytalan-tölgyes cseres – KTT-Cs; erdőssztyep – ESZTY). A rendelkezésre álló interpolált, hónapra megadott értékekkel számoltam. A diagramokon a vizsgált időszakra vonatkozóan a havi középhőmérsékletek átlagait ábrázoltam, valamint feltüntettem az éves átlagos csapadékösszeget és középhőmérsékletet is.

Az aszályos évek meghatározásához egy adott mérési helyen, ha a FAI sokéves átlagánál a vizsgált év FAI-értéke legalább egy klímakategóriának megfelelő FAI-értékkel nagyobb, akkor azt aszályos, ha két klímakategóriának megfelelő FAI-értékkel nagyobb, akkor pedig azt szélsőségesen aszályos évnak tekintettem (Gálos & Führer 2018). Mivel nem kis számban fordultak elő olyan évek, amelyek során a FAI értéke a sokéves átlagot több, mint három klímakategóriával volt nagyobb, ezeket az éveket a dolgozatban extrém aszályos éveknek neveztem el.

Mivel a mintaterületek időjárási adatsorai leginkább földrajzi közelség alapján mutatnak hasonló lefutást, célszerű volt geográfiai régiókba sorolva, nyugatról kelet felé haladva bemutatni a mintaterületeket. Ezzel a kérdéskörrel a statisztika elemzések fejezete részletesen foglalkozik.

6. táblázat: A vizsgálatok során felhasznált, nyilvántartott termőhelyi adatok (rövidítések: bükkös klímakategória – B; gyertyános-tölgyes klímakategória – GYT; kocsánytalan-tölgyes cseres klímakategória – KTT-Cs; többletvízhatástól független – TVFLEN; szivárgó vizű – SZIV; agyagbemosódásos barna erdőtalaj – ABE; barna föld – BF; podzolos barna erdőtalaj – PBE; savanyú nem podzolos barna erdőtalaj – SBE; rendzina – RE ):

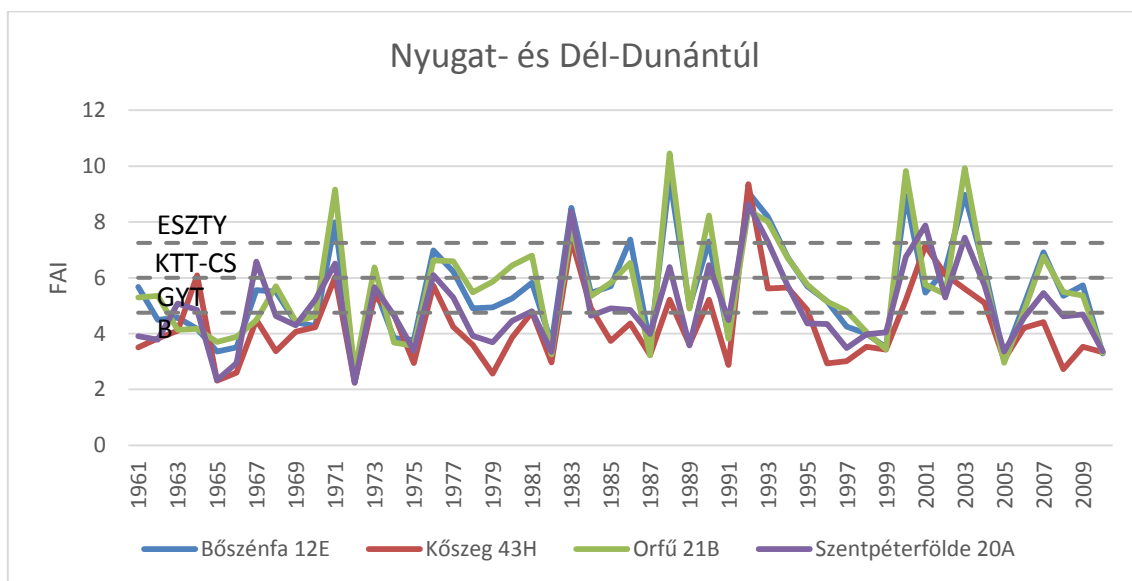
erdőrészlet	tszfm.	fekvés	lejtés	erdőklíma	hidrológia	genetikai talajtípus	réteg vastagság	korszaki FAI 1961-2010	FAI szerinti klíma
Bószénfa 12E	150 m alatti	Vált.	Vált.	B	TVFLEN	ABE	60-100 cm	5,06	GYT
Felsőtárkány 140D	350-450 m	Ny	15-20°	B	TVFLEN	BF	40-60 cm	4,23	B
Felsőtárkány 55A	450-550 m	ÉK	15-20°	B	TVFLEN	BF	40-60 cm	4,08	B
Füzér 86F	450-550 m	É	10-15°	B	TVFLEN	PBE	20-40 cm	3,24	B
Füzér 86G	450-550 m	K	2,5-5°	B	TVFLEN	PBE	40-60 cm	3,24	B
Gyöngyössolymos 41B	450-550 m	ÉK	10-15°	B	TVFLEN	ABE	60-100 cm	4,38	B
Kislőd 4B	250-350 m	Ny	2,5-5°	B	TVFLEN	ABE	100-	5,19	GYT
Kőszeg 43H	550-650 m	É	10-15°	B	SZIV	SBE	60-100 cm	3,98	B
Nagyhuta 10C	150-250 m	É	10-15°	B	TVFLEN	SBE	60-100 cm	4,95	GYT
Orfű 21B	250-350 m	D	5-10°	B	TVFLEN	ABE	60-100 cm	5,08	KTT-CS
Répáshuta 11C	450-550 m	D	10-15°	B	SZIV	SBE	40-60 cm	3,73	B
Répáshuta 12G	550-650 m	É	15-20°	B	TVFLEN	RE	40-60 cm	3,73	B
Szentpéterföldre 20A	150 m alatt	É	10-15°	B	TVFLEN	ABE	60-100 cm	4,56	B
Ugod 31A	250-350 m	É	2,5-5°	B	TVFLEN	ABE	100-	5,46	GYT
Zselickislak 8E	150-250 m	Vált.	5-10°	B	TVFLEN	BF	60-100 cm	5,06	GYT

7. táblázat: A vizsgálatok során felhasznált, nyilvántartott fafajsort adatok, és a számított átlagos éves magassági növekedés:

Erdőrészlet	Bükk elegyarány	záródás	kor	magasság	átmérő	átlagos éves magassági növekedés (m)
Bószénfa 12E	67	30	128	33	59	0,25
Felsőtárkány 140D	68	97	101	26	38	0,25
Felsőtárkány 55A	27	100	95	23	37	0,24
Füzér 86F	100	91	86	25	32	0,28
Füzér 86G	100	91	81	25	33	0,30
Gyöngyössolymos 41B	93	100	108	29	42	0,26
Kislőd 4B	100	78	117	40	51	0,34
Kőszeg 43H	100	44	133	36	44	0,27
Nagyhuta 10C	87	94	89	24	29	0,35
Orfű 21B	75	55	62	30	45	0,27
Répáshuta 11C	79	90	83	24	26	0,38
Répáshuta 12G	83	98	78	28	30	0,30
Szentpéterfőlde 20A	74	94	119	30	41	0,35
Ugod 31A	100	100	101	38	39	0,37
Zselickislak 8E	81	71	126	38	62	0,30

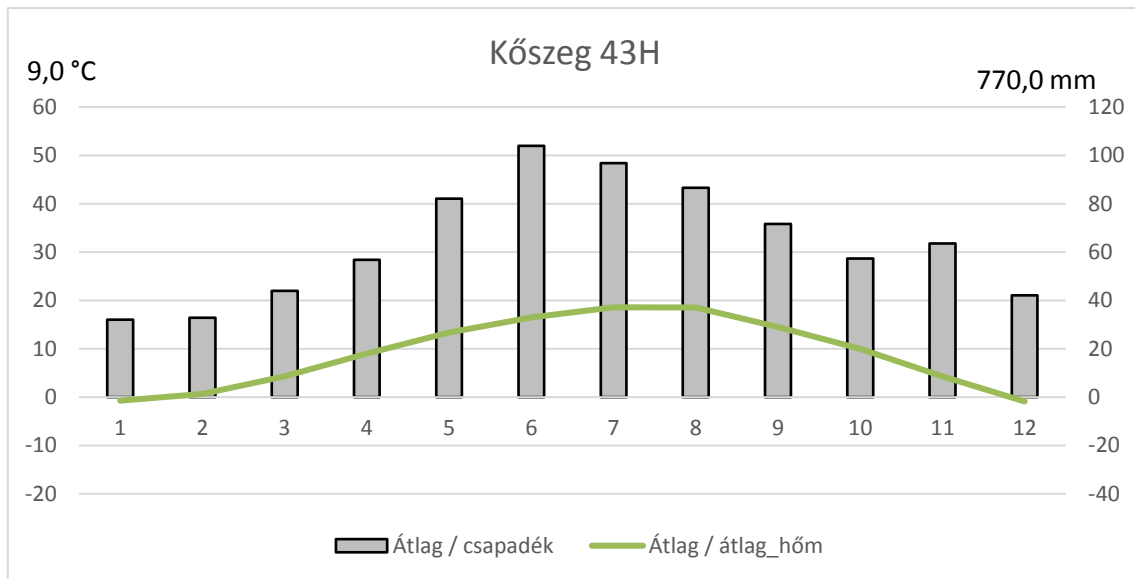
## Nyugat- és Dél-Dunántúl

A Nyugat- és Dél-Dunántúl tájain található 5 mintaterületünk klímaadatai alapján értékeltük az időjárást és a FAI (Forestry Aridity Index - Erdészeti Szárazsági Index) alkalmazásával igyekeztünk a kiugróan száraz nyarú (aszályos) éveket azonosítani. Az adatok alapján térségben a három délebbi (Orfű, Zselickislak és a vele azonos adatsorú Bőszénfa) elhelyezkedésű területen voltak erősebb aszályértékek, míg a zalai és a kőszegi mintaterületek valamivel alacsonyabb értékeket mutattak aszályos években is (ábra). (30. ábra). A kőszegi és a szentpéterföldei mintapontokon nem mindegyik aszályos év érvényesült, azok északibb és nyugatibb elhelyezkedése miatt. Ezek az évek azok, amelyek feltételezésünk szerint leginkább hatással lehetnek az erdőkárokra, azok megnövekedésére.



30. ábra: A Nyugat- és Dél-Dunántúl mintaterületeinek FAI értékei 1961 és 2010 között.

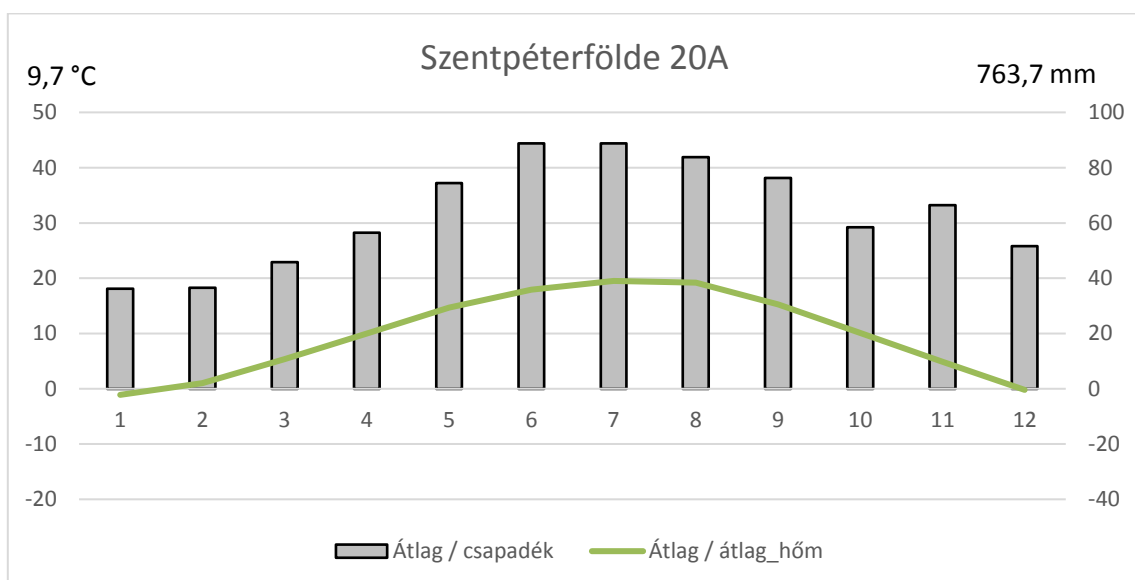
Legnyugatibb elhelyezkedésű kiválasztott mintaterületünk az Alpok-alján, Kőszeg 43H erdőrészletben található. A rendelkezésre álló havi adatsorok szerint az éves csapadékösszeg a vizsgált időszakban átlagosan 769,6 mm, a havi átlaghőmérsékletekből képzett éves átlag pedig 9 °C. Az idősorban a csapadék maximuma évente június hónapban, a hőmérsékleti maximum pedig augusztusban (y ábra). A FAI sokéves átlaga 3,98, ami egyértelműen bükkös klímának felel meg (Führer 2010, Führer et al. 2011). Aszályos éveknek az 5,23-nál magasabb és 6,48-nál alacsonyabb FAI értékű évek számítanak, amelyekből a vizsgált időszakban 13 db volt. A szélsőségesen aszályos évek száma 3, és az extrém aszályos évek száma is 3 volt (1964, 1971, 1983, 1992, 2001, 2002). Bükkös klímának megfelelő év 32-szer fordult elő. (30. ábra).



31. ábra: Kőszeg 43H erdőrésztlet havi csapadék és átlaghőmérséklet diagramja 1961 és 2010 között.

A belső-zalai Szentpéterföldre 20A erdőrésztlet adatai szerint az átlagos éves csapadék-összeg 763,7 mm, míg az átlagos hőmérséklet 9,7 °C volt. Azaz alig tér el a Kőszegi-hegység adataitól. Ugyanakkor ezen a területen a júniusi csapadék-maximum nem érvényesül, hiszen az időszakban július hónapban is ugyanannyi, augusztusban pedig alig kevesebb volt a csapadékösszeg (32. ábra).

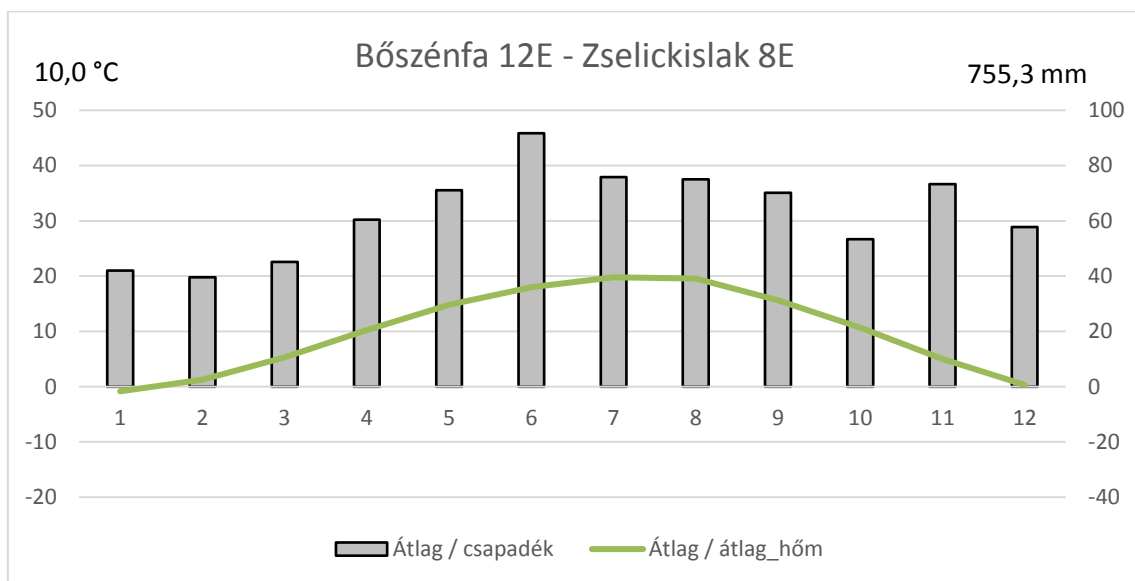
A FAI 50 éves átlaga 4,56, ami még bükkös klímakategóriának tekinthető. Aszályos éveknek az 5,81-nél magasabb FAI értékű évek számítanak, összesen 9 ilyen fordult elő. A szélsőségesen aszályos évek száma 6, és az extrém aszályos évek száma 3 volt (1967, 1971, 1983, 1990, 1992, 1993, 2000, 2001, 2003). Bükkös klímájú év a vizsgált időszakban 27 évben volt. (30. ábra).



32. ábra: Szentpéterföldre 20A erdőrésztlet havi csapadék és átlaghőmérséklet diagramja 1961 és 2010 között.

A zselici két mintaterületünk – Bőszénfa 12E és Zselickislak 8E erdőrészekben – egymáshoz közel helyezkedik el, így csak egy időjárási adatsor volt hozzáférhető mindkét helyszínre. A teljes időjárási adatsor 1961-2010 között megmutatja, hogy az éves csapadékösszeg ebben az időszakban átlagosan 755,3 mm volt, míg a havi átlaghőmérsékletekből képzett átlag 10,0 °C-nak adódott. Az értékek hasonlóak az észak-dunántúli adatainkhoz, azonban kifejezett júniusi csapadékcsúcs volt megfigyelhető (33. ábra).

A FAI sokéves átlaga 5,06, ami már gyertyános-tölgyes klímakategóriába esik. Aszályos éveknek az 6,31 - 7,56 közötti FAI értékű évek számítanak, összesen 9 ilyen év volt. A szélsőségesen aszályos évek száma 4, és az extrém aszályos évek száma 1 volt (1971, 1976, 1983, 1986, 1988, 1990, 1992, 1993, 2000, 2003). Bükkös klímájú év a vizsgált időszakban csak 18 alkalommal fordult elő. (30. ábra).

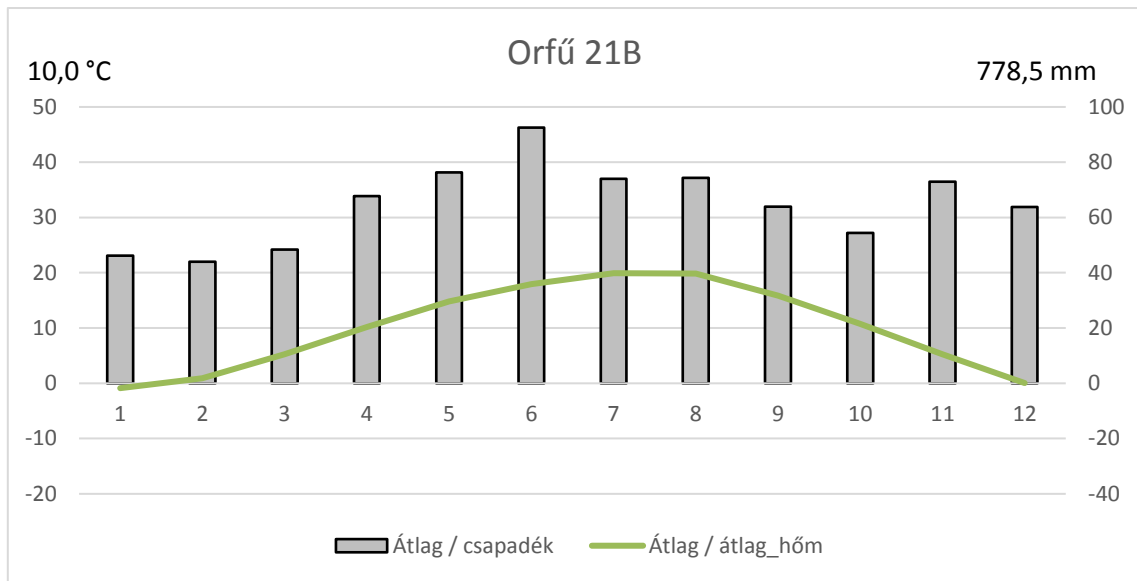


33. ábra: Bőszénfa 12E és Zselickislak 8E erdőrészek havi csapadék és átlaghőmérséklet diagramja 1961 és 2010 között.

Mecseki mintaterületünk helyszíne Orfű 21B erdőrészek. Az időszaki átlagos csapadékösszegre 778,5 mm, az átlaghőmérsékletre pedig 10,0 °C volt az eredmény az adatfeldolgozás során. A zselici adatsorokhoz tehát nagyon hasonló eredményeket kaptunk (34. ábra). Az átlagos csapadékösszeg azonban kissé magasabb, a középhegységi elhelyezkedés miatt.

A FAI átlaga 5,08, ami gyertyános-tölgyes klímakategóriába esik. Az aszályos évek száma 13 volt. A szélsőségesen aszályos évek száma 2, és az extrém aszályos évek száma 6 volt (1971, 1983, 1988, 1990, 1992, 1993, 2000, 2003). Bükkös klímájú év a vizsgált 50 évben mindössze 17 volt. (30. ábra).

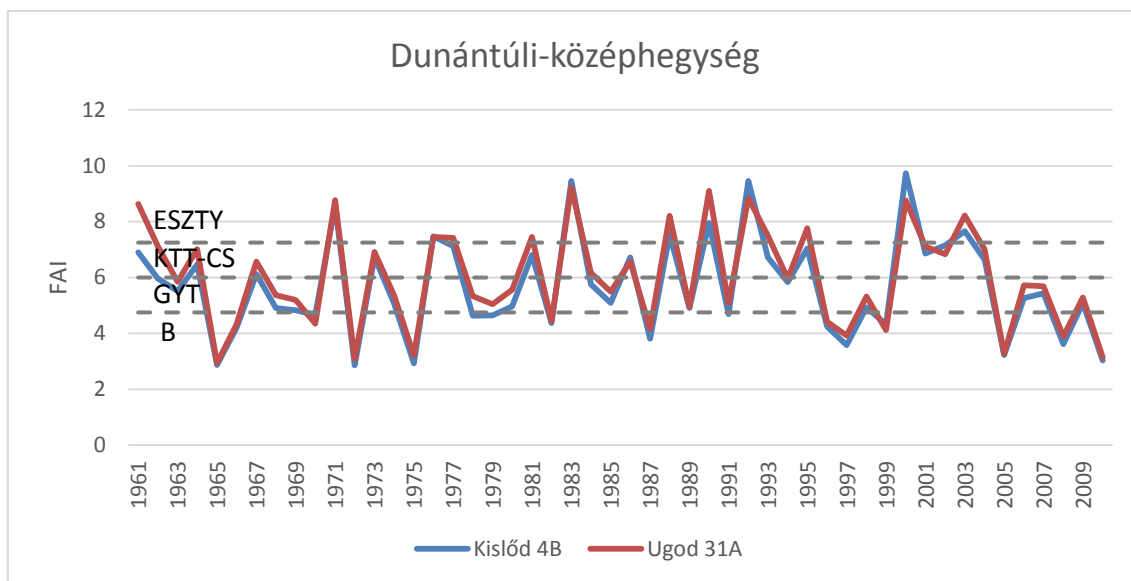




34. ábra: Orfú 21B erdőrészlet havi csapadék és átlaghőmérséklet diagramja 1961 és 2010 között.

## Dunántúli-középhegység

A Dunántúli-középhegységben két mintaterületünk található.



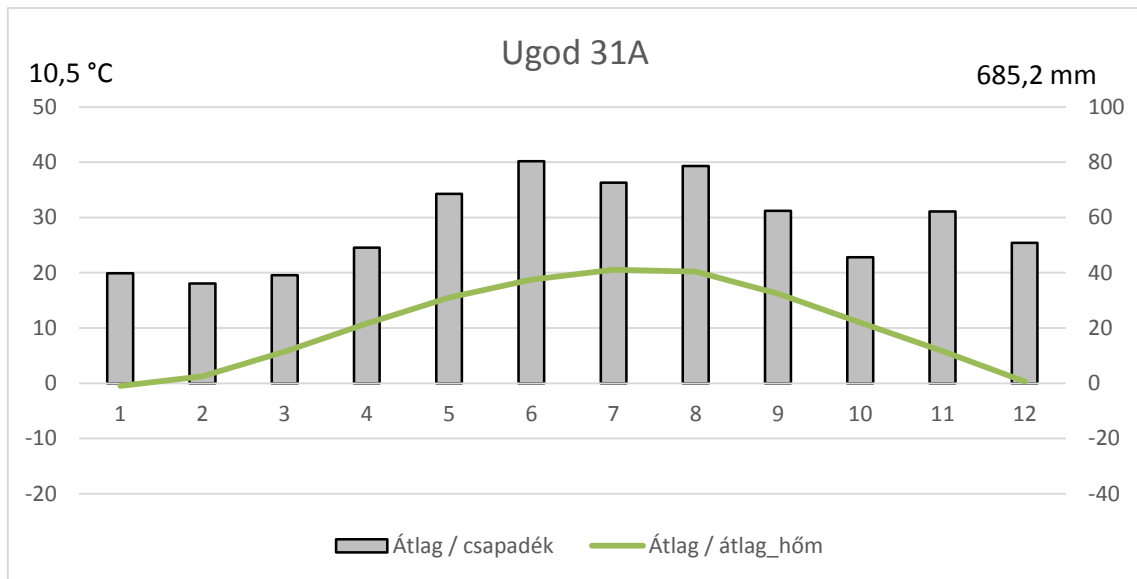
35. ábra: A Dunántúli-középhegység mintaterületeinek FAI értékei 1961 és 2010 között.

A Dunántúli-középhegység lábánál található két mintaterületünk: Kislőd 4B és Ugod 31A erdőrészekben. Ugod 31A mintaterület átlagos éves csapadékösszegére 685 mm, átlag-hőmérsékletére 10,5 °C adódott. Kislőd 4B esetében ez a két érték 735,4 mm és 10,1°C. A zalai értékekhez képest tehát Ugod esetében már jelentősen alacsonyabb a csapadék mennyisége, és mindkét területen a hőmérséklet értékei magasabbak. A csapadék-eloszlásban kettős nyári, júniusi és augusztusi csúcs volt megfigyelhető (36. ábra és 37. ábra).

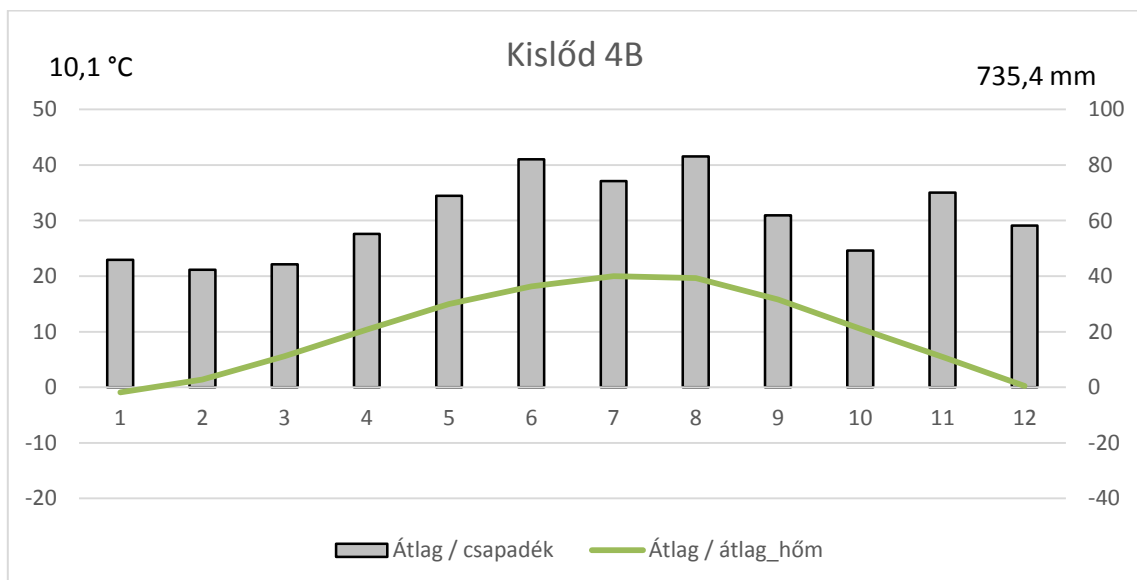
A FAI átlaga Kislődön 5,19 volt, míg Ugodon 5,46. Mindkettő gyertyános-tölgyes klímakategóriának felel meg.

A kislődi mintaponton az aszályos évek száma 12 volt a vizsgálati periódusban. A szélsőségesen aszályos évek száma 6, és az extrém aszályos évek száma 4 volt (1971, 1976, 1977, 1983, 1988, 1990, 1992, 2000, 2002, 2003). Bükkös klímájú év a vizsgált 50 évben igen kevés: 16. (35. ábra).

Az ugodai mintaterületen az előbbihez hasonlóan alakult az időjárás. Az aszályos évek száma: 9 volt a vizsgálati periódusban. A szélsőségesen aszályos évek száma 7, és az extrém aszályos évek száma 6 (1961, 1971, 1976, 1977, 1981, 1983, 1988, 1990, 1992, 1993, 1995, 2000, 2003). Bükkös klímájú év a mintaterületek között a legkevesebb: 13 volt. (35. ábra).



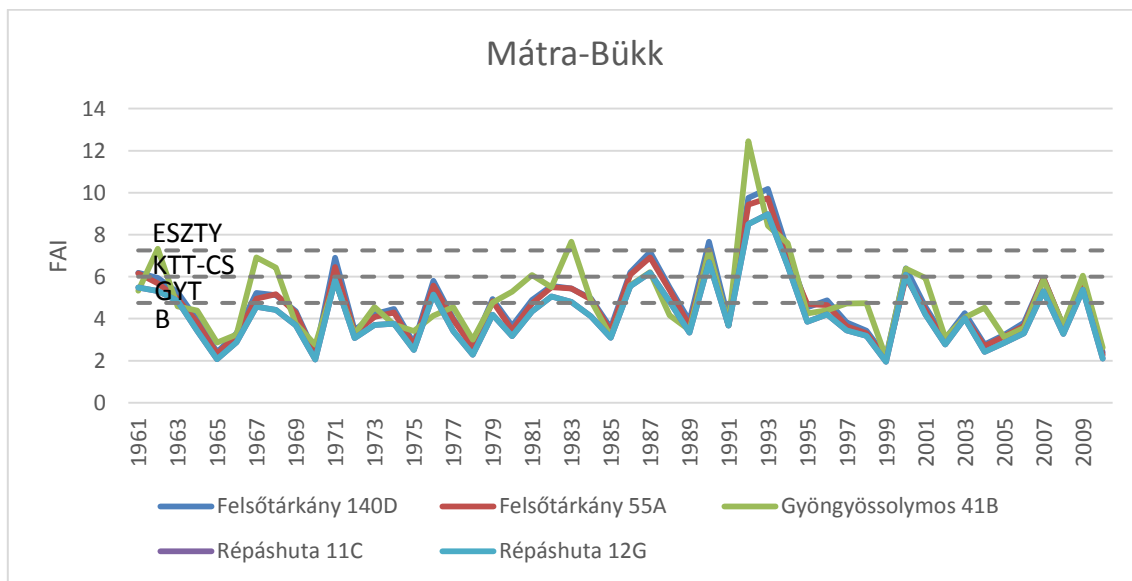
36. ábra: Ugod 31A erdőrészlet havi csapadék és átlaghőmérséklet diagramja 1961 és 2010 között.



37. ábra: Kislőd 4B erdőrészlet havi csapadék és átlaghőmérséklet diagramja 1961 és 2010 között.

## Mátra és Bükk

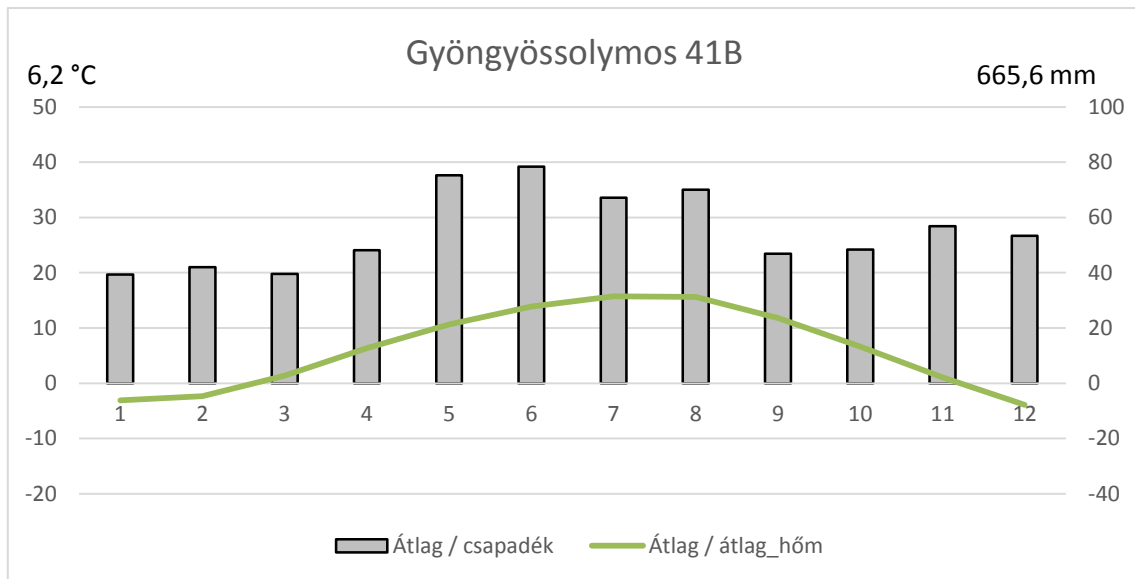
Az Északi-középhegység nyugati felén, a Mátra és a Bükk térségeiben összesen 4 mintaterületet vontunk be az elemzésbe. A FAI értékek alapján az aszályos évek száma az előző régiókhoz képest kevesebb volt, elsősorban Gyöngyössolymos községhatárt érintően (38. ábra).



38. ábra: A Mátra és a Bükk mintaterületeinek FAI értékei 1961 és 2010 között.

Az Északi-középhegységben, a Mátra déli lejtőin található a Gyöngyössolymos 41B erdőrészlet. A számított átlagos csapadékösszeg itt 665,5 mm, az éves átlaghőmérséklet 6,2 °C volt. Jelentősen alacsonyabb a hőmérséklet, mint az összes dunántúli területen, de a csapadékösszeg is közel 100 mm-rel alacsonyabb (39. ábra).

A FAI korszaki átlaga 4,38, ami bükkös klímakategóriát jelent. Az aszályos évek száma 10 volt. A szélsőségesen aszályos évek száma 5, és az extrém aszályos évek száma 4 volt (1962, 1967, 1968, 1983, 1990, 1992, 1993, 1994, 2000). 1992-ben rendkívüli mértékű volt az aszály, 6 klímakategóriával haladta meg a sokéves átlagot a FAI értéke. Bükkös klímájú év a vizsgált időszakban 29 volt. (38. ábra).

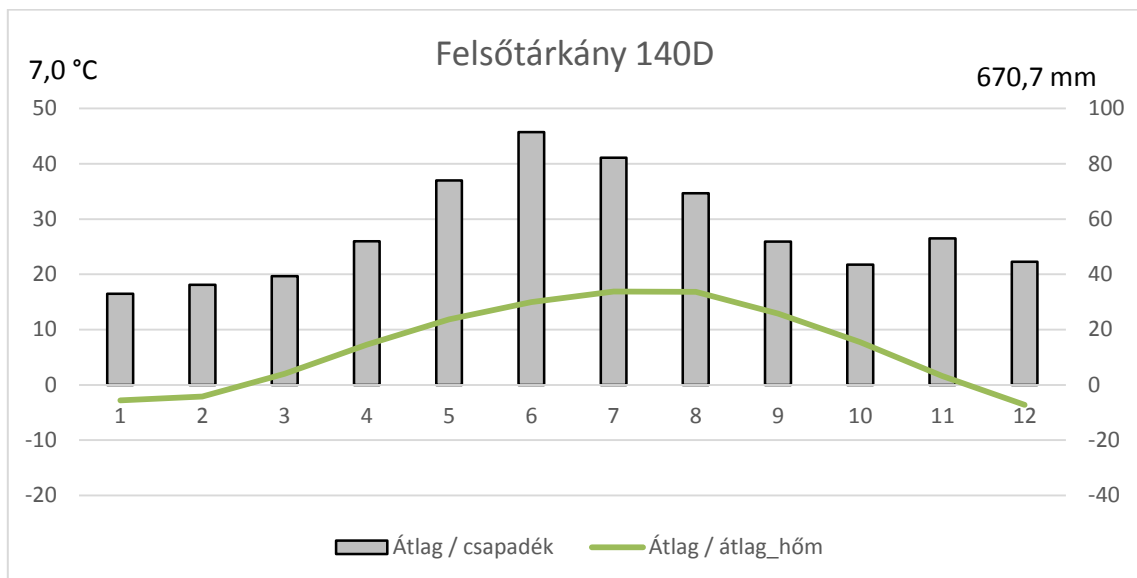


39. ábra: Gyöngyössolymos 41B erdőrésztlet havi csapadék és átlaghőmérséklet diagramja 1961 és 2010 között.

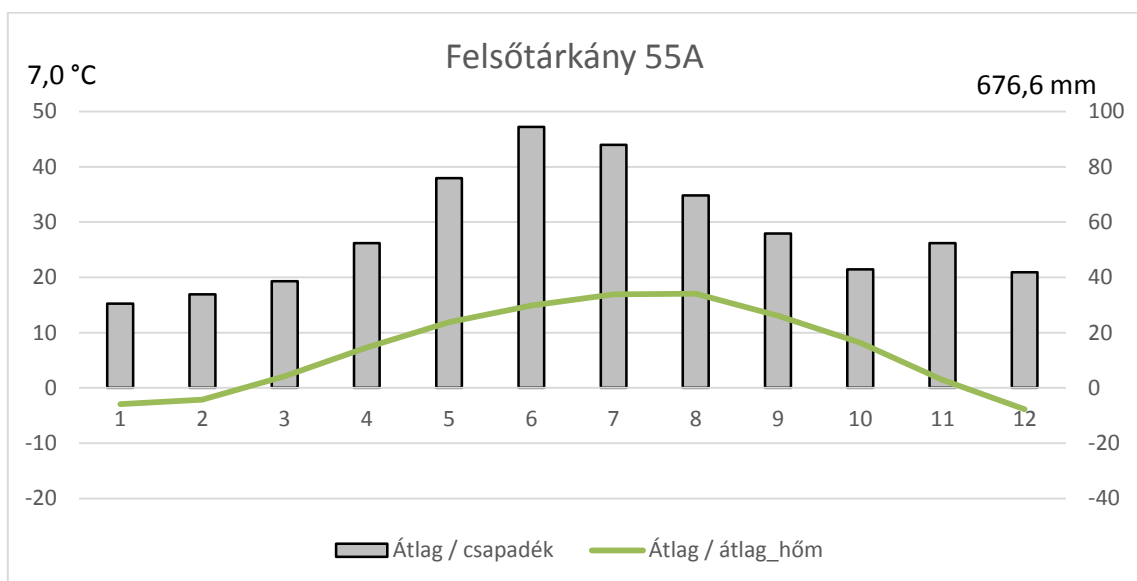
A Bükk-hegység nyugati szélén találhatóak Felsőtárkány 140D és Felsőtárkány 55A mintaparcelláink. A földrajzi közelség miatt az adatsoraik hasonlóak. Felsőtárkány 140D részletre adatainkból évi átlagos 670,7 mm csapadékot és 7,0 °C átlaghőmérsékletet kaptunk eredményül. Felsőtárkány 55A-ra ugyanezek az értékek 767,6 mm és 7,0 °C voltak. Az eredmények a mátrai területtel mutatnak hasonlóságot, némileg magasabb hőmérséklettel. Eltérés a gyöngyössolymosi területtől, hogy itt határozott csapadékcsúcs mutatkozik június hónapban (40. ábra, 41. ábra)

Felsőtárkány 140D erdőrésztletben FAI sokéves átlaga 4,23: a klímakategória így bükkös. Az aszályos évek száma 14, míg a szélsőségesen aszályos évek száma 6, és az extrém aszályos évek száma 3 volt. A szélsőségesen és extrém mértékben aszályos évek 1961, 1971, 1986, 1987, 1990, 1992, 1993, 1994, és 2000 voltak. 1992 és 1993 ezen a mintaterületen is rendkívüli év volt: 4- és 5-kategóriányi aszályindexugrás történt. Bükkös klímájú év a vizsgált időszakban 27 volt. (38. ábra).

Felsőtárkány 55A részletben a FAI sokéves átlaga 4,08-nak adódott, szintén bükkös a klímakategória. Aszályos évek száma szintén 14. A szélsőségesen aszályos évek száma 5, és az extrém aszályos évek száma 3 volt (1961, 1971, 1986, 1987, 1990, 1992, 1993, 1994). 1992 és 1993 ezen a mintaterületen az előzőhöz hasonlóan rendkívüli év volt az aszály szempontjából. Bükkös klímájú év a vizsgált időszakban 29 volt. (38. ábra).



40. ábra: Felsőtárkány 140D erdőrésztlet havi csapadék és átlaghőmérséklet diagramja 1961 és 2010 között.

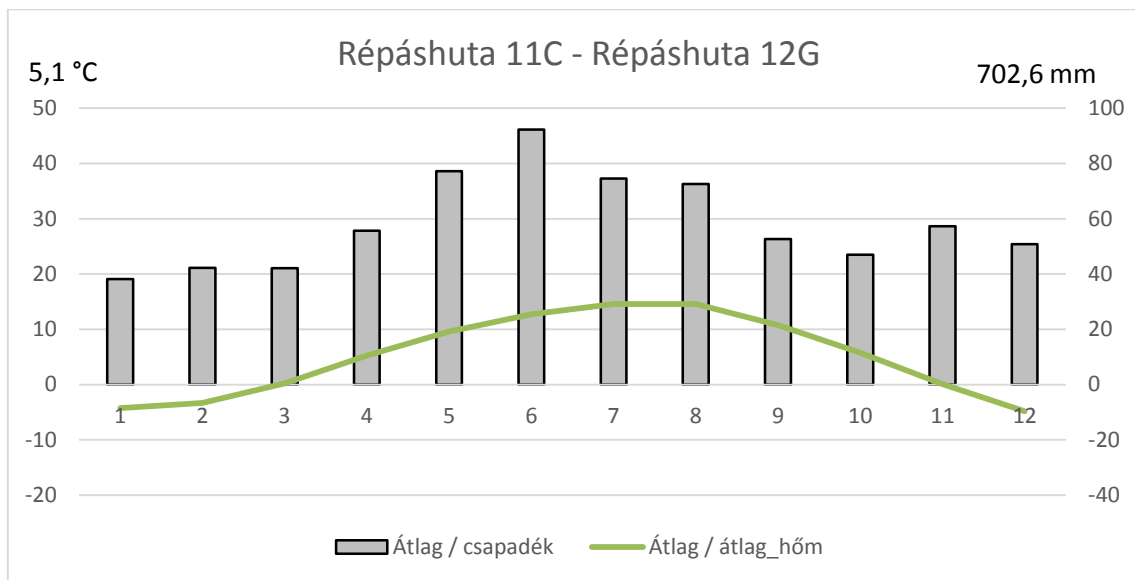


41. ábra: Felsőtárkány 55A erdőrésztlet havi csapadék és átlaghőmérséklet diagramja 1961 és 2010 között.

A Bükk-hegység belsejében helyezkedik el egymás közvetlen közelében Répáshuta 11C és Répáshuta 12G mintaterületünk. Időjárási adataik miatt megegyezők. A már említett módszerrel nyert éves átlagos csapadékösszeg értéke 702,6 mm, míg az átlagos évi hőmérséklet 5,1 °C volt. Azaz a felsőtárkányi területekhez viszonyítva hasonlóak az értékek, és a diagramok értékei is, de itt némileg több a csapadék, és jelentősen alacsonyabb a hőmérséklet (42. ábra). Ez nyilván azért alakult így, mivel ezek a mintaterületek a hegység belsejében találhatóak.



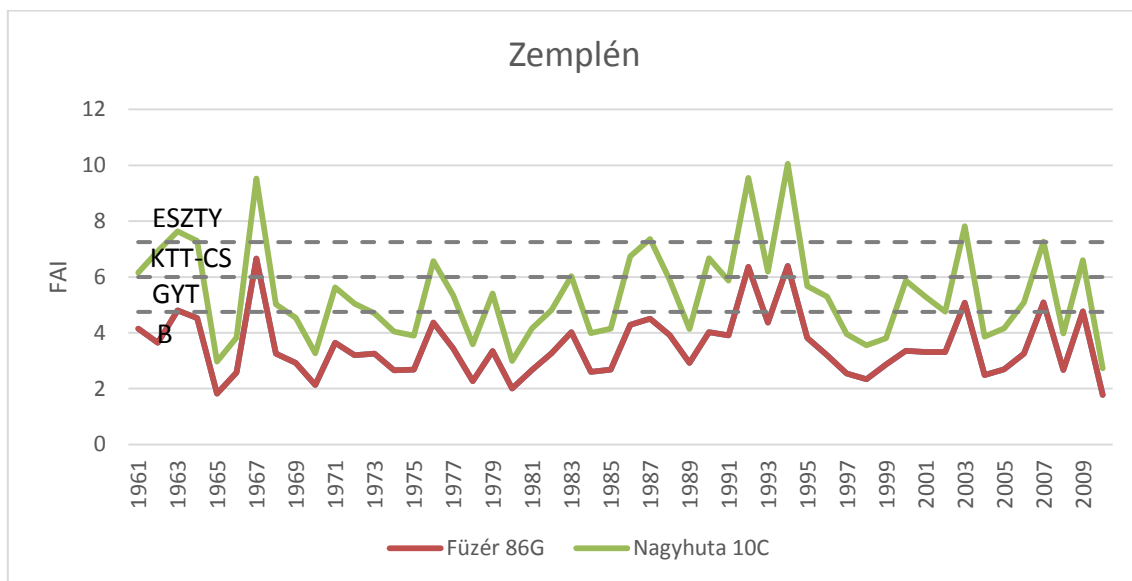
A répáshutai mintapontokon a FAI sokéves átlaga (3,73) bükkös a klímakategóriát jelez. Az aszályos évek száma 12 volt. A szélsőségesen aszályos évek száma 5, és az extrém aszályos évek száma csak 2 volt (1971, 1987, 1990, 1992, 1993, 1994, 2000). 1992 és 1993 itt 4 klímakategóriányi FAI emelkedést mutatott. Bükkös klímájú év a vizsgált időszakban viszonylag sok: 33 volt. (38. ábra).



42. ábra: Répáshuta 11C és Répáshuta 12G erdőrésztlet havi csapadék és átlaghőmérséklet diagramja 1961 és 2010 között.

## Zemplén

A három zempléni mintaterületünkön az Erdészeti Szárazsági Index magasabb értékeket mutatott, mint a Mátrában és a Bükkben. De a három, egymáshoz közeli mintaterület FAI értékei azért jelentősen különböznek. A füzéri mintaterületek adatsorai inkább a mátrai-bükki adatokra hasonlítanak, de kedvezőbbek, gyakorlatilag súlyosan száraz év nélkül. Aszályos évek Nagyhuta 10C erdőrészletben fordultak elő leggyakrabban (43. ábra).



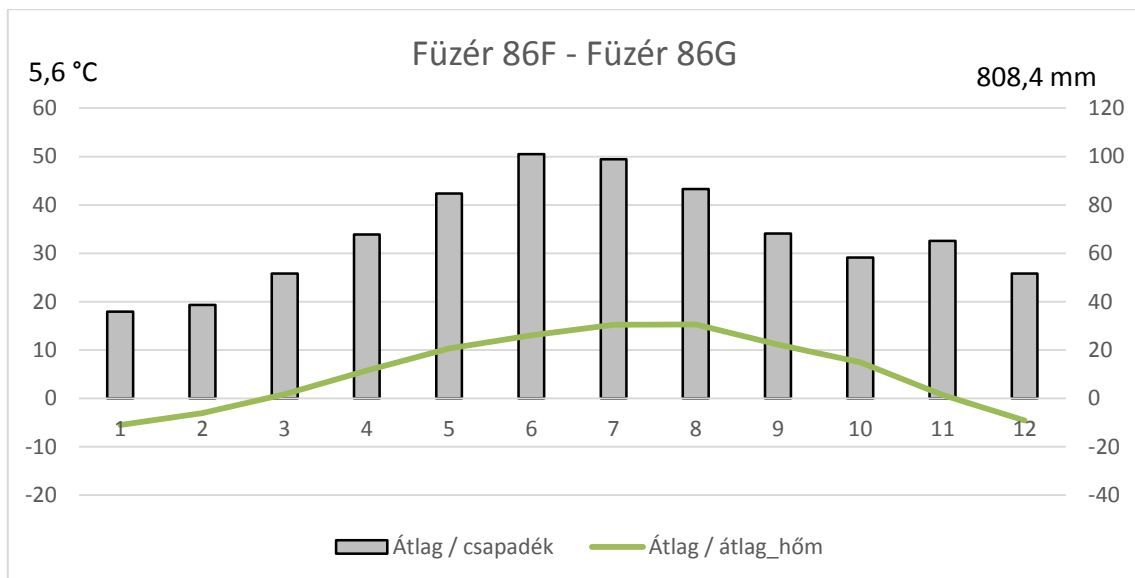
43. ábra: A Zemplén mintaterületeinek FAI értékei 1961 és 2010 között.

A Zempléni-hegység észak-keleti felében fekszenek Füzér 86F, 86G és Nagyhuta 10C, mintaparcelláink. A két füzéri terület közelsége miatt azonos időjárási adatsorral rendelkezik. A füzéri területeken számított éves átlagos csapadék 808,4 mm, az átlagolt hőmérséklet 5,6 °C volt. Nagyhuta 10C esetében a csapadéérték 694,6 mm volt, a hőmérsékleti érték pedig 10,3 °C. A földrajzi közelség ellenére nagy a különbség, amelyet minden bizonnyal a jelentős magassági különbség okoz. Ezek alapján a füzéri területek időjárása tűnik a legkedvezőbbnek bükk számára a mintaterületek között, míg a nagyhutai parcella átlagai az ugori terület értékeihez esnek közel (44. ábra, 45. ábra).

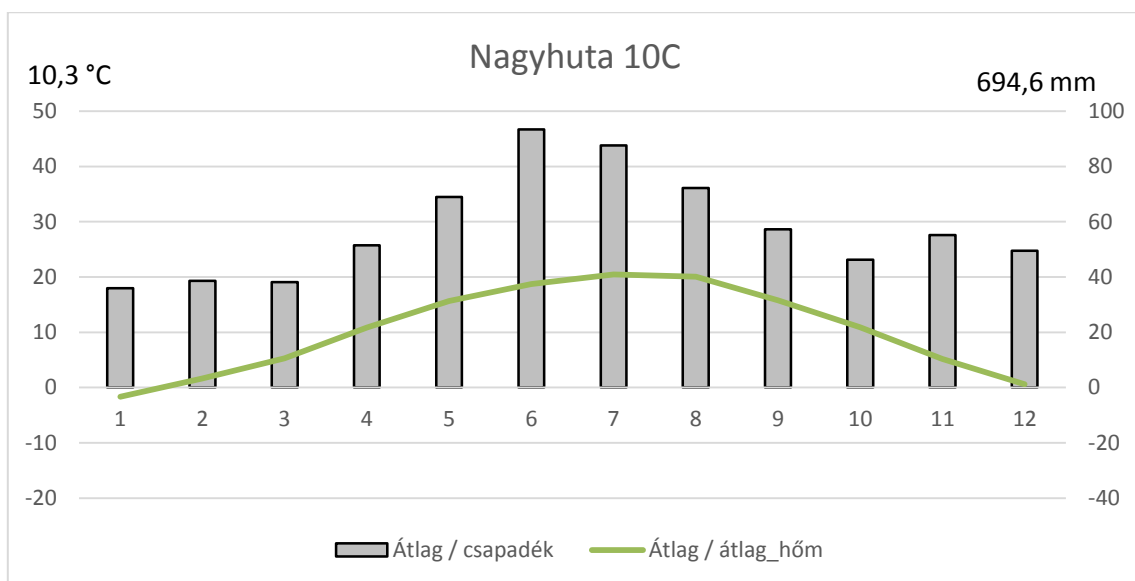
A füzéri mintapontokon a FAI átlaga a bükkös erdőklímának megfelelően 3,2. Az aszályos évek száma 14. A szélsőségesen aszályos évek száma csak 1, és az extrém aszályos évek száma csak 2 volt (1967, 1992, 1994). Bükkös klímának megfelelő FAI értékű év a vizsgált időszakban (az összes mintapont között kiemelkedően) 43 volt. (43. ábra).

A nagyhutai területen a FAI átlag a kis geográfiai távolság ellenére jelentősen eltérő: 4,95, amely már gyertyános-tölgyes klímakategóriát jelent. Az aszályos évek száma 12. A szélsőségesen aszályos évek száma 6, és az extrém aszályos évek száma 3 volt (1962, 1963, 1964, 1967, 1987, 1992, 1994, 2003, 2007). Bükkös

klímának megfelelő FAI értékű év a vizsgált időszakban ezen a területen csak 20 volt. (43. ábra).



44. ábra: Füzér 86F és Füzér 86G erdőrézlet havi csapadék és átlaghőmérséklet diagramja 1961 és 2010 között.



45. ábra: Nagyhuta 10C erdőrézlet havi csapadék és átlaghőmérséklet diagramja 1961 és 2010 között.

A mintaterületek alapadatait áttekintve megfigyelhető (6. táblázat), hogy a FAI értékek szerinti klímabesorolás alapján a vizsgálati időszakban számos mintaterületen nem a bükkös erdészeti klímakategória érvényesült. Gyertyános-tölgyes klímakategóriába estek a bőszenfai, kislódi, nagyhutai, ugodi és zselickislaki mintaterületek, míg az orfúi mintaterület már kocsánytalan tölgyes – cseres klímakategóriába sorolódott.

A termőhelyi viszonyok további, de még mindig előzetes jellemzésére a faállomány magassági növekedését vizsgáltuk meg, és kiszámítottam az átlagos éves magassági növekedést. Jelzem, hogy ez a mutató csak közelítően ad jellemzést a termőhely jóságáról, mivel a mintaterületeken az állományok kor és záródás tekintetében jelentős eltérések tapasztalhatóak.

Az átlagos éves növekedés mértéke nem követi szorosan a klímakategóriákat, azaz nem feltétlenül a legjobb kategóriákban a legnagyobb, és nem is a KTT-CS klímakategóriában a leggyengébb. Megfigyelhető azonban a táblázatokban, hogy a termőréteg mélysége szerint szintén csoportosíthatók a növekedési értékek, bár itt sem szabályszerűen. Minden mintaterület esetén megfigyelhetők bizonyos elkülönülések, azaz pl. igen mély termőréteg esetén még szárazabb klímában is jó éves növekedés figyelhető meg (Ugod 31A és Kislőd 4B), ugyanakkor ennek némileg ellentmondóan a sekély termőrétegű mintaterületen (Füzér 86F) sem rendkívül alacsony a növekedés (7. táblázat).

Azaz az állomány növekedésére ható néhány tényezőt az alapadatokból is el lehetett különíteni, így valószínűsíthetően ezek a hatások akár az egészségi állapot alakulásában is megfigyelhetőek lehetnek. Ezeket a kezdeti megfigyeléseket a statisztikai elemzések során felhasználtuk és tovább elemeztük.

Az időjárás adatok régióként hasonló lefutásúak, egymáshoz képest általában kis eltérésekkel. Ahol jelentősebb eltéréseket tapasztaltunk, ott régió belüli földrajzi elkülönülést – és magassággal összefüggő – lehet megfigyelni: a Mecsekben és a Kőszegi-hegységben lévő területek klímája kedvezőbb a magasabb fekvés miatt, illetve a nagyhutai terület jóval hidegebb, mint a közeli füzéri területek. Ezzel szemben a gyöngyössolymosi mintaterület magassági elhelyezkedése nem tér jelentősen a felsőtárkányi két területtől, itt ez a hatás már nem érvényesül.

Összességében a FAI index alapján aszályosnak tekinthető években - például 1993, 2000 és 2003-ban - nem minden mintaterületen regisztráltunk magas vagy arányosan megemelkedett lombvesztési értékeket, de ez, a bemutatott összefüggések komplexitása miatt várható volt. Éppen ezért szükséges az adatsorokat statisztikai elemzéseknek alávetni, hogy a kevésbé markáns jelenségeket is észlelhessük, és levonhassuk a megfelelő következtetéseket.

## 5.4 A mintaterületek állapotváltozásainak részletes értékelése

Ebben a fejezetben a gyűjtött káradatok jellemzését, a megfigyelhető jellegzetességeket szeretném bemutatni, és kiemelni azon eseményeket, amelyeket leginkább össze lehet vetni időjárási értékekkel.

A mintaterületekről gyűjtött adatok és a hosszú idősorok miatt igyekeztem grafikus ábrázolással, áttekinthetően bemutatni munkánk eredményeit. A függelékben az elvégzett terepi munka szemléltetésére az összes bükkös mintaparcelláról találhatóak összefoglaló diagramok, ezekre a vizsgálatba vont területek esetében szövegesen utaltam. A jellemzések szövegében kitérek olyan megfigyelési adatokra is, amelyek összefoglaló megjelenítése terjedelmi okok miatt már ésszerűtlen lett volna.

A kártípusok közül az egyértelműen azonosíthatóakat a kódjegyzék szerint rögzítettük (pl.: rovarok rágása, aszálytól elszáradt levelek, ostorkár). Az esetek többségében viszont a bükkön a lombkárok jellemzően egyfajta kiritkulás képében jelentkeztek. Mivel ennek okai legtöbbször nem voltak felderíthetőek, ismeretlen károkat jegyeztünk le. Az értékeléskor is a külön meg nem nevezett kártípus alatt ezt értjük. A gyakorlatban 10-15%-os értékű lombvesztést nem értékeltünk jelentős kárnak, mivel a fák életfolyamatait jelentősen ez még nem akadályozza. A terepi felvételek adatsorait és a meteorológiai adatokat mintaparcellánként grafikusan is megjelenítettem a függelékben.

### Bőszénfa 12E (46. ábra, 47. ábra; Függelék: 1-2. oldal)

Az adatsor csak 2010-ig, a letermelésig tart. A mintaparcellán 1992-ben jelentősebb és a legtöbb fát érintő lombhiányt tapasztaltunk, amelyet az aszály és a hozzá társuló általános rovarkár okozott. Az átlagos lombhiány ezen kívül csak 1994-ben (erős rovarkárok miatt), 2003-ban és 2007-ben (mindkét évben aszály miatt) haladta meg a 10%-ot, de csak 2003-ban volt jelentős, 20%-ot is meghaladó átlagos kár. Az EDI évenkénti változása kiegyenlítettebb, mint a lombvesztés, de az 1994-es és a 2000-es évek elején tapasztalható kiemelkedő értékek szintén megfigyelhetőek.

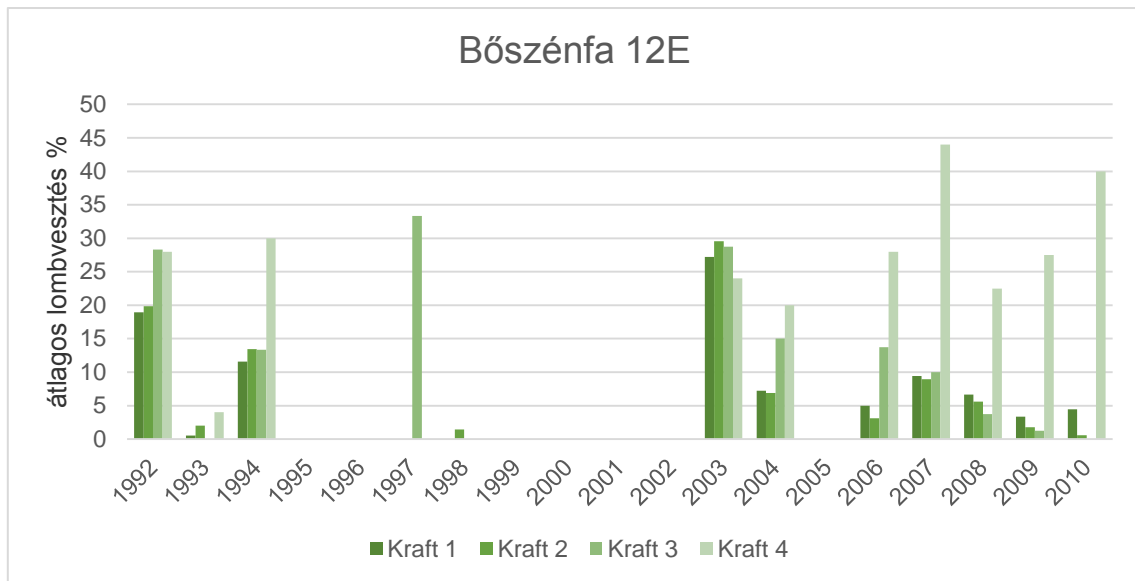
Időjárási adatsorunk szerint 1992-ben és 2003-ban a magasabb lombhiány és a szélsőséges aszály együtt jelentkeztek, de más aszályos években nem volt jelentős a károk mértéke.

A hajtáskárok csekély mértékűek voltak a mintaterületen. 1995-96-97 években azért sok (95-96-ban a fák majdnem felén) fán tapasztalhatóak voltak, illetve 2004-ben voltak még gyakoriak (a mintafák harmadán jelentek meg).

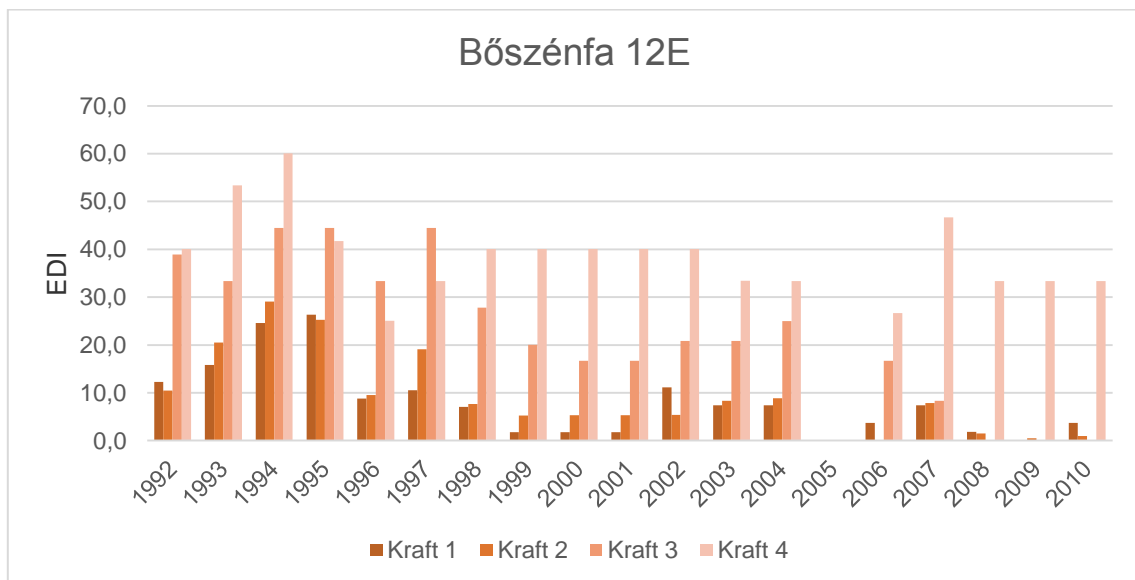
A felvételezési időszak elején majdnem minden fán előfordult a bükk-gyapjaspajzstetű egészen 1995-ig, majd a következő évben felére csökkent az előfordulása, és utána el is tűnt. A fák többségén régi, rég begyógyult kéregsebek is láthatóak voltak. 2002-ben a fák valamivel kevesebb, mint ötödét xylofág rovarjárási is érte.

2003-ra a legtöbb mintafán begyógyultak a felvételezések kezdete óta meglévő közelítési sérülések, viszont időközben a tuskóbekorhadás vált általánossá.

Az elszíneződések 2003-ban majdnem az összes mintafát érintették, illetve 2007-ben volt még igen szembetűnő, 60% feletti az elszíneződés előfordulása.



46. ábra: A lombvesztés alakulása a Bőszénfa 12E parcellán szociális helyzetek szerint.



47. ábra: Az EDI alakulása a Bőszénfa 12E parcellán szociális helyzetek szerint.

#### Felsőtárkány 140D (48. ábra, 49. ábra; Függelék: 5-6. oldal)

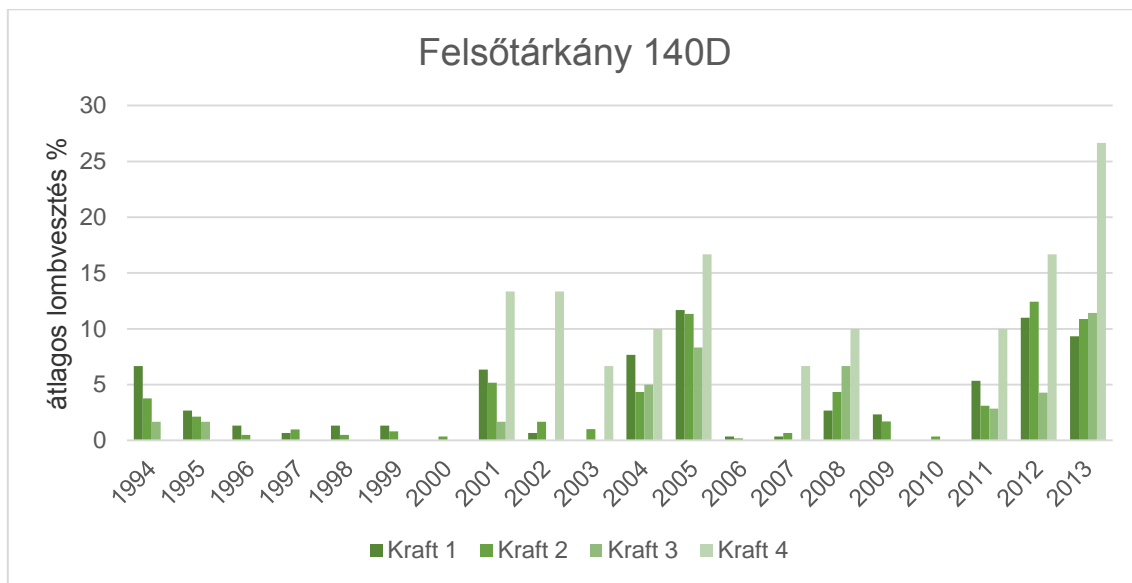
A levélvesztés értékei alacsonyok voltak. A legmagasabb, és 10%-ot kissé meghaladó értékek 2012-ben és 2013-ban voltak. A hajtáskárok értékei elhanyagolhatóak. A leggyakoribb oka a károknak a lombfogyasztó rovarok kártétele volt. 1994-ben a fák kb. 40%-án, 1995-ben kb. 20%-án, 2004-ben kb. 35%-én és 2005-ben kb. 80%-án észleltünk rovarkártételt. Az EDI értékei 1994-ben, valamint 2012-ben és 2013-ban voltak magasabbak, de nem kiugróak. Ezen a mintaterületen a kissé magasabb mértékű károk sem estek egybe a szélsőségesen aszályos vagy extrém aszályos évekkel az időjárási adatsorral átfedő időszakban.

2009-ben kevés mintafán vízajtások képződését tapasztaltuk.

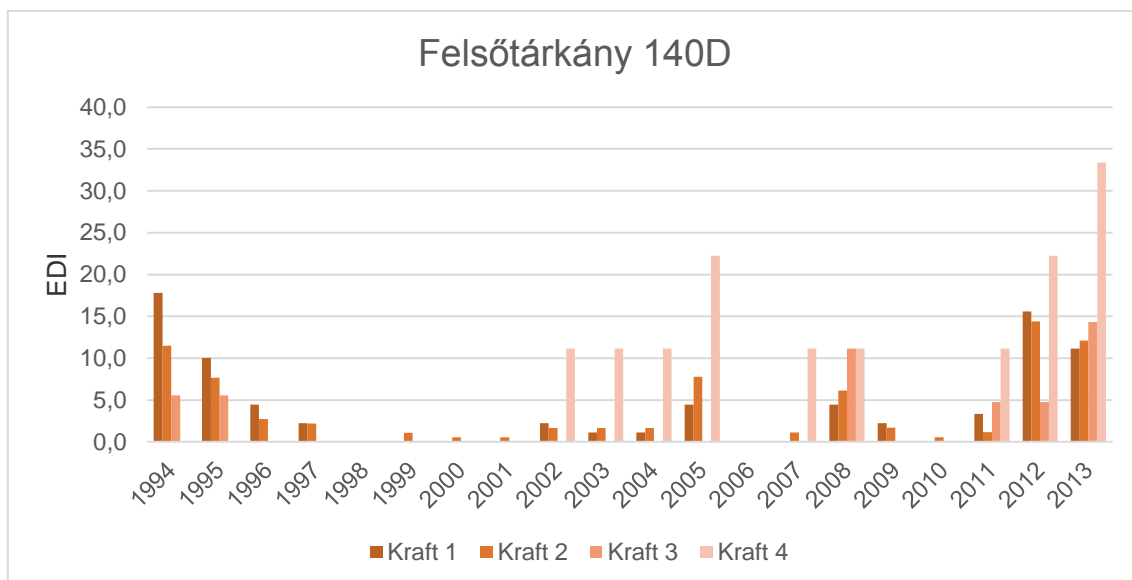
Kéregsebzések és közelítési sérülések a teljes időszak alatt csak a fák kb. 10%-án voltak megfigyelhetőek.



2004-ben a mintafák kb. tizedén volt némi lombvészülés látható. Viszont 2011-ben már a mintafák ötödén volt lombelszíneződés.



48. ábra: A lombvesztés alakulása a Felsőtárkány 140D parcellán szociális helyzetek szerint.



49. ábra: Az EDI alakulása a Felsőtárkány 140D parcellán szociális helyzetek szerint.

#### Felsőtárkány 55A ( 50. ábra, 51. ábra; Függelék: 3-4. oldal)

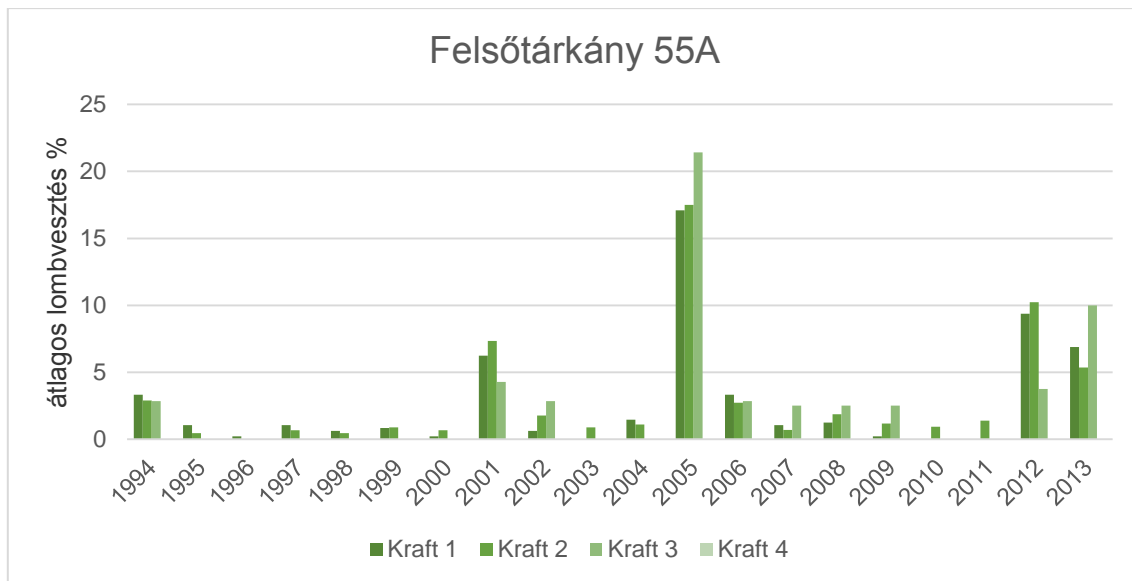
A mintaparcellán a levélvesztés átlagos értékei majdnem minden évben elhanyagolhatóan alacsonyak. Kivételt képez 2005., amikor az átlag a 20%-ot megközelítette, és minden fán kisebb-nagyobb kár volt észlelhető. 1994-ben a mintafák kb. harmadán gyenge rovarrágást tapasztaltunk. A 2005-ben tapasztalt erősebb károkat szintén rovarrágás okozta; sőt 2006-ban még a mintafák kb. ötödén szintén rovarrágást figyeltünk meg. 2012-ben a mintafák 60%-án gyenge aszálykár jelei mutatkoztak. Az EDI értéke 1994-ben, de főképp 2005-ben volt jelentős.

Ugyanakkor ez az év időjárását tekintve nem volt aszályos, sőt a korszaki átlaghoz képest kedvezőbb volt a vizsgálható években.

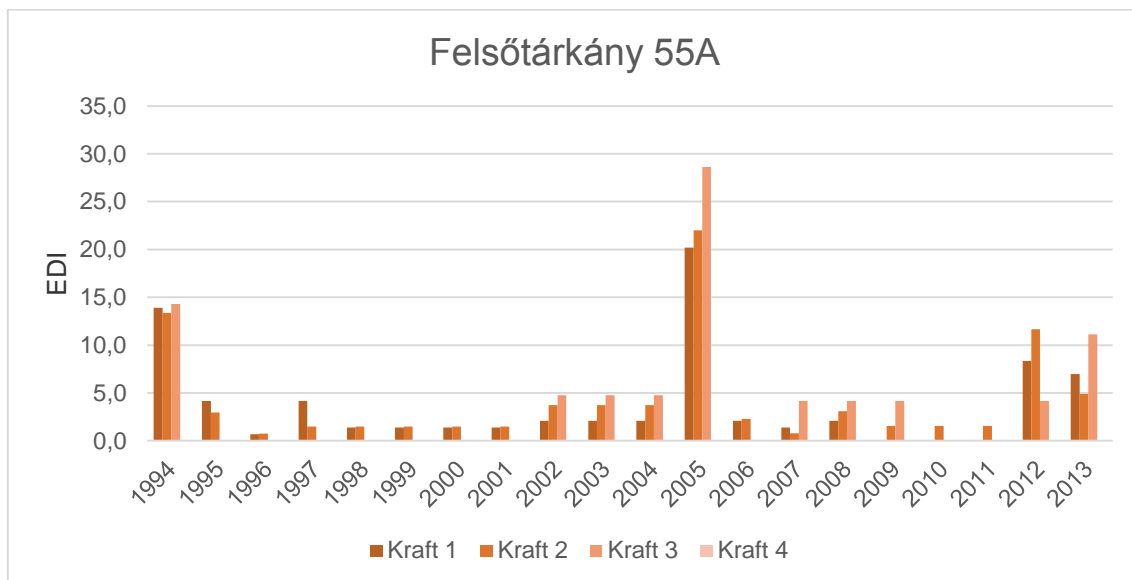
Hajtáskárok gyakorlatilag alig fordultak elő, de 2005-ben a fák ötödét érintette gyenge vékonyág-elhalás.

A mintafák nagyjából 10%-án kéregsebzéseket, majdnem felén pedig gyógyult közelítési sérüléseket jegyeztünk fel.

Elszíneződés csak 2004-ben és 2005-ben volt tapasztalható néhány faegyeden.



50. ábra: A lombvesztés alakulása a Felsőtárkány 55A parcellán szociális helyzetek szerint.



51. ábra: Az EDI alakulása a Felsőtárkány 55A parcellán szociális helyzetek szerint.

Füzér 86F (52. ábra, 53. ábra; Függelék: 7-8. oldal)

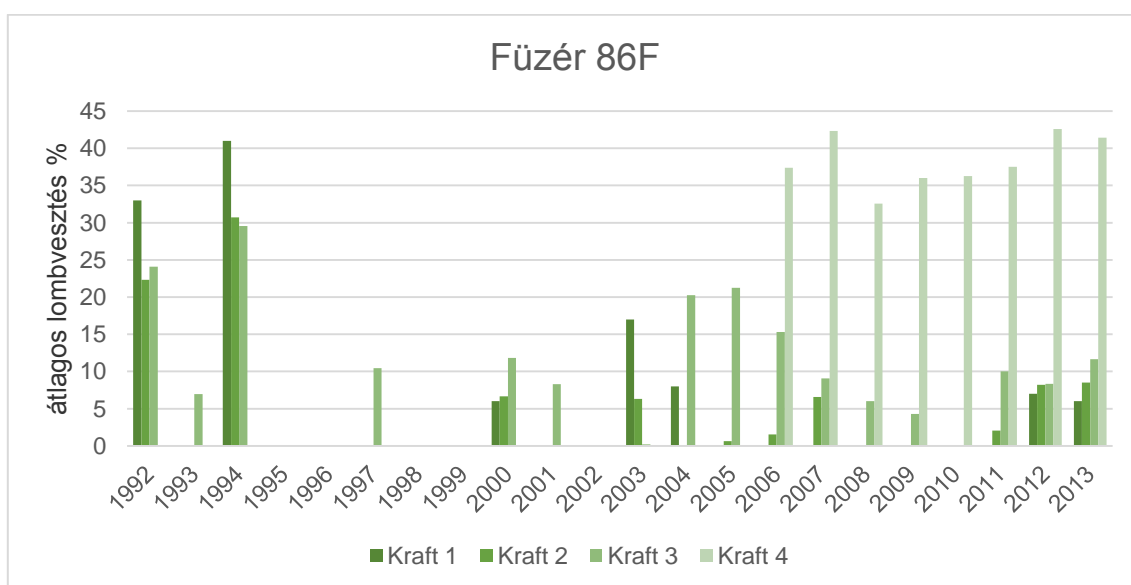
Az átlagos levélvesztés alakulása változatos. 1992. és 2003. között általában alacsony – sokszor „0” – a lombhiány átlaga, de 1992-ben és 1994-ben kiugró: 30%-ot megközelítő, amikor is az egész állomány aszálykár sújtotta. 1992-ben gyakorlatilag minden fán lombelszíneződést is feljegyeztünk, míg 1994-ben „csak” a fák mintegy harmadán voltak elsárgult levelek. 2003-ban is a fák harmadán volt aszály okozta sárgulás. 2004-től 2013-ig majdnem fokozatos az emelkedés az átlagos kb. 10%-ról 20%-ra. Az aszály ezen kívül 2000-ben érintette a fák kb. felét, 2012-ben ismét kb. harmadát, 2013 pedig csak 11 fán voltak enyhébb aszálytünetek. Enyhe rovarkárok csak 2001-ben a fák kb. 10% fordultak elő. 2007-ben és 2013-ban a fák kb. 15%-án volt a szélverésből eredő ostorkár. 2004-től kezdődően általában a fák 30%-án jelentkeztek károk a mintafák közti fény- és növtér-kompetíció miatt. Az EDI ezzel párhuzamosan 1992-ben és 1994-ben, és kisebb mértékben 2003-ban volt kiemelkedő, a legtöbb vizsgált évben azonban elhanyagolható volt. Az 1992-től 2010-ig következő években a károk aszályos időjárással estek egybe. Más aszályos években azonban nem jelentkezett jelentősebb kár.

A hajtáskárok 2007-től kezdődően 10% körüli átlagértéket mutatnak. Ugyanakkor előfordulási gyakoriságuk növekedett a vizsgálati időszakban. Mind a vékony-, mind a vastag-ágelhalás a kezdeti alacsony előfordulási aránya (5-10%) 2013-ra 30% fölé emelkedett, és 1998-ban 40% feletti kiugró értékű volt az érintettség. Hasonló a helyzet a csúcsszáradásos tüneteknél is: kezdetben a fák 5%-át érintette, de napjainkra már 10-15% közötti a gyakorisága.

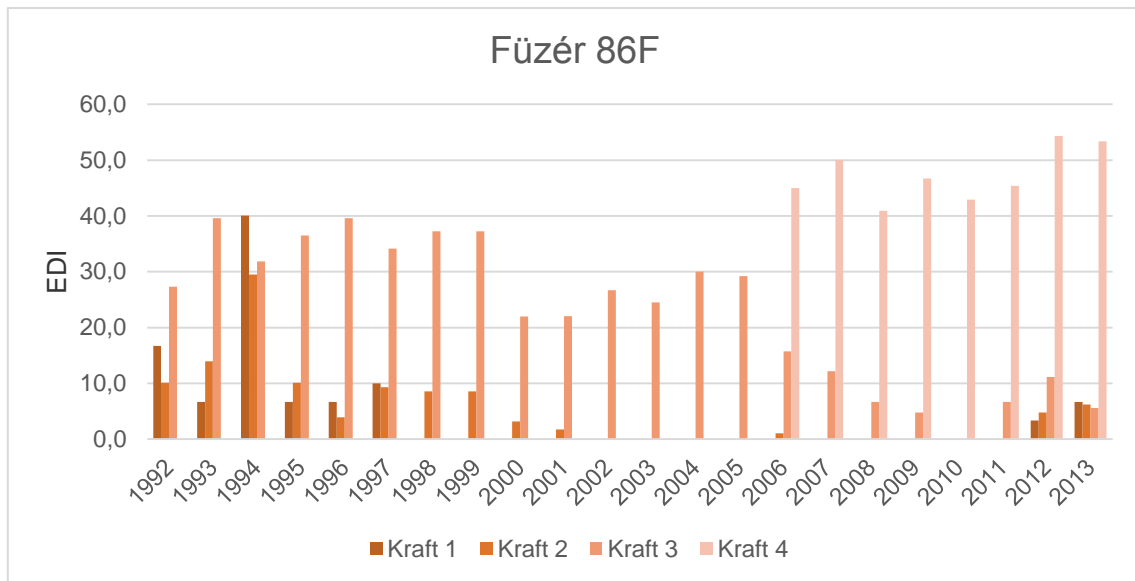
A törzskárok közül előfordult a bükk-gyapjaspajzstetű; 1992-ben a fák negyedén, 1993-ban csak kb. 10%-án, utána már csak néhány faegyeden. Pár mintafán xylofág rovarok jeleit is rendszeresen megtaláltuk. 1994-ben a fák több mint 70%-án kéregsebzéseket és közelítési sérüléseket észleltünk, melyek napjainkra megfelelően gyógyultak. A fák mintegy 10%-ánál enyhébb tőkorhadást is feljegyeztünk.

2007-től a fák ötödén jelentősebb vízajtásképződés jelentkezett, amely 2013-ra már lecsillapodott.

Az egészségügyi mutató átlaga látszólag nyugodt hullámzást mutat két negatív és kb. 4-es értékű csúccsal 1994-ben és 2013-ban.



52. ábra: A lombvesztés alakulása a Füzér 86F parcellán szociális helyzetek szerint.



53. ábra: Az EDI alakulása a Füzér 86F parcellán szociális helyzetek szerint.

#### Füzér 86G (54. ábra, 55. ábra; Függelék: 7-8-9. oldalak)

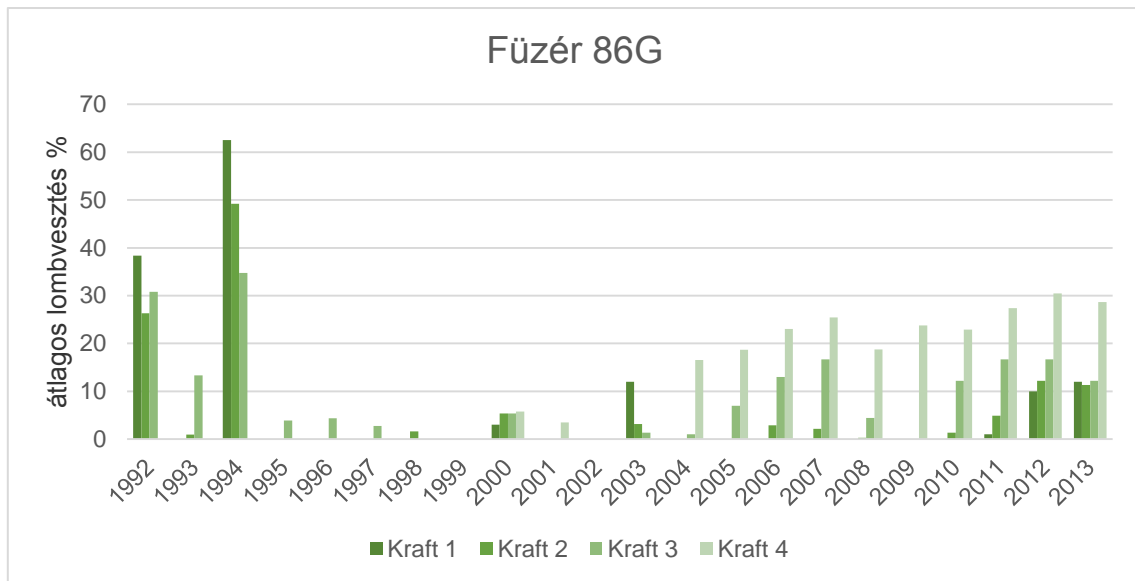
A tapasztaltak nagyon hasonlóak a Füzér 86F parcella adataihoz, azonban az 1994-es évek kiugró átlag-levélvesztés értéke jóval magasabb, 50% körüli és sok mintafát érintett. Az elszíneződés 1992-ben majdnem minden mintafát, 1994-ben a mintafák majdnem felét érintette. Egyedül 2003-ban volt még jelentősebb lombvárulás, a fák kb. ötödén. Egyébként a területen a lombkárokat legtöbbször aszály okozta: 1992-ben és 1994-ben majdnem minden mintafán volt nyoma az aszálynak. 1993-ban csak kb. a fák 10%-át érintette. 2000-ben 40% körüli volt az aszálykárok előfordulási aránya, 2003-ban csak kb. 20%, 2012-ben viszont több mint 40% és 2013-ban is 20% fölötti. Néhány évben az ostorkár 15% és 25% közötti aránnyal jelent meg a fákon, melyek: 2007, 2010, 2011, 2013. 2004-től kezdődően legtöbbször 20% körüli mintafán jelentkeztek károk alászorult helyzetük miatt. Az EDI alakulása hasonló volt, mint az előző mintaterület esetében, és az aszályos évek is hasonló módon jártak együtt a károkkal, azaz a szélsőségesen vagy extrém aszályos években arányos lombvesztést észleltünk, de más aszályos években a károk nem voltak jelentősek az időjárási adatsorral átfedő években.

2006-tól már van feljegyezve hajtáskár, de ezek az előző területen tapasztaltaktól is alacsonyabb mértékűek. Viszont ezen a területen is gyakorta fordultak elő. A vékonyág-elhalás leggyakrabban a fák legalább 10-20%-án előfordult, sőt 1998-ban és 1999-ben az arány 70% felett volt. A vastagág-elhalás legtöbbször 5-10% közti gyakoriságú volt, 2012-ben viszont kb. 20%-a a mintafáknak mutatta ezt a tünetet. Csúcshártya is előfordult, a legtöbb évben csak néhány mintafán.

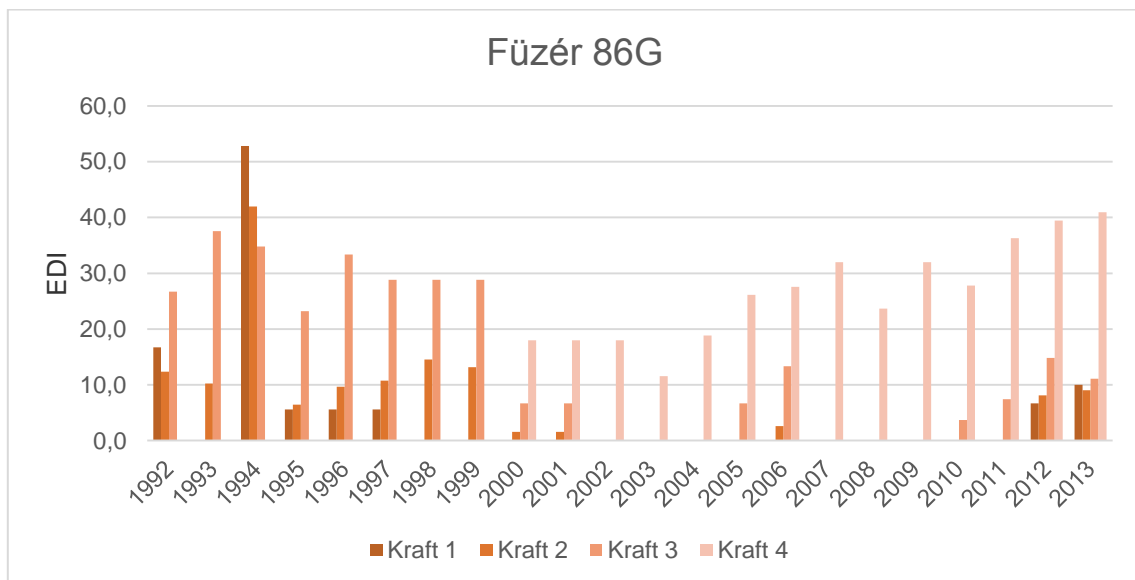
A vízajtás-képzés az előző területhez hasonlóan 2007-ben indult meg, a fák 15-20%-án, de mostanra a folyamat leállt.

A törzskárok alakulása szintén az előző területhez hasonló. 1992-ben a fák felén volt gyapjaspajzstetű. 1994 és 1997 között pedig a fák kb. 20%-án fordult elő, majd a későbbiekben már csak pár mintafát érintett. 1994-ben a fák felén keletkeztek kéregsérülések, melyek jól gyógyultak.

Az EDI mutató negatív csúcsa 1994-ben volt, 4 alatti értékkel.



54. ábra: A lombvesztés alakulása a Füzér 86G parcellán szociális helyzetek szerint.



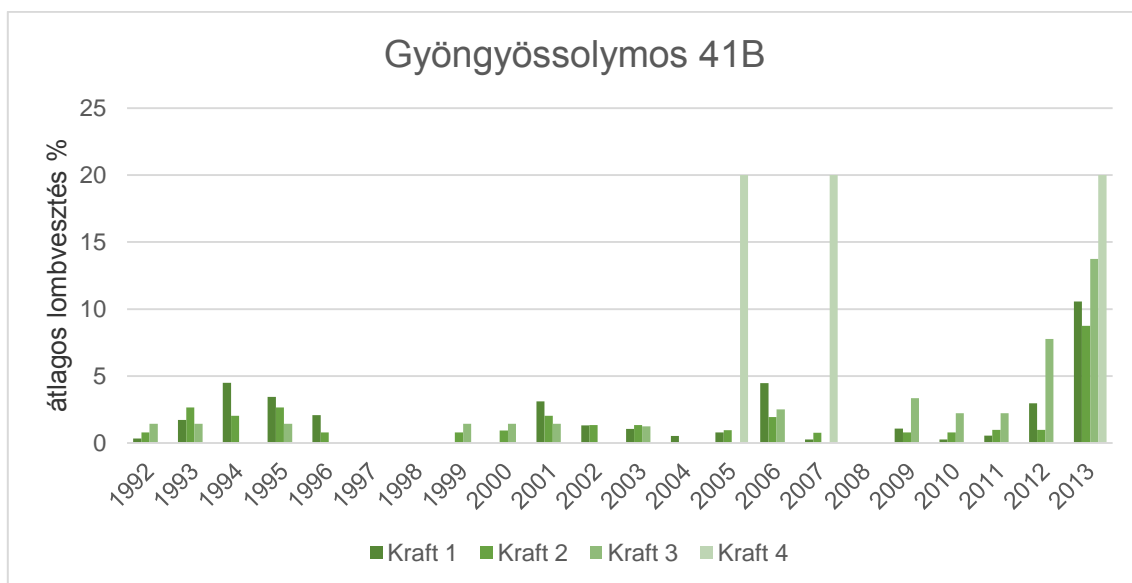
55. ábra: Az EDI alakulása a Füzér 86G parcellán szociális helyzetek szerint.

Gyöngyössolymos 41B (56. ábra, 57. ábra; Függelék: 10-11. oldal)

A mintaparcellán a vizsgálati időszakban általánosságban igen jó volt az egészségi állapot (némi lombelszíneződés ugyan 2004-ben észlelhető volt), csak 2013-ban érte el az átlagos lombhiány a 10%-ot. Ugyanakkor már 2011-óta rendszeresen előfordult néhány mintafán magas kárérték. Ez az egészségügyi mutató értékein is megmutatkozik. 1993-ban a rovarkárok jeleit láttuk a fák 20%-án, a következő évben az arány 25%-ra nőtt, 1995-ben ismét csak 20% volt, 1996-ban pedig már csak 10%-nyi. Ezután a rovarkárok nem voltak érzékelhetőek. Aszálykárok 1992-ben, 2003-ban és 2012-ben voltak egyértelműen megállapíthatóak, de csak a mintafák kb. 10%-án. 2005-ben 8 mintafán, 2006-ban pedig 22 mintafán jelentkezett lombritkulás alá- és mellészorult helyzetük miatt. Az EDI értékei 1992-ben, 1994-ben és 2013-ban voltak jelentősebbek. A meteorológiai adatsor illeszkedő részében 1992-ben és 1994-ben extrém aszály és szélsőséges aszály volt a mérsékelt károk idejében. Ezen kívül a többi aszályos évben elhanyagolható volt az erdőkárok mértéke.

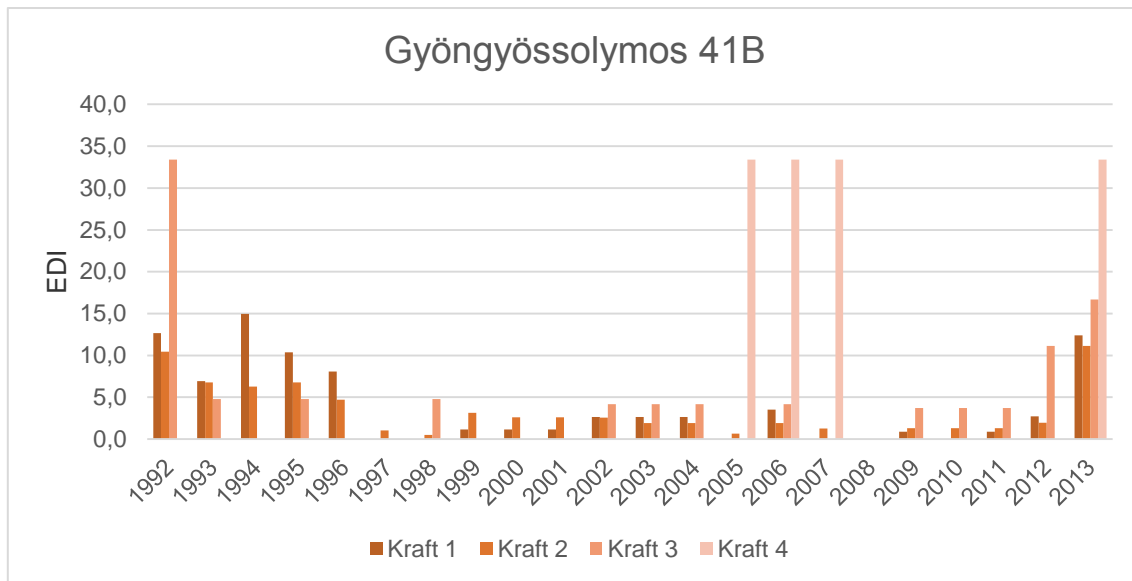
Csak 2012-ben volt néhány fán erőteljesebb hajtáskár. Azonban 1992-ben a fák több mint felén volt csekély mértékű vastagág-elhalás, amely az azt követő évben is még 20% körüli gyakoriságú volt. Ezután már csak pár fán fordult elő.

A felvételezési időszak kezdetén a fák mintegy ötödén xylofág rovarok okoztak kisebb törzskárokat. Általánosan, minden fán észleltünk némi kéregsebzést már 1992-től, de ezek nem okoztak problémákat.



56. ábra: A lombvesztés alakulása a Gyöngyössolymos 41B parcellán szociális helyzetek szerint.





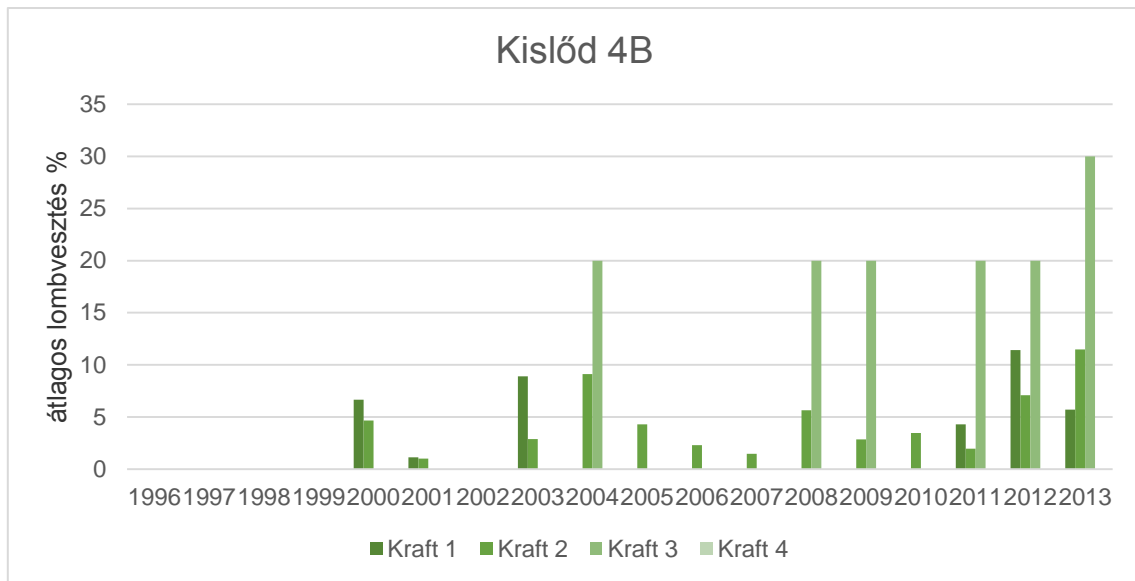
57. ábra: Az EDI alakulása a Gyöngyössolymos 41B parcellán szociális helyzetek szerint.

#### Kislőd 4B (58. ábra, 59. ábra; Függelék: 12-13. oldal)

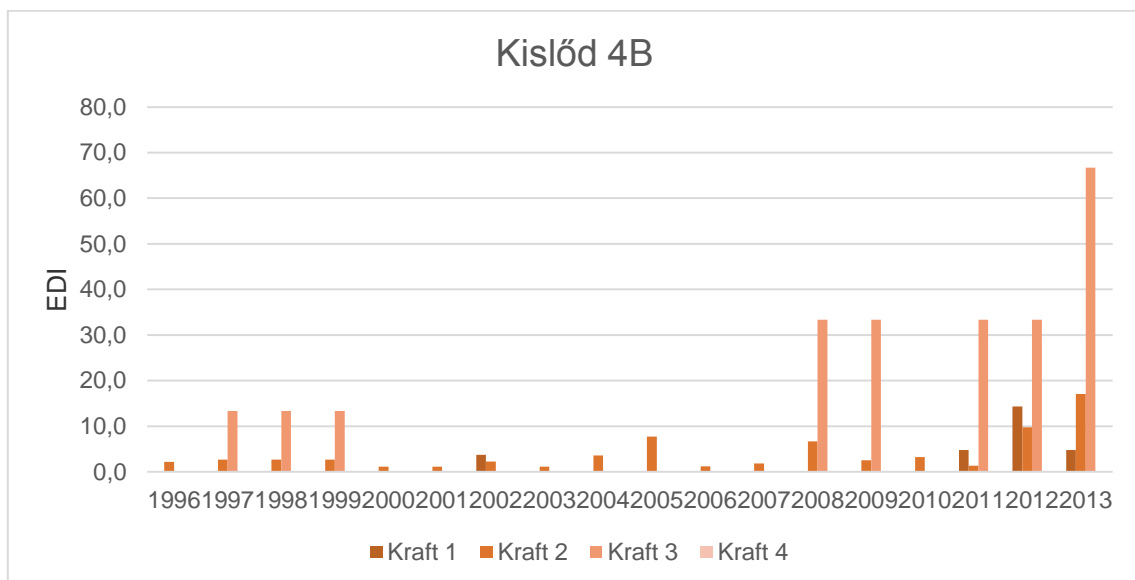
A mintaparcella átlagos lombvesztése általában jelentéktelenül alacsony, bár 2008-tól általában valamivel magasabb értékeket mutat. Ennek ellenére gyenge elszíneződés néhány évben jelentkezett: 2002-ben a fák 10%-án, 2003-ban a fák majdnem felén, és 2005-ben a fák kb. 20%-án. A csekély lombhiány oka legtöbbször az aszály volt, 2000-ben 50% volt a fák érintettsége, 2001-ben 10%, 2003-ban közel 30%, és 2012-ben 20%. Az EDI értékek a mintaterületen végig alacsonyok voltak, kivéve a közbeszorult fákat, amelyeknél 2004-ben, 2008-ban, 2009-ben és a vizsgált időszak utolsó 3 évében volt emelkedés. Ezekben az években csak 2004-ben volt aszály a mintaterületen az időjárási adatsor szerint. Az aszályos évek közül csak a nagyon extrém 2000-es esztendőben jelentkezett a feljebb már említett gyenge lombhiány, a rákövetkező aszályos években pedig – ahogy már jeleztem – még kisebb mértékűek voltak a károk.

A hajtáskárok szintén alacsonyok voltak, és csak néhány mintafán fordultak elő évente.

A fák kb. 60%-án kéregsérüléseket jegyeztünk fel már az első felvételezéskor, melyek azóta meggyógyultak. 2005-ben a fák kb. 20%-án tőkorhadás jelentkezett, majd 2007-ben közel 30%-os gyakorisággal fordultak elő közelítési sebzések.



58. ábra: A lombvesztés alakulása a Kislőd 4B parcellán szociális helyzetek szerint.



59. ábra: Az EDI alakulása a Kislőd 4B parcellán szociális helyzetek szerint.

#### Kőszeg 43H (60. ábra, 61. ábra; Függelék: 14-15. oldal)

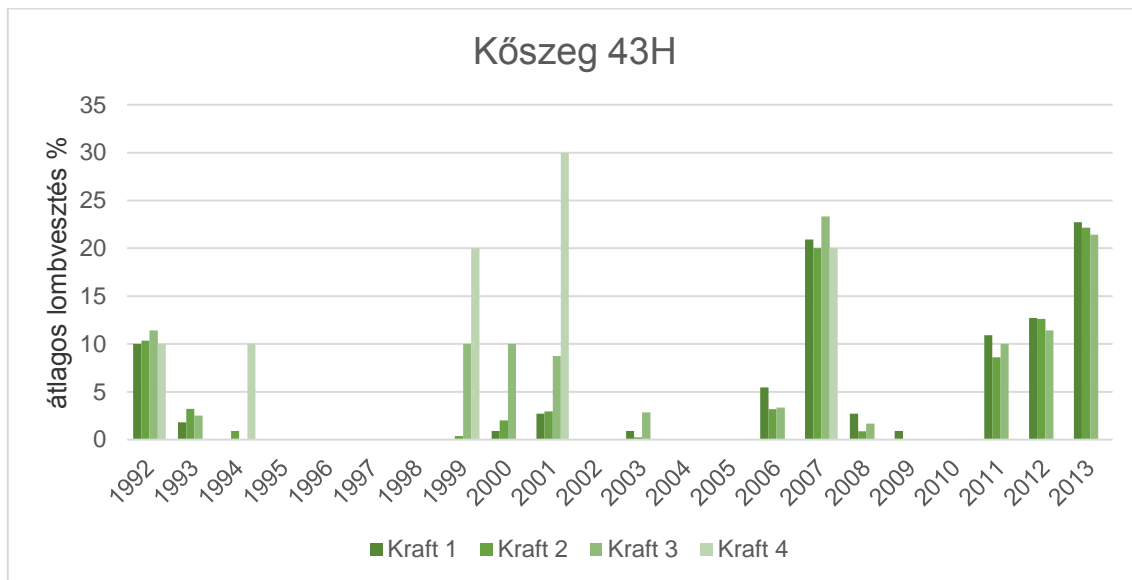
Magasabbak voltak az átlagok 2007-ben, 2011-ben, 2012-ben és 2013-ban. Azonban az értékek csak 2007-ben és 2013-ban haladták meg a 20%-ot. A lombszíneződés előfordulási ideje és az érintett fák aránya is hasonlóan alakult: 2000-ben 25%, 2003-ban 20%, 2007-ben 100%, 2011-ben 55%. Az EDI értékek 1999-től 2007-ig az alszorzult és közbeszorzult fáknál voltak magasak, de ezt megelőzően csak 1992-ben volt kissé magasabb a mintaterületen ez az érték. Ugyanakkor a lombvesztésben is jelentkező 2007-es és 2013-as erős csúcsok itt is jelentkeztek. Érdekes, hogy a rendelkezésre álló adatokban az extrém aszályos 1992-es évben a jelentkező károk mértéke alacsony maradt, és ezen kívül az aszályos évek és a jelentősebb mértékű károk nem estek egy évre.

1992-ben általános volt a gyenge rovarkár. 1993-ban a fák 20%-án gyenge aszály jeleit írtuk le, majd a későbbiekben is előfordultak ezek a jelek: 2000-ben, 2001-ben, 2007-ben, 2011-ben és 2012-ben is, az érintett fák aránya sorrendben 20%, 30%,

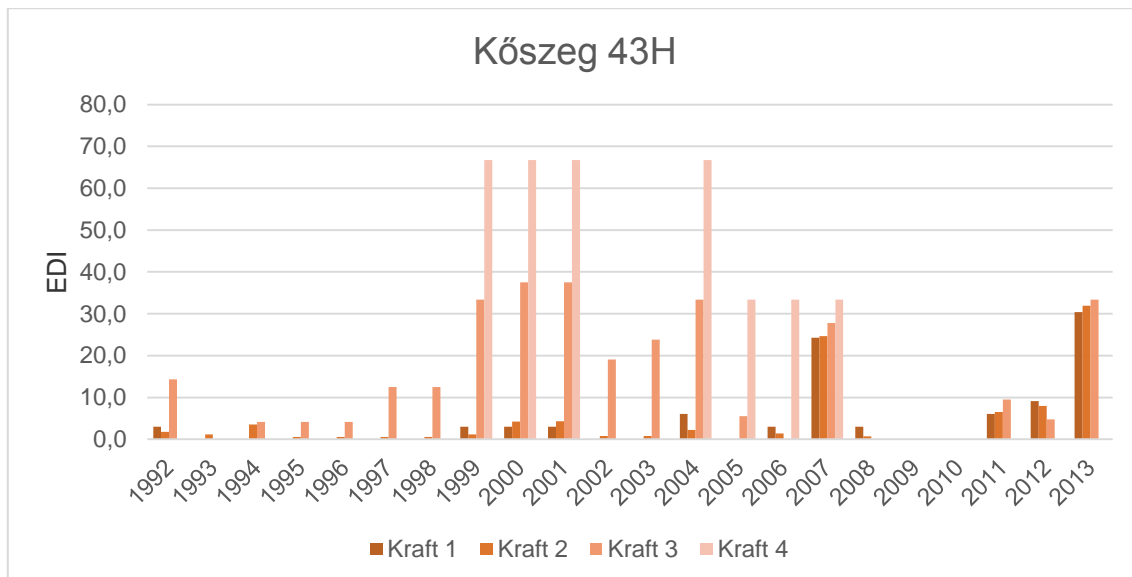
100%, 60% és végül ismét 100% volt. Ezen kívül 2011-ben 6 mintafán ostorkár is látható volt. 2006-ban ezen a területen is voltak alászorultságból eredő károk a fák kb. 25%-án.

A hajtáskárok minimálisak voltak, csak néhány mintafán fordultak elő.

Szintén hasonló az előző mintaterülethez a helyzet abban is, hogy számos mintafán (jelen esetben csak kb. a fák 30%-án) voltak fakitermelés okozta gyökfő- és kéreg-sebek, melyek arányát a későbbi használatok fenntartották.



60. ábra: A lombvesztés alakulása a Kőszeg 43H parcellán szociális helyzetek szerint.



61. ábra: Az EDI alakulása a Kőszeg 43H parcellán szociális helyzetek szerint.

Nagyhuta 10C (62. ábra, 63. ábra; Függelék: 16-17. oldal)

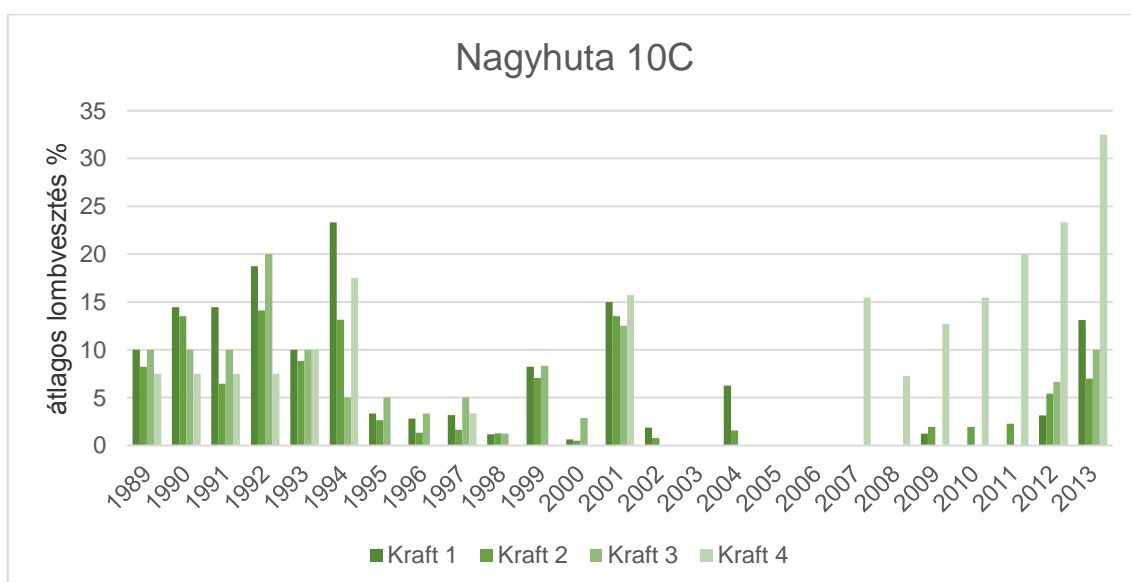
A mintaterületen nagyobb káresemény nem fordult elő. Az átlagos lombhiány 1990. és 1992. között, 1994-ben, 2001-ben és 2013-ban haladta meg a 10%-ot jelentősebben, de nem súlyos mértékben. Az 1992-ben a fák 65%-án aszálykárokat figyeltünk meg. 1993-ban a mintafák 55%-án rovarkár volt, és a későbbi években is fellépett, 1994-ben 30%-al, 1995-ben 15%-al, 1997-ben 75%-al. 2000-ben és 2003-ban ismét aszálykárok voltak a fák 25 majd 30%-án. 2004 és 2008 között a fák általában 20%-án alászorultság okozta levélritkulást is megfigyeltünk. 2007-ben a fák 10%-án, 2011-ben 15%-án némi ostorkár is előfordult. A nem nagy mértékű, de sok éven keresztül jelentkező károk az EDI értékét 1990 és 2004 között szint folyamatosan a 10-es érték felett tartották. Ezen kívül 2001-ben és 2013-ban volt magasabb az EDI. Aszályos évek 1990-től 1995-ig egybe estek jelentős lombkárokkal, ezen belül 1992 és 1994 extrém aszályosak voltak. Ezen kívül a jelentősebb kármérték és az aszályos évek nem estek egybe 1989 és 2010 között.

Kisebb mértékű lombsárgulás 1992-ben a fák 15%-án, 1993-ban a fák 10%-án, 2003-ban pedig 20%-án fordult elő. 2012-ben a fák 75%-án aszálykár lépett fel, amely 2013-ban már csak a fák 20%-án fordult elő.

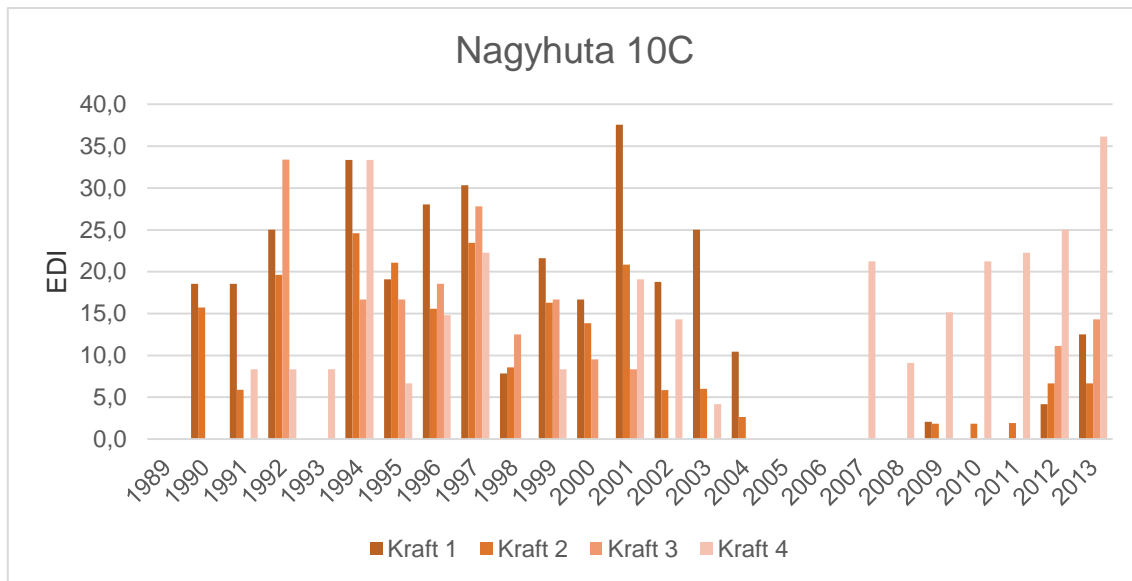
A hajtáskárok is csekélyek voltak, de egyes években sok mintafát érintettek. 1992-ben a fák 65%-án, 1993-ban 15%-án, 1997-ben 40%-án, 1998-ban 25%-án, 1999-ben 30%-án, 2005-ben és 2008-ban is 15%-án voltak jelentősebb ágelhalások. Majdnem minden évben volt néhány mintafa, amelyeken némi csúcsszáradás lépett fel.

Néhány mintafán jegyeztünk csak fel gyengébb fattyúhajtásosodást.

A törzskárok közül a kéregsebzések az első felvételkor majdnem minden törzsön előfordultak, de 8-10 év alatt begyógyultak. Gyapjaspajzstetű 2 évben fordult elő, 1992-ben 4 fán, 2002-ben a fák 15%-án. 2003-óta néhány fán xylofág rovarok támadása is megfigyelhető, illetve ez évben 2 mintafán héjaszást tapasztaltunk.



62. ábra: A lombvesztés alakulása a Nagyhuta 10C parcellán szociális helyzetek szerint.



63. ábra: Az EDI alakulása a Nagyhuta 10C parcellán szociális helyzetek szerint.

#### Orfű 21B (64. ábra, 65. ábra; Függelék: 18-19. oldal)

Ezen a parcellán az évek többségében jó egészségi állapotú volt az állomány. Először 2007-ben haladta meg az átlagos lombvesztés a 10%-ot, majd 2011-től kezdődően ismét. Innentől kezdve erős növekedést tapasztaltunk, és 2013-ban már 35%-ot meghaladó volt az átlagérték. Az EDI értékeiben is ez tükröződik, jelentősebb értékei 2012-ben és 2013-ban voltak. A 2010-ig terjedő FAI értéksorral összevetve bizonyos aszályos években általánosan jelentkezett csekély lombhiány: 1993. szélsőségesen aszályos, 2003. extrém aszályos és 2007. aszályos évek voltak. De az 1992-es és 2000-es extrém aszályos években szinte tünetmentes volt az állomány, és a többi aszályos évben sem voltak jelentősek a tapasztalt károk.

2007-ben egyébként a majdnem minden mintafán lombelszíneződést figyeltünk meg az általánosan jelentkező aszálykárok miatt. Aszálykárok ezen kívül kis mértékben 2003-ban a fák 50%-án, 2008-ban a fák 20%-án, 2009-ben a fák 15%-án, 2011-ben, és 2012-ben minden fán előfordultak.

Kisebb mértékű lombelszíneződés 1995-ben a fák 40%-án jelentkezett, ezen kívül 1997-ben a fák kb. 10%-án, és 2011-ben a fák 80%-án is (2011-ben az aszályval sújtott fák aránya is ekkora volt).

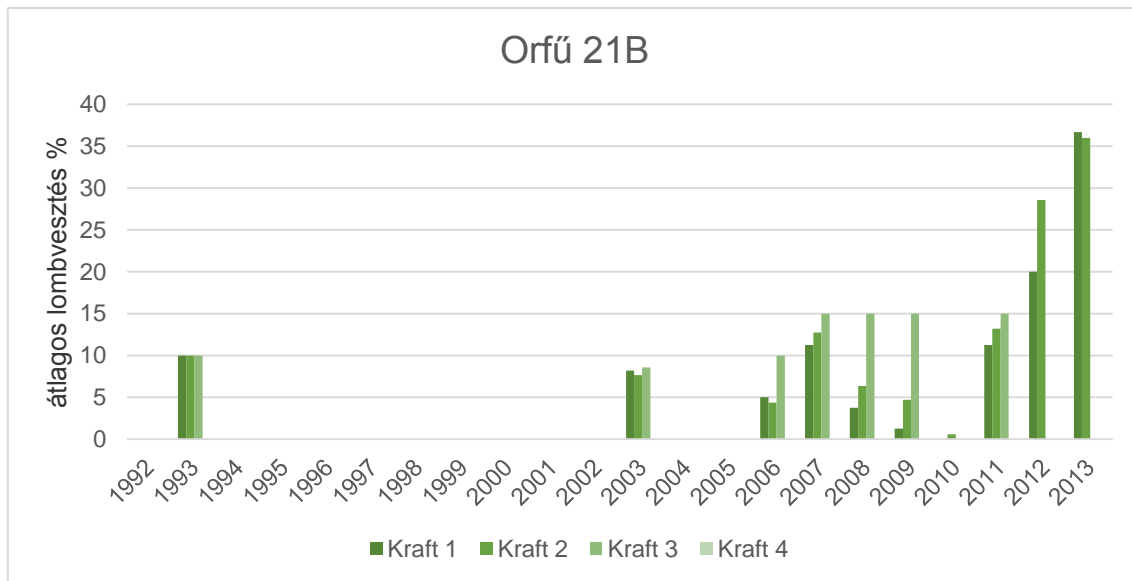
Kismértékű, de minden mintafát érintő lombrágás (rovar) történt 1993-ban. 2006-ban a fát mintegy harmadán okozott kisebb egészségügyi problémákat az, hogy elmaradtak a fényért való versengésben.

A hajtáskárok jelentéktelenek voltak, de 1993-ban a mintafák kb. 15%-án némi vékonyág-elhalás volt megfigyelhető. 1995-ben és 1996-ban 25%-volt a vastagág-elhalás elterjedtsége. 1997-ben az aszály a fák 60%-án okozott jelentősebb hajtáselhalásokat. 2000-ben 20% volt a gyenge hajtáskárokkal érintett fák aránya.

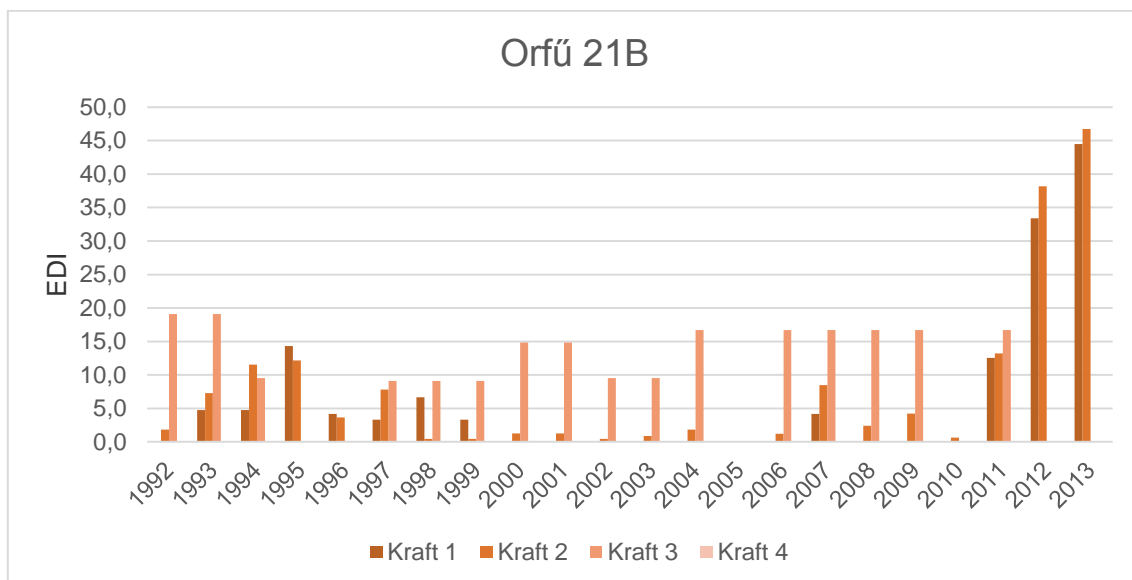
A törzsek 10%-án fordult elő törzstapló 1998 és 2001 között, 2002-ben pedig 20%-ukon, bár ezután a termőtestek elkorhadtak. 1992 és 1995 között általános volt a kéreg gyapjaspajzstetű fertőzöttsége, de ezután többet nem fordult elő. Xylofág rovarkártevők 2003-ban jelentek meg, és 2006-ig voltak megfigyelhetőek a nyomaik a fák 25-20%-án. Kéregsebek és közelítési sérülések általában a fák 50%-án voltak. 2011 telén igen erőteljes gyérítést hajtottak végre, mint az a mintafák számán is látszik, ettől kezdődően néhány mintafán héjaszás is előfordult. Érdekesség, és nem is tartozik

a vizsgált időszakhoz, de az egyik mintafa odújából 2014-ben kb. 10m magasságban hajtott ki az olocsány csillaghúr.

Tőkorhadás a mintafák 5-15%-án fordult elő 2002-ig, ezt követően 50-65% között mozgott az arány 2006-ig, és 2007-ben az utolsó adat 15% körüli.



64. ábra: A lombvesztés alakulása az Orfű 21B parcellán szociális helyzetek szerint.



65. ábra: Az EDI alakulása az Orfű 21B parcellán szociális helyzetek szerint.

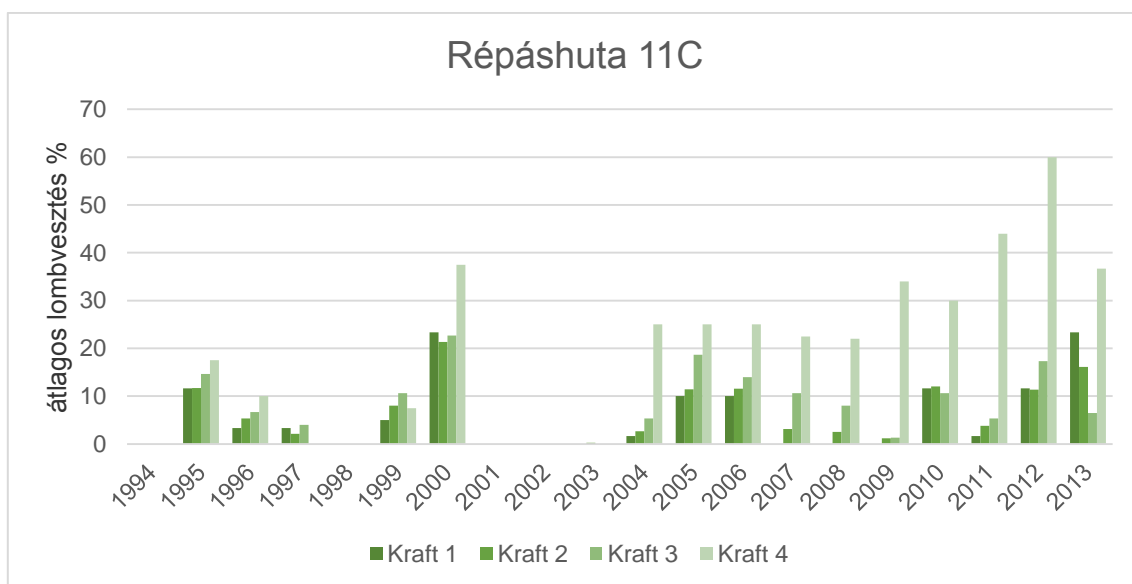
Répáshuta 11C (66. ábra, 67. ábra; Függelék: 20-21. oldal)

Az adatsorban általában kisebb átlagos lombvesztés-értékek szerepelnek. 10% és 20% közötti értékek 1995., 2005., 2006., 2010., 2012. és 2013. években fordultak elő. A 2000. évben kiugró, 20%-os átlagot meghaladó volt a lombkár. A lombkárak típusai közül a rovarrágás gyakori volt, 1995-ben az állomány 95%-át, 1996-ban 40%-át, 1997-ben 20%-át, 1999-ben 80%-át, 2004-ben 30%-át, 2005-ben és 2006-ban minden mintafát érintettek. Enyhébb aszálykár 2000-ben 90%-os elterjedtségű volt, majd 2011-ben 10%-os, 2012-ben erősebb és 75%-os, és még 2013-ban is hasonló erősséggel jelentkezett és 50%-os volt az aránya. Az EDI értéke egyedül 2013-ban volt jelentősebb. A 2010-ig futó időjárási adatsorral összevetve egyedül a 2000-es szélsőségesen aszályos évben volt jelentősebb a lombhiány, de a mintaterületen az aszályos évek száma szerencsére csekély volt. Kisebb mértékű ostorkárok 2007-től 2011-ig fordultak elő említésre méltó gyakorisággal; 30, 30, 20, 100, végül 25%-os arányban. 2005-ben és 2006-ban a fák 20%-ának tüneteierért részben az alászorultság volt az oka, a már említett rovarkár mellett.

2007-ben a fák 10%-án vízajtásképződést figyeltünk meg, amely később nem folytatódott.

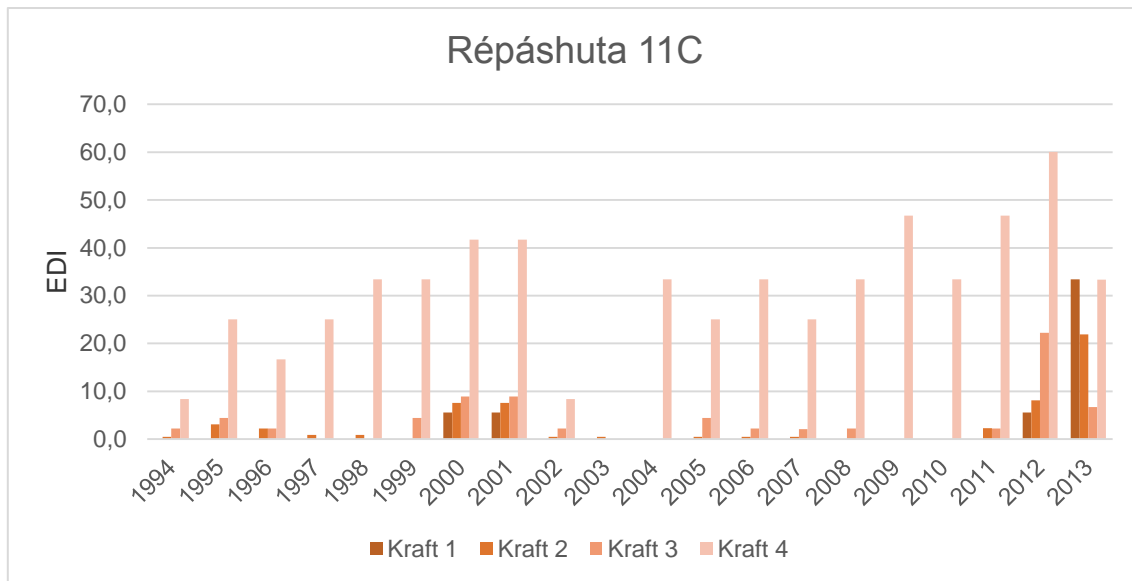
A hajtáskárok nem voltak súlyosak, de az utolsó 4 évben intenzívebbé váltak. A felvételezési időszakban főleg vékonyág-elhalás volt gyakori: 1995-től 25%-os előfordulási aránya 1999-re 60%-ra nőtt, majd visszaesett 15, majd 5%-ra. 2005-ben és 2006-ban 20% feletti volt ismét a fák érintettsége, utána ismét 5% körüli értékek adódtak 2011-ig, amikor 10% lett az arány. 2012-ben ez 30%-ra nőtt, de 2013-ban ismét csak 5%-ra esett.

Kezdetben a mintafák kb. 20%-án voltak közelítési kéregsebek, melyek többsége 6 év múltán begyógyult.



66. ábra: A lombvesztés alakulása a Répáshuta 11C parcellán szociális helyzetek szerint.





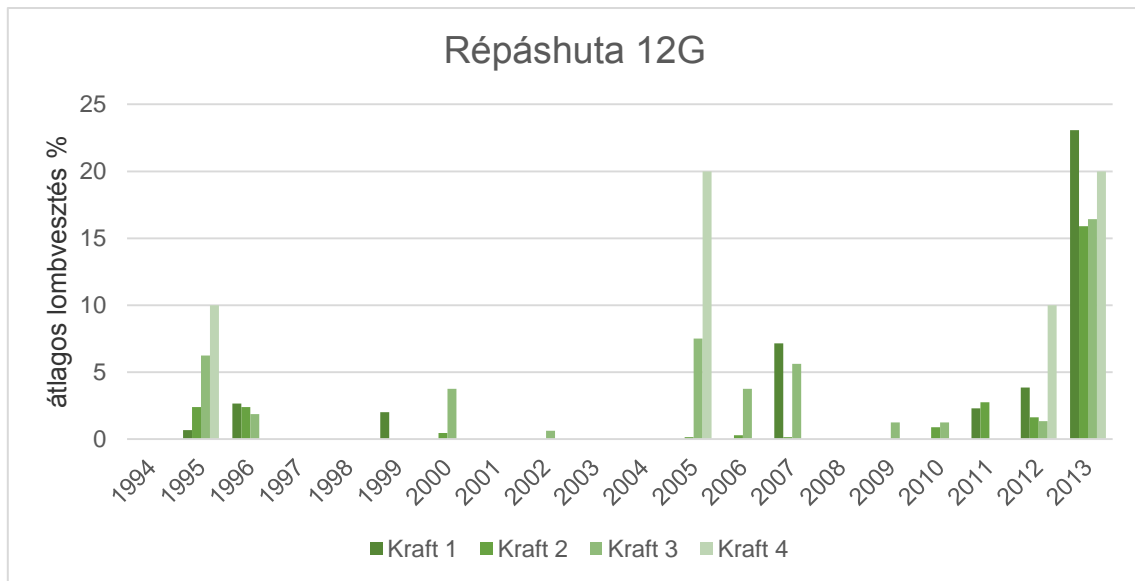
67. ábra: Az EDI alakulása a Répáshuta 11C parcellán szociális helyzetek szerint.

### Répáshuta 12G (68. ábra, 69. ábra; Függelék: 20-21-22. oldalak)

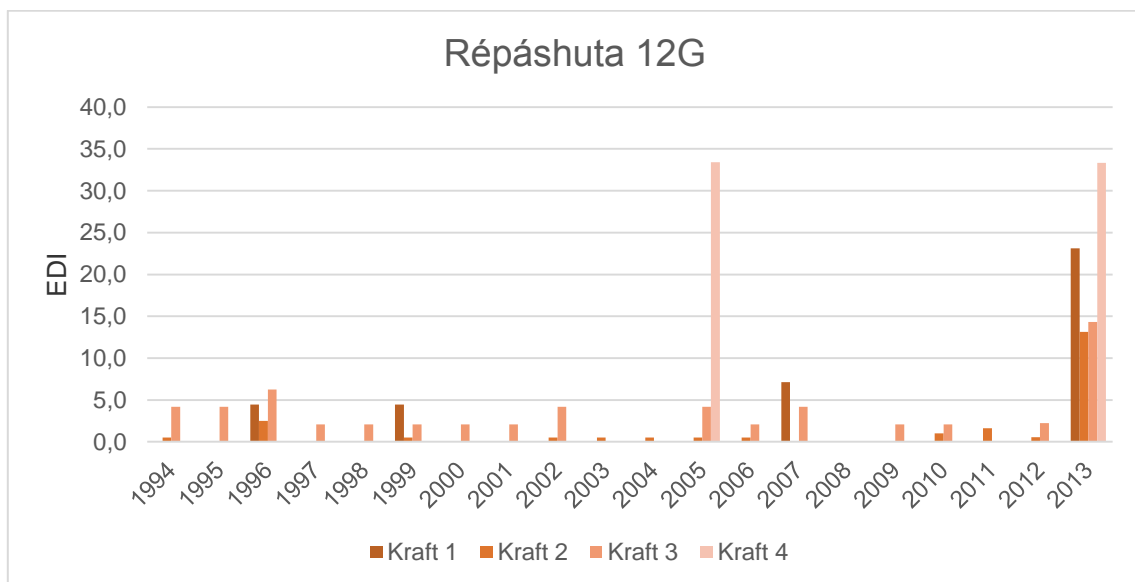
A földrajzi közelség ellenére ezen a parcellán sok volt az eltérés az előzőhöz képest. A kárértékek alacsonyabbak voltak, általában elhanyagolhatóak. 2000-ben sem volt magasabb a károk átlagos értéke. Viszont 2013-ban az átlagos lombvesztés 20% közelébe kúszott, és ebben az évben a mintafák 15% némi lombcsúszás is előfordult. Egyértelműen megállapítható, gyenge rovarrágás a lombzaton 1995-ben és 1996-ban fordult elő a mintafák 20, majd 15%-án. Aszálykárok 2011-óta a mintafák 10%, 15% és 70%-án fordultak elő. 2007-ben mindössze 5%-os elterjedtségű ostorkár jelentkezett. Az EDI értéke itt is csak 2013-ban volt említésre méltó. A rendelkezésre álló időjárási adatsorban a viszonylag kevés aszályos évben sem jelentkezett jelentős lombhiány, vagy egyéb kár.

A hajtáskárok még csekélyebbek, de hasonló időbeli előfordulásúak, mint az előző mintaterületen. Az ágelhalással érintett fák aránya jóval kisebb, mint az előző területen, egyedül 1999-ben volt említésre méltó, 20%-os arányú a vékonyág-elhalás.

1994-től a mintafák 15%-án taplótermőtesteket találtunk, amelyek a 2000-es évekre eltűntek. Szintén a felvételezési időszak elején 7 törzsön rendszeresen volt jelen a bükk-gyajaspajzstetű egészen 2001-ig. 2004-től néhány fán xylofág rovarok enyhébb kártétele megfigyelhető. 1994-ben a mintafák 10%-án mechanikai kéregsebzéseket írtunk le, melyek szintén a 2000-es évekre begyógyultak. Ugyanezek a károk a gyökfőben tőkorhadással párosulva 30%-os arányúak voltak a faegyedeken, és hasonlóan múltak el. Ugyanebben az időszakban a fák 5%-án némi héjaszás is előfordult.



68. ábra: A lombvesztés alakulása a Répáshuta 12G parcellán szociális helyzetek szerint.



69. ábra: Az EDI alakulása a Répáshuta 12G parcellán szociális helyzetek szerint.

#### Szentpéterföldre 20A (70. ábra, 71. ábra; Függelék: 23-24. oldal)

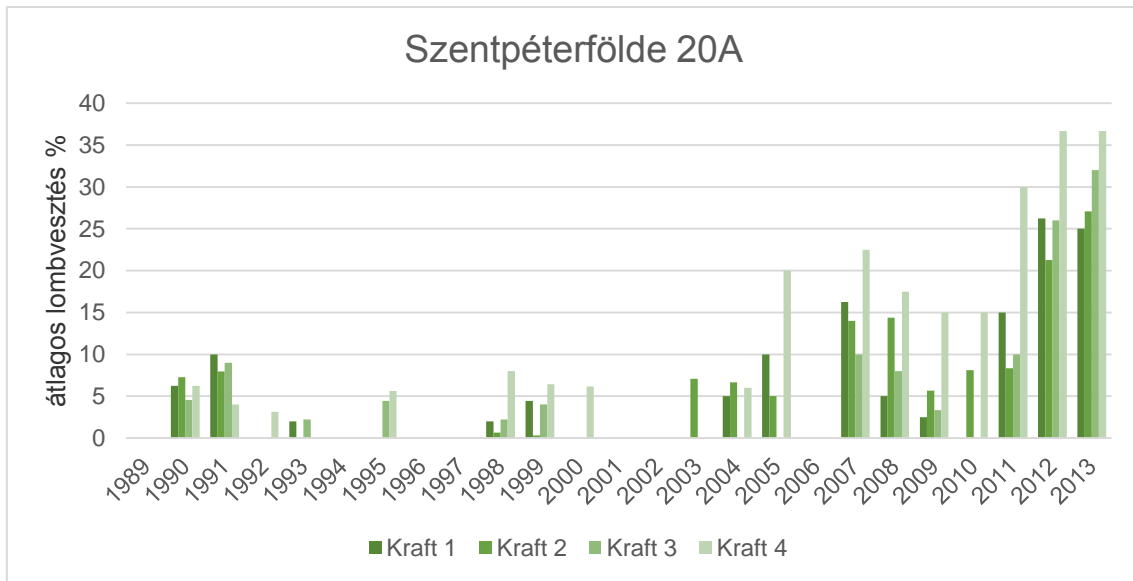
A mintaterületen a levélvesztés-átlagok 2006-ig alacsony mértékűek voltak, és tünetmentes évek is előfordultak. 2007-ben az átlag 20% közelében alakult, majd 2011-től 2013-ig 13%-ról kb. 30%-ra nőtt fokozatosan a lombhiány. Kisebb mértékű lombelszíneződés 1992-ben volt gyakoribb a fák 40%-án, 1999-ben és 2000-ben 15%-án, 2007-ben viszont 95%-án, 2011-ben pedig 65%-án. A lombozatot érintő rovarkárok nem voltak gyakoriak, 1990-ban a mintafák 50%-án, 1991-ben 25%-án volt az enyhe károk okozója rovarrágás. 2008-ban a fák kb. 50%-át jelentősebb levélrágás érte. Aszálykárok valamivel gyakrabban fordultak elő. 1992-ben a szárazság tünetei a fák 30%-án, 1993-ban 15%-án jelentkeztek, de enyhébb mértékben. 2007-ben viszont a jelentősebb lombvesztést főleg aszály okozta, a fák 100%-án. 2008-ban a mintafák fele mutatott aszálytüneteket, 2011-ben ez az arány 65%-volt, 2012-ben pedig 80%. A mintaterületen enyhe ostorkárt 1998-ban a fák 20%-án, 1999-ben 10%-án jegyeztünk fel. EDI szempontjából is az első magasabb értékek 2007-ben és 2008-ban

jelentkeztek. A két utolsó vizsgálati év értékei viszont még ezeket is jóval meghaladták. A FAI értékek 2010-ig tartó idősorában a 2007-es aszályos év jelentősebb kárral jelentkezett. Ugyanakkor más, akár szélsőségesen vagy extrém aszályos években a károk mértéke elhanyagolható maradt.

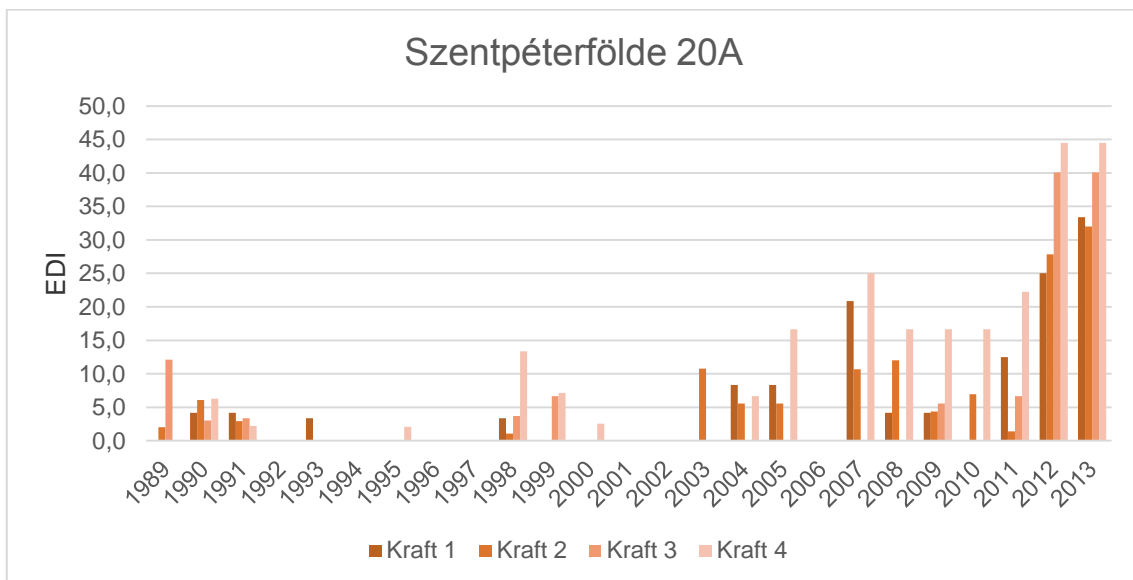
A vízajtás képződés 1989-től 2003-ig fordult elő kis erősséggel, kezdetben a fák 25%-án, ami fokozatosan 2000-re 15%-ra csökkent, és 2003-ban 25%-ra ugrott.

A hajtáskárok alacsonyak voltak, évente csak néhány mintafán fordultak elő, de 2008-tól némileg erőteljesebbek lettek.

1989-ben a mintafák kb. 20%-án közelítési gyökfő sérüléseket és kéregsebeket találtunk, melyek a 2000-es évek közepén már gyógyultnak tekinthetők voltak.



70. ábra: A lombvesztés alakulása a Szentpéterföldre 20A parcellán szociális helyzetek szerint.



71. ábra: Az EDI alakulása a Szentpéterföldre 20A parcellán szociális helyzetek szerint.

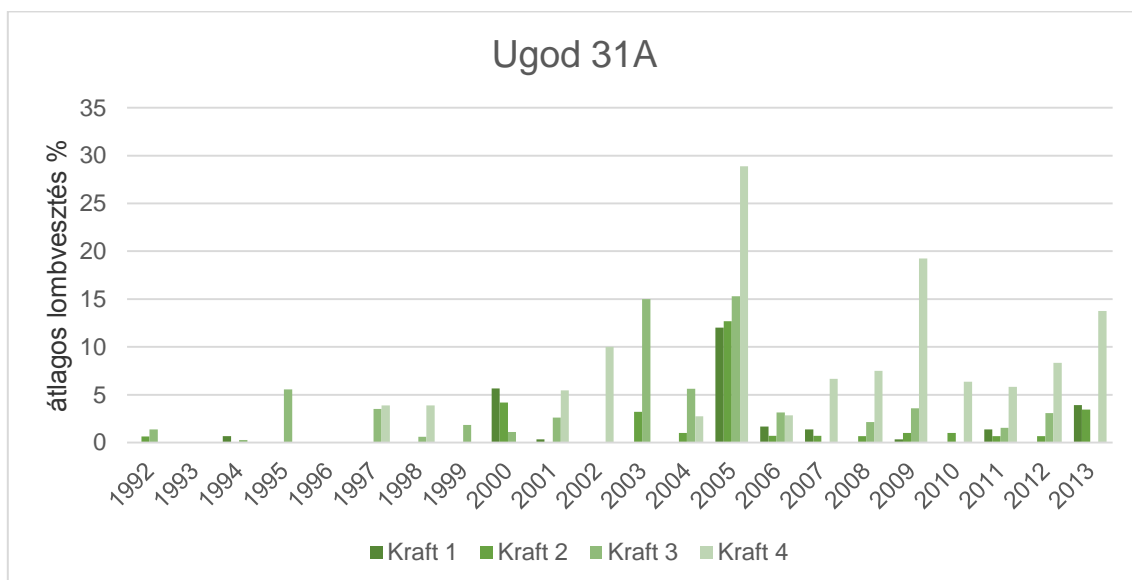
Ugod 31A (72. ábra, 73. ábra; Függelék: 25-26. oldal)

Az ugodí mintaparcella állapota hagyományosan jó. Az átlagos levévesztés csak 2005-ben haladta meg a 10%-ot, de ez sem jelentős kár. Ugyanez mondható el az EDI értékére is. A rendelkezésre álló időjárási mutatókkal egybevetve az aszályos, a szélsőségesen és extrém aszályos évek sem esnek egybe jelentősebb károkkal.

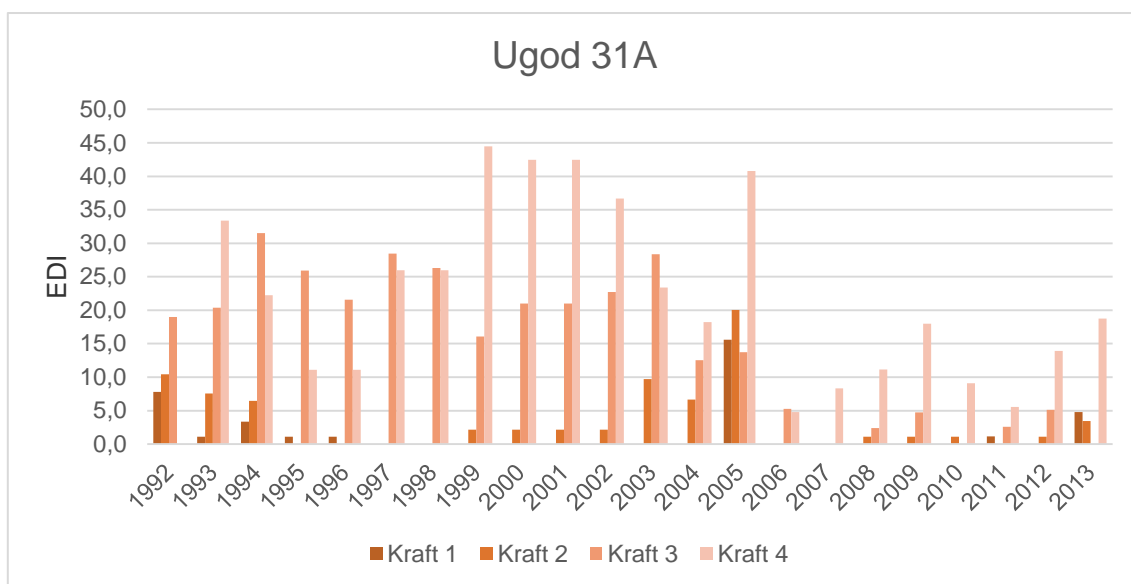
Enyhe lombelszíneződés 2002-ben a mintafák 25%-án, 2003-ban 20%-án, 2005-ben 25%-án fordult elő. 2000-ben a mintafák harmadán kisebb mértékű aszálytüneteket jegyeztünk fel, melyek 2001-ben már csak a fák 10%-át érintették.

Ágelhalás igen gyenge mértékű volt, a legtöbb évben csak néhány fán volt látható ilyen tünet. 1993-ban a mintafák 10%-án vékonyág-elhalást észleltünk. 1994-ben 15%-on vastagág-elhalást és 10% alatti elterjedtségű enyhe csúcsszáradást tapasztaltunk. A csúcsszáradás még 1995-ben is látható volt.

1992 és 2001 között figyeltünk meg taplógomba termőtesteket néhány mintafán. Majdnem minden törzsön voltak kisebb-nagyobb mechanikai kéregsérülések, és később a fakitermelések miatt újabbak is képződtek (pl. 2004-ben), de ezek ezen a mintaterületen sem fertőződtek el. 2006-ban a törzsek 70%-án a gyéritések miatt héjaszás is megfigyelhető volt.



72. ábra: A lombvesztés alakulása az Ugod 31A parcellán szociális helyzetek szerint.



73. ábra: Az EDI alakulása az Ugod 31A parcellán szociális helyzetek szerint.

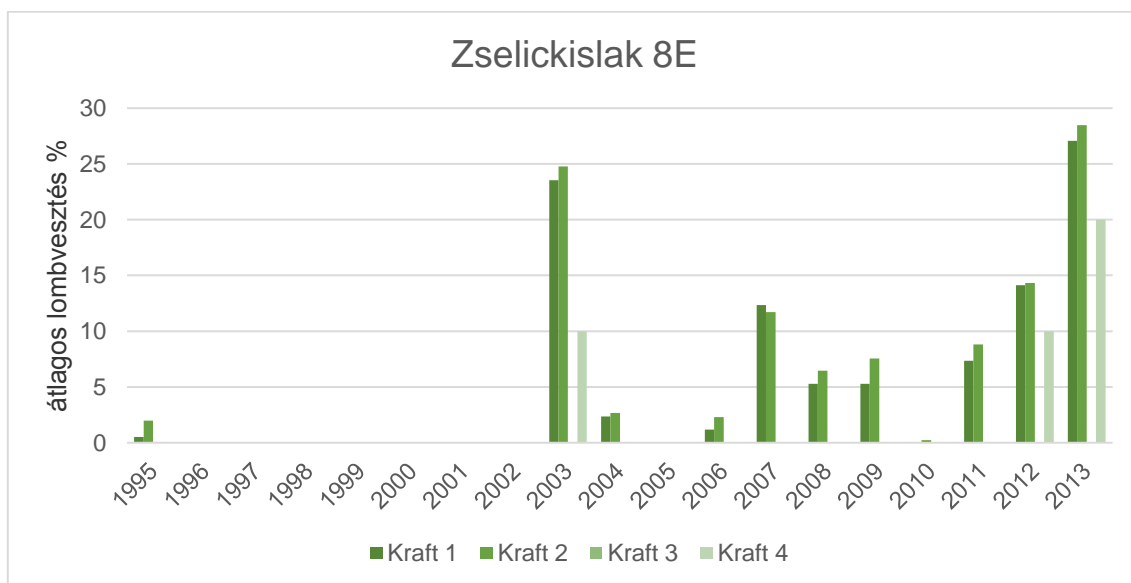
Zselickislak 8E (74. ábra, 75. ábra; Függelék: 2. és 27. oldalak)

A Zselickislak 8E parcella közel helyezkedik el a bőszenfai mintaterülethez. Állapota általában jó, de az utolsó években romló trendet mutatott a lombhiány. 2003-ban erősebb aszálykár érte, mely 2007-ben megismétlődött, de ezután a lombhiány mértéke csak fokozatosan tudott csökkenni. A teljes mintaterületre számított EDI értéke 1995-ben és 1997-ben meghaladta 10%-ot, ezt követően azonban csak 2013-ban történt jelentős kiugrás.

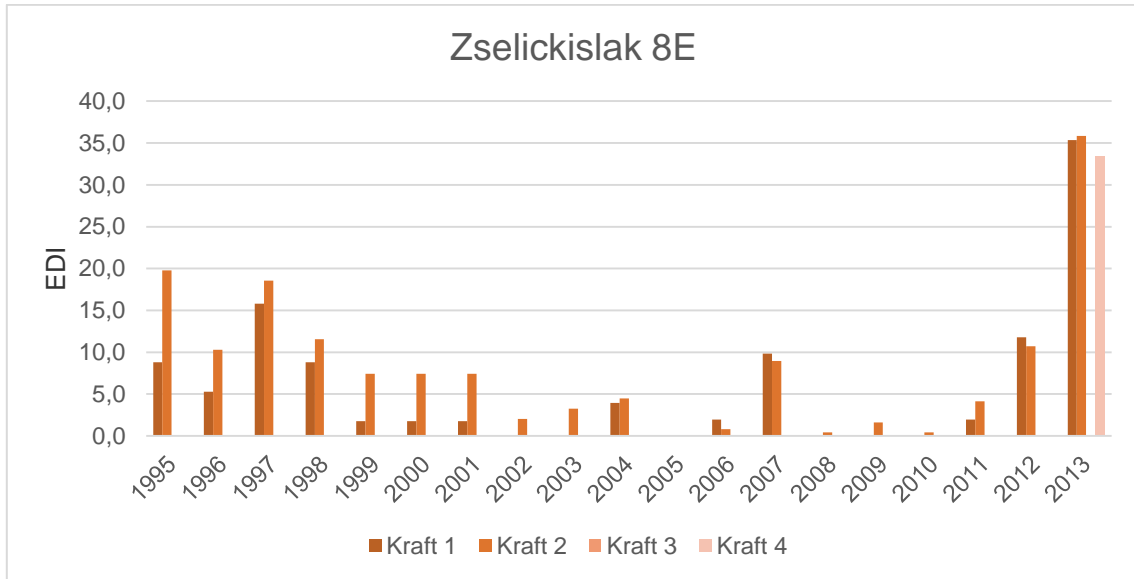
A 2010-ig tartó meteorológiai adatokkal összevetve jelentkezik, hogy a 2003-as extrém aszály, és a 2007-es aszály lombkárokkal járt, míg a 2000-es extrém aszály tünetmentes év volt, és más aszályos években sem volt jelentősebb a kár.

A lombszíneződés az aszálykárokkal jelentkezett.

Az ágelhalás mértéke 1995-1999 között volt említésre méltó. A törzsek nagy részén mechanikai sérülések találhatók.



74. ábra: A lombvesztés alakulása a Zselickislak 8E parcellán szociális helyzetek szerint.



75. ábra: Az EDI alakulása a Zselickislak 8E parcellán szociális helyzetek szerint.

## 5.5 A mintaterületek adatsorainak összefoglalása és értékelése:

A terepi felvételek során rögzített megállapítások alapján a lombkoronát érintő és azonosítható károk oka 46%-ban az aszály volt, 23%-a lombrágó rovarok károsítása, 11%-a szélkár, 11%-a alászorultságból eredő levélritkulás. A maradék 9 százalékon osztoznak a levélkárosító gombák, a levéltetvek, a vihar okozta törzstörések, és az egyéb azonosítatlan károk.

Összességében tehát a legfontosabb károsító tényező az aszály volt, sem gyakoriságában, sem mértékében nem közelítette meg más faktor. A másik kiemelendő kár-ok pedig a rovarok okozta lombrágás, amely azonban általában az aszálykárokkal együtt, vagy közvetlenül a következő évben jelentkezett.

A felvételezések alapján 1990-óta a következő években-időszakokban voltak a bükkösöket érintő kiemelkedő mértékű aszálykárként azonosított káresemények: 1992-1994; 2003; 2007; 2011-2013. 2003 óta 4 éves időközökkel jelentkezett az aszály. A legutolsó időszak azonban 2011-óta, azaz 3 éve folyamatosan tartó az aszálykárok nagyobb intenzitása. Sok mintaterületünkön 2012-ben és 2013-ban voltak a legmagasabb kárértékek. Emellett az erdővédelmi jelzőlapok régebbi adatsorai is mutatnak magasabb kárterületeket a fent említett aszályos években. Egyébként 2012 és 2013 adataiban is jelentősek az aszálykárok.

Az erdőkárok és az aszályos évek megjelenései meglehetősen diverz képet adnak, szükséges tehát az összefüggések további keresése kifinomultabb statisztikai módszerekkel.

Az eredmények értékelésének első lépéseként az erdőkárok mutatóit - azaz a lombvesztést és az általunk alkalmazott EDI-et – korreláltattuk két hazánkban alkalmazott és már fentebb ismertetett aszályindexszel: a PAI és FAI indexekkel. Az korrelációs együtthatókat mintaterületenként, a rendelkezésre álló adatsorok teljes hosszán számítottuk. A levélvesztés és EDI tekintetében elkülönítettük a teljes erdőállományt és a felső két lombkoronaszintet. A szárazsági indexek éves értékeivel és 3 éves mozgóátlagaikkal is korreláltattunk. Az eredmények közül a FAI esetében kaptunk magasabb „r” értékeket, így példaként ezeket jeleníti meg az 8. táblázat.

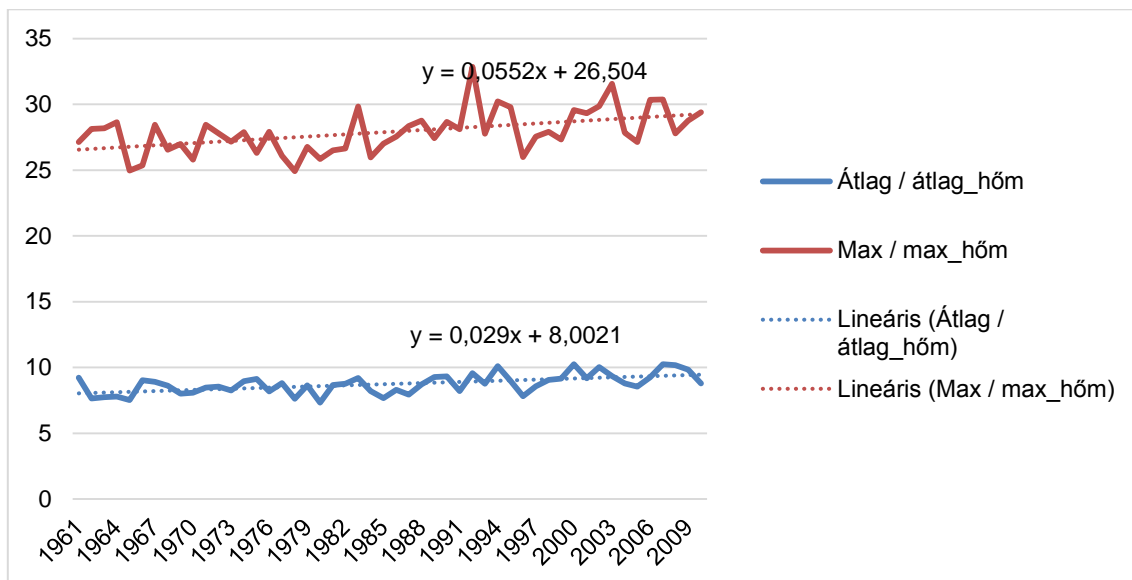
A táblázatban vastagítással jelöltük a 0,6-et meghaladó értékeket. Észleltük, hogy az erős korrelációs értékeke ritkák, azaz ezzel a viszonylag egyszerű módszerrel még nem mutathatóak ki finomabb összefüggések. Emiatt is szükséges volt más módszerekkel (CReMIT és PCA) is elvégezni az elemzéseket, amelyek eredményeire külön fejezetekben térünk ki.



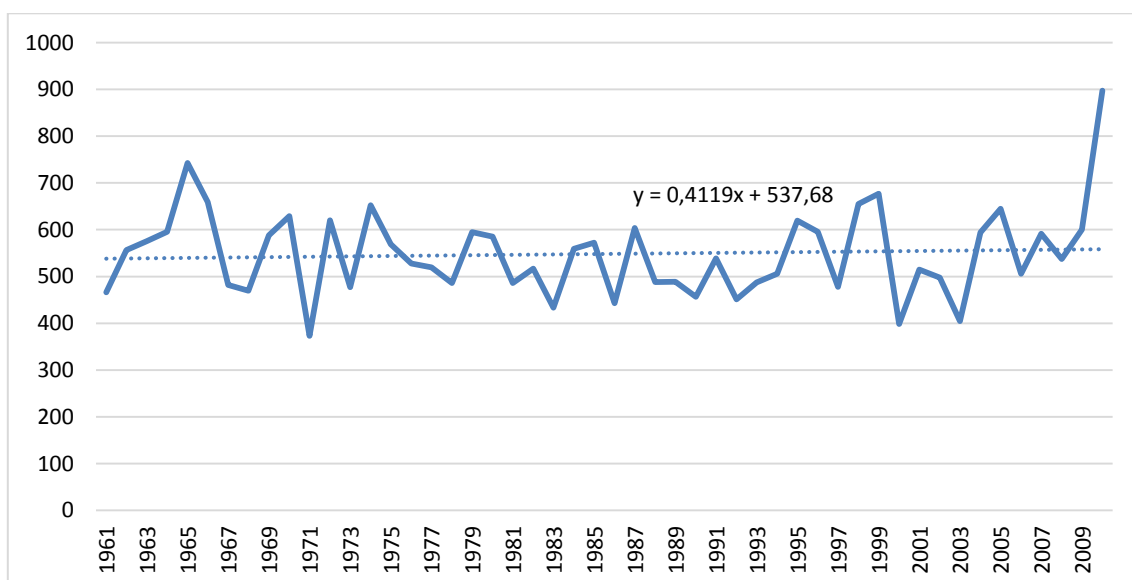
8. táblázat: A FAI és az egészségügyi mutatók teljes felvételezési időszorra számított lineáris korrelációs együtthatói.

minataterület	egészségi állapotjező	Korrelációs r-értékek	
		FAI	FAI 3 év mozgóátlaga
Bószénfa 12E	EDI	0,33	<b>0,53</b>
	EDI 1-2 szoc.h.	0,30	<b>0,55</b>
	levélvesztés	<b>0,60</b>	0,39
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	<b>0,62</b>	0,42
Felsőtárkány 140D	EDI	0,36	<b>0,79</b>
	EDI 1-2 szoc.h.	0,40	<b>0,83</b>
	levélvesztés	-0,10	0,02
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	-0,08	0,05
Felsőtárkány 55A	EDI	0,09	0,23
	EDI 1-2 szoc.h.	0,09	0,24
	levélvesztés	-0,10	-0,15
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	-0,11	-0,15
Füzér 86F	EDI	0,39	<b>0,61</b>
	EDI 1-2 szoc.h.	<b>0,53</b>	<b>0,65</b>
	levélvesztés	<b>0,57</b>	0,40
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	<b>0,78</b>	<b>0,59</b>
Füzér 86G	EDI	0,48	<b>0,55</b>
	EDI 1-2 szoc.h.	0,49	<b>0,57</b>
	levélvesztés	<b>0,70</b>	<b>0,60</b>
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	<b>0,71</b>	<b>0,61</b>
Gyöngyössolymos 41B	EDI	<b>0,72</b>	<b>0,84</b>
	EDI 1-2 szoc.h.	<b>0,68</b>	<b>0,87</b>
	levélvesztés	0,14	0,49
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	0,14	<b>0,51</b>
Kislőd 4B	EDI	<b>-0,61</b>	-0,26
	EDI 1-2 szoc.h.	-0,41	0,07
	levélvesztés	0,24	0,24
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	0,25	0,26
Kőszeg 43H	EDI	0,17	-0,06
	EDI 1-2 szoc.h.	0,09	-0,09
	levélvesztés	0,34	-0,03
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	0,33	-0,02
Nagyhuta 10C	EDI	0,37	0,31
	EDI 1-2 szoc.h.	0,37	0,29
	levélvesztés	<b>0,52</b>	0,45
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	<b>0,51</b>	0,45
Orfú 21B	EDI	0,24	0,29
	EDI 1-2 szoc.h.	0,15	0,27
	levélvesztés	0,36	-0,10
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	0,37	-0,09
Répáshuta 11C	EDI	0,35	0,00
	EDI 1-2 szoc.h.	0,40	0,08
	levélvesztés	0,00	-0,22
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	0,00	-0,20
Répáshuta 12G	EDI	0,02	0,12
	EDI 1-2 szoc.h.	-0,20	0,00
	levélvesztés	0,12	0,19
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	0,10	0,28
Szentpéterföldre 20A	EDI	-0,19	-0,27
	EDI 1-2 szoc.h.	0,02	-0,04
	levélvesztés	-0,16	-0,27
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	-0,11	-0,19
Ugod 31A	EDI	0,24	<b>0,55</b>
	EDI 1-2 szoc.h.	-0,02	0,37
	levélvesztés	-0,23	0,01
	levélvesztés 1-2 szoc.h.	-0,17	0,01

A statisztikai elemzések első lépéseként az ERTI összes bükkös mintaterületeinek adatait tekintettük át az általános mintázatok miatt. Megvizsgáltuk az időjárási mutatók trendjeit. Célszerűnek tartottuk az időjárási adatsor teljes hosszán (1961-2010) megmutatni a bükkös parcellákon jelentkező trendeket. Az adatok a klímaváltozás általánosan ismert trendjét mutatják, azaz a csapadék mennyisége gyakorlatilag alig változik, míg a hőmérséklet már emelkedő trendet mutat, néhány kiugróan meleg év miatt a bükkös parcellákon (76. ábra és 77. ábra).

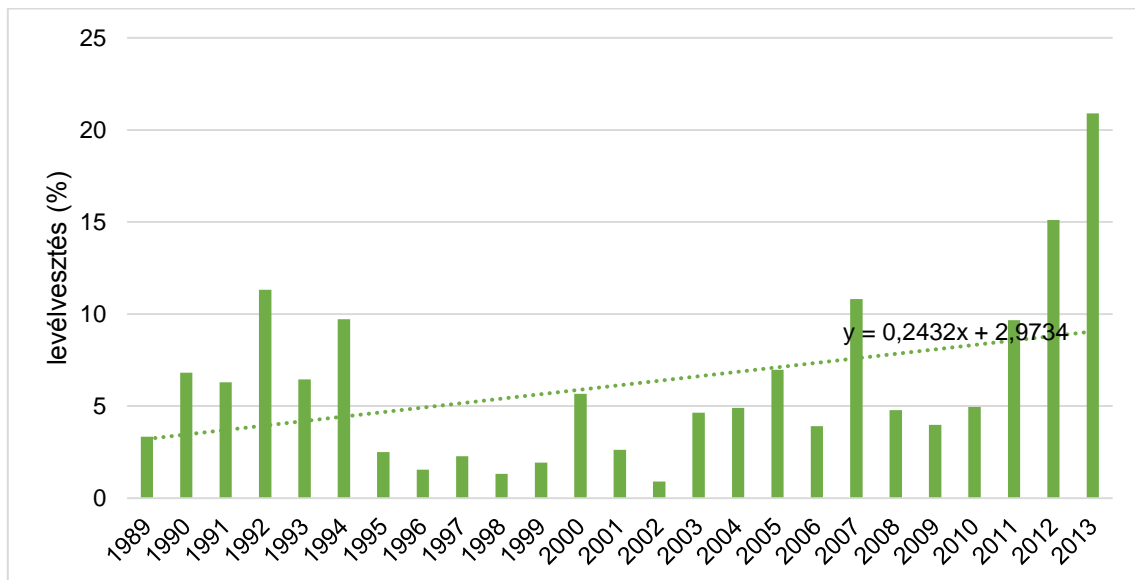


76. ábra: Az éves átlag-hőmérséklet és maximum-hőmérséklet trendjeinek alakulása 1961-től 2010-ig a bükkös mintaparcellák időjárási adatai szerint.

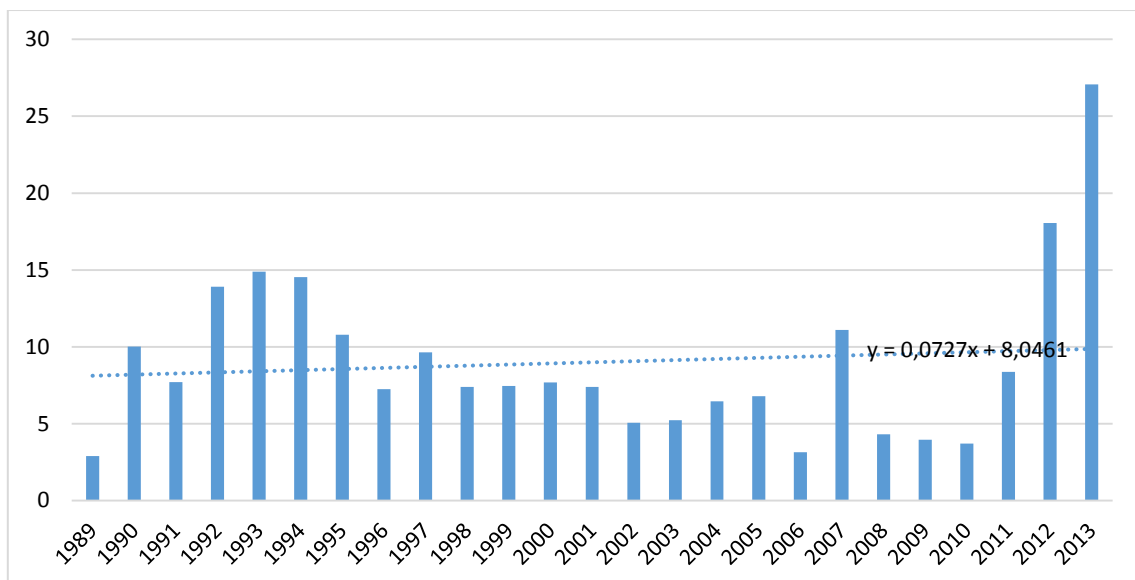


77. ábra: Az éves csapadékösszeg trendjének alakulása 1961-től 2010-ig a bükkös mintaparcellák időjárási adatai szerint.

Az erdőkárok mutatóinak hosszú távú változásait tekintve mind a mintaterületek éves átlagos lombvesztése, illetve a területek EDI értékének éves átlaga emelkedő trendet mutatott a vizsgálati időszakban – jelen esetben adatsoraink 1989 és 2013 között álltak rendelkezésre – az ERTI összes (32 db) bükk mintaparcellájára (78. ábra és 79. ábra). A trend alakulását a 2011., 2012., és 2013. évek kiemelkedő értékeikkel nagyban befolyásolták.



78. ábra: A bükkös mintaterületek átlagos éves lombvesztése.



79. ábra: A bükkös területek EDI értékeinek éves átlagai.

## 5.6 A CReMIT elemzés eredményei

A Dr. Pödör Zoltán által elvégezte a CReMIT alapú elemzést, amely igen nagyszámú korrelációs eredményt eredményezett. Az eljárás a havi meteorológiai paraméterekre (havi csapadékösszeg, havi átlaghőmérséklet, havi minimum hőmérséklet, havi maximum hőmérséklet, havi nyári napok száma és havi hőségnapok száma), mint független változókra különböző hosszúságú és elhelyezkedésű időablakok (pl.: januártól februárig, januártól márciusig, februártól márciusig, februártól májusig, stb.) átlagolt adatait korreláltatja lineáris regresszió-számítással a függő változókkal: a levélvesztés- és EDI-adatsorokkal. Ilyen módon mintaterületenként, és független változónként kaptunk egy-egy eredménytáblázatot (15x6=90 db táblázat), amely az összes képzett időablakra megadta a korrelációs értékeket, mind levélvesztésre, mind EDI-re, és szociális helyzetenkénti tagolással.

Az eredmények nyers formában nem mutattak a 15 db kiválasztott mintaterület tekintetében sem egységesen markáns összefüggéseket, szükséges volt bizonyos paraméterek rögzítése, avagy másképp: az eredmények szűrése:

Az időablakok szélességét 1 hónap és 4 hónap közöttinek választottuk, és a kár évéhez képest 2 évvel korábbról indítottuk az elemzést. Az elemzésbe májustól augusztusig vettük be a hónapokat, míg a hőségnapok esetében a május hónapot is elhagytuk. Az elemzésből a vegetációs időszakon kívüli hónapokat szintén kihagytuk. A CReMIT eljárásban a lombvesztést korreláltattuk a havi csapadékösszeggel; a havi minimum-, maximum- és átlag-hőmérsékletekkel, a havi nyári napok számával és a hőségnapok számával. Ugyanígy az általunk számított EDI mutatót is korreláltattuk a felsorolt időjárási adattípusokkal.

Az erdőkár jellemzőket szociális helyzetenként elemeztük, de az elemzésben csak a felső két szociális helyzetű (uralkodó és kimagasló = Kraft1 és Kraft2) mintafákat vizsgáltuk, mivel az alsó szociális helyzetekben álló fák olyan árnyékhatásnak vannak kitéve, amely az időjárási tényezőkön kívül jelentősen rontja állapotukat (Bošela et al. 2016).

A szűrések alkalmazásával sikerült elérni azt, hogy bizonyos mintázatok rajzolódjanak ki az adatokban, amelyeket még megfelelő formába kellett rendezni.

Általánosan, az adatfeldolgozás kezdeti lépéseiben a legtöbb és legerősebb korrelációs értéket mindegyik időjárási paraméter és minden mintaterület esetében a kár évében észleltük. A hőmérsékleti paraméterek közül már az elemzések elején kiviláglott, hogy a legcélszerűbb a maximum-hőmérséklet értékeit tovább elemezni, mivel ez valamivel több és erősebb korrelációt adott, mint az átlag-hőmérséklet. A minimum-hőmérséklet e kettőtől gyengébb és ritkább értékeket adott. Ennek szemléltetésére a 9. táblázat tartalmazza független változónként és a kár évéhez viszonyítva visszamenően 2 évre évenként a Student-féle T-próba alkalmazásával szignifikánsnak tekinthető eredményt adó időablakok számát.

9. táblázat: A csapadékra és a hőmérsékletekre kapott összes (összegezve a levélvesztés %-al és az EDI-vel korreláltatott eredményeket) szignifikáns korreláció száma és átlagértéke.

év	csapadék		átlag hőm.		max. hőm.		min. hőm.	
	db	átlag	db	átlag	db	átlag	db	átlag
<b>0, kár éve</b>	92	-60	78	69	92	87	70	47
<b>1 évvel korábban</b>	53	-18	41	-33	28	-19	49	-51
<b>2 évvel korábban</b>	75	-28	86	63	89	54	70	59
<b>Összesítés:</b>	<b>220</b>	<b>-39</b>	<b>205</b>	<b>46</b>	<b>209</b>	<b>59</b>	<b>189</b>	<b>26</b>

Az egyes időablakokra kapott korrelációs eredmények közül a szignifikáns korrelációt mutatóakat mintaterületenként, 90%-os, 95%-os és 99%-os szignifikancia szinteken a következő táblázatok tartalmazzák:

### 5.6.1 A lombvesztés és az időjárási paraméterek CReMIT eredményei

A lombvesztés és a havi maximum-hőmérséklet között természetesen pozitív korrelációra számítottam. A kár bekövetkezésének évében 4 mintaterületen erős korrelációs értékeket kaptunk (Zselickislak, Bőszénfa, Kislőd és Orfű mintaterületek a FAI számításaink szerint gyertyános-tölgyes klímakategóriában helyezkednek el.), míg másik 4 területen hasonló, de gyengébb volt az összefüggés. A kár évét megelőző időszakokban 2 mintaterületen volt a kár éve előtt 2 évvel pozitív korreláció, és 1 mintaterület esetében volt egy évvel a káresemény előtt pozitív korreláció (ez utóbbi esetben csak az uralkodó helyzetű fákra).

A legtöbb szignifikáns eredményt a kár évének időablakai adták, a megelőző 2 évben kevesebb volt az értékelhető korreláció, ami előzetes feltételezéseinkkel egybevágott.

Szórványosan az alaphipotéziseknek ellentmondó értékeket, azaz negatív korreláció is jelentkezett. Ez jellemzően a kár évét megelőző években fordult elő. Elképzelhetőnek tartom, hogy a bükk képes alkalmazkodni a szárazsághoz olyan módon, hogy egy aszályos évet követően életfolyamatai a szárazságra való felkészülés irányába tolódnak el. Ennek a jelenségnek lehet jele a negatív értékek, illetve adathibák jelenléte.

A kár évében fellépő negatív értékek adódhatnak továbbá abból is, hogy mind a bükk életfolyamatai, mind a biotikus károsítók populációdinamikája rendkívül összetettek, és nem csak az általunk vizsgált paraméterekkel vannak kapcsolatban.

A kár évét megelőző negatív értékekre hatással lehet az a megfigyelés, hogy a bükk rügyek a hosszabb megvilágítás hatására úgy differenciálódnak, hogy több levélkezdeményt tartalmaznak, azaz a következő évi levelek száma nőni fog (Eschrich et al. 1989). A megvilágított órák száma pedig összefügg a napos, azaz meleg időjárással.

Az uralkodó és kimagasló fák egymáshoz hasonló értékeket adtak (10. táblázat, 11. táblázat), kivéve Kislőd 4B erdőrészletet. Itt az uralkodó és a kimagasló helyzetű fák eltérő korrelációs mintázatot mutattak. Az uralkodó helyzetű fák kárai az egy évvel korábbi hőmérséklettel mutattak statisztikai kapcsolatot. Valószínűleg az állományszerkezet okozza ezt a jelenséget: az állományban az uralkodó fák jelentősebben elmaradtak már a kimagaslóktól.

A csapadék és a lombvesztés összevetésekor szintén a kár évében adódott a legtöbb szignifikáns (és a vártnak megfelelően negatív) korrelációs értéket, de ez a jelenség 6 mintaterületen volt csak kifejezett: a két füzéri, a nagyhutai, a kislődi területeken legalább négy időablakot érintően, és a zselici két mintaterületen 1-3 időablakot érintően. Ennél a mutatónál is a két szociális osztály hasonlóan viselkedett (némi különbség Kislőd esetében itt is adódott), és az uralkodó fák esetében gyakoribb volt a korreláció. Időben visszafelé haladva a korrelációk száma csökken, a 2 évvel korábbi időablakok kevesebb korrelációt adtak, mint az 1 évvel korábbiak (12. táblázat, **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**). Ugyanakkor pozitív, azaz alaphipotézissel ellentétes eredmények is adódtak, 7 mintaterületen, főként a kár évét megelőző időablakokban. Ebből 2 területen volt kifejezett, és nem szórványos a korábbi évek vonatkozásában ez a jelenség. A kár évében előforduló pozitív korrelációt a csapadékkal összefüggő viharkárok okozzák. A megelőző időszakokra hatással lehet az a jelenség, hogy a bükk egy vegetációs időszakon belül nem képez

új rügyeket, azaz ha a korábbi év(ek)ben a kedvezőbb időjárás miatt a rügyek képződése bőséges volt, úgy az azt követő szárazabb évben a megnövekedett asszimiláló felület már túlzott párologtatáshoz, és így a lombzat károsodásához vezethet.

A nyári napok és a lombvesztés korreláltatásakor az összefüggések nagyon hasonlítanak a maximum-hőmérséklet eredményeihez, de itt kevesebb időablakra adódott szignifikáns érték, ugyanakkor arányaiban itt több az erősebb (99%-os szignifikancia szintű) összefüggés (14. táblázat és 15. táblázat).

A hőségnapok és a lombvesztés eredményei továbbra is hasonlóan alakultak, mint a maximum-hőmérséklet és a nyári napok száma esetén. Gyakorlatilag ugyanazok a mintázatok láthatóak, de itt tovább csökkent a szignifikáns értékek száma és nőtt az összefüggések erőssége (16. táblázat és 17. táblázat).





11. táblázat: A maximum-hőmérséklet és a lombvesztés szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, az uralkodó fákon, mintaterületenként.

szociális helyzet	év	0, a kár évében										1 évvel előtte								2 évvel előtte												
		kezdő hó		5	5	5	5	6	6	6	7	7	8	5	5	5	5	6	6	6	7	7	8	5	5	5	5	6	6	6	7	8
		vég hó		5	6	7	8	6	7	8	7	8	8	5	6	7	8	6	7	8	7	8	8	5	6	7	8	6	7	8	8	8
Kraft 2	Bószénfa 12E		90	95	99	95	95	99		99	99																					
	Felsőtárkány 140D																					90	95	95	95	90	90	90				
	Felsőtárkány 55A																									90						
	Füzér 86F				90		90	99		99	95																			95		
	Füzér 86G							90		95	90																			95		
	Gyöngyössolyos 41B																															
	Kislőd 4B													90	95	90	95	95		90			90			90						
	Kőszeg 43H						90	90																					-90			
	Nagyhuta 10C						-90							-90			-95		-90					-90								
	Orfű 21B	95	95	99	95	95	95	95	90																	-90				-95		
	Répáshuta 11C											-95	-90																			
	Répáshuta 12G												-90						95													
	Szentpéterföldre 20A								95										95											-95		
	Ugod 31A																					90	95	95	95	95	90	95	90	90		
	Zselickislak 8E	95	99	99	99	95	99	99	90	99	95						90															

12. táblázat: A csapadék és a lombvesztés szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, a kimagasló fákon, mintaterületenként.

szoc. helyzet	év kezdő hó vég hó	0, a kár éve								1 évvel előtte								2 évvel előtte											
		5	5	5	6	6	6	7	7	8	5	5	5	5	6	6	6	7	7	8	5	5	5	6	6	6	7	7	8
		6	7	8	6	7	8	7	8	8	5	6	7	8	6	7	8	7	8	8	5	7	8	6	7	8	7	8	8
Kraft 1	Bőszénfa 12E								-90																				
	Felsőtárkány 140D																												
	Felsőtárkány 55A																												
	Füzér 86F																												
	Füzér 86G																												
	Gyöngyössolymos 41B																												
	Kislőd 4B																												
	Kőszeg 43H																												
	Nagyhuta 10C																												
	Orfű 21B																												
	Répáshuta 11C																												
	Répáshuta 12G																												
	Szentpéterföldre 20A																												
	Ugod 31A																												
	Zselickislak 8E																												

13. táblázat: A csapadék és a lombvesztés szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, az uralkodó fákon, mintaterületenként.

szoc. helyzet	év kezdő hó vég hó	0, a kár éve								1 évvel előtte								2 évvel előtte													
		5	5	5	6	6	6	7	7	8	5	5	5	5	6	6	6	7	7	8	5	5	5	6	6	6	7	7	8		
		6	7	8	6	7	8	7	8	8	5	6	7	8	6	7	8	7	8	8	5	7	8	6	7	8	7	8	8		
Kraft 2	Bőszénfa 12E	-90	-95				-90							-90																	
	Felsőtárkány 140D																														
	Felsőtárkány 55A									90																90					
	Füzér 86F	-90	-95	-90	-99	-99	-95	-99																							
	Füzér 86G				-95	-95	-90	-95																			-95	-90			
	Gyöngyössolymos 41B												-90										-90								
	Kislőd 4B																														
	Kőszeg 43H																														
	Nagyhuta 10C			-90			-95		-95	-95																	-95				
	Orfű 21B																									90	95		95	95	90
	Répáshuta 11C												90	95		90	95			90											
	Répáshuta 12G							-90													-90										
	Szentpéterföldre 20A										99					-95	-95			95								95	95		
	Ugod 31A								99	95																					
	Zselickislak 8E			-90			-90																								

14. táblázat: A nyári napok száma és a lombvesztés szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, a kimagasló fákon, mintaterületenként.

év		0, a kár éve										1 évvel előtte					2 évvel előtte						
szoc.	kezdő hó	5	5	5	5	6	6	6	7	7	8	5	5	5	6	6	5	5	5	6	6	7	
helyzet	vég hó	5	6	7	8	6	7	8	7	8	8	6	7	8	7	8	6	7	8	7	8	8	
Kraft 1	Bószénfa 12E		90	95	99	90	95	99		95	95												
	Felsőtárkány 140D		-90			-95													90				
	Felsőtárkány 55A																						
	Füzér 86F				99			99		99	99												
	Füzér 86G				99			99		99	99											90	
	Gyöngyössolymos 41B								95														
	Kislőd 4B		95	95	90	95			90														
	Kőszeg 43H				90	95			90		90												
	Nagyhuta 10C		-90	-95			-90									-95	-90	-90					
	Orfű 21B		95	99	95	95	95	95	90											-90	-90	-90	
	Répáshuta 11C																						
	Répáshuta 12G		90												95								
	Szentpéterföldre 20A																					-95	
	Ugod 31A									-90	-90	-90					95	95	95	90	95		
	Zselickislak 8E		99	99	99	99	99	99	99		95	90											

15. táblázat: A nyári napok száma és a lombvesztés szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, az uralkodó fákon, mintaterületenként.

év		0, a kár éve										1 évvel előtte					2 évvel előtte					
szoc.	kezdő hó	5	5	5	5	6	6	6	7	7	8	5	5	5	6	6	5	5	5	6	6	7
helyzet	vég hó	5	6	7	8	6	7	8	7	8	8	6	7	8	7	8	6	7	8	7	8	8
Kraft 2	Bőszénfa 12E		90	95	99	90	95	99		95	95											
	Felsőtárkány 140D																90		90			
	Felsőtárkány 55A																90					
	Füzér 86F			90	99		90	99		99	99											90
	Füzér 86G				99		90	99		99	99											90
	Gyöngyössolymos 41B																				-90	
	Kislőd 4B											90	95	95	95	95				90		
	Kőszeg 43H				95			90		90												
	Nagyhuta 10C		-90			-90						-90		-95	-90	-90						
	Orfű 21B	95	99	99	95	95	95	95														-90
	Répáshuta 11C																					
	Répáshuta 12G																					
	Szentpéterföldre 20A																					-95
	Ugod 31A																99	99	99	90	95	
	Zselickislak 8E	99	99	99	99	95	99	99		95	90				90							

16. táblázat: A hőségnapok száma és a lombvesztés szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, a kimagasló fákon, mintaterületenként.

		0, a kár éve						1 évvel előtte			2 évvel előtte			
szoc.	év	6	6	6	7	7	8	6	6	7	6	6	7	
helyzet	kezdő hó	6	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8	8	
	vég hó	6	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8	8	
Kraft 1	Bőszénfa 12E		90	99		99	99							
	Felsőtárkány 140D													
	Felsőtárkány 55A													
	Füzér 86F													
	Füzér 86G													
	Gyöngyössolymos 41B													
	Kislőd 4B		95		95		90	99						
	Kőszeg 43H			95	90	95	90							
	Nagyhuta 10C													
	Orfű 21B			95	90	95	90							
	Répáshuta 11C		99											
	Répáshuta 12G			99	99	99	99							
	Szentpéterfölde 20A					95			95					
	Ugod 31A											90		
	Zselickislak 8E		95	95	99		99	99						



17. táblázat: A hőségnapok száma és a lombvesztés szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, a kimagasló fákon, mintaterületenként.

		év						0, a kár éve			1 évvel előtte			2 évvel előtte		
szoc.	kezdő hó	6	6	6	7	7	8	6	6	7	6	6	7			
helyzet	vég hó	6	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8	8			
Kraft 2	Böszénfa 12E		90	99		99	99									
	Felsőtárkány 140D															
	Felsőtárkány 55A															
	Füzér 86F															
	Füzér 86G															
	Gyöngyössolymos 41B								95	95						
	Kislód 4B								90	90	95					
	Kőszeg 43H		95	95	95	95										
	Nagyhuta 10C	-90					95				-90					
	Orfű 21B		95	90	95	90										
	Répáshuta 11C	99														
	Répáshuta 12G															
	Szentpéterfölde 20A				95			99								
	Ugod 31A											95	90			
	Zselickislak 8E		90	95	99		99	99								

## 5.6.2 Az EDI és az időjárási paraméterek CReMIT eredményei

18. táblázat: A maximum-hőmérséklet és az EDI szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, a kimagasló fákon, mintaterületenként.

		0, a kár éve				1 évvel előtte				2 évvel előtte								
szoc.	évköz	5	6	7	7	5	5	5	7	8	5	5	5	6	6	6	7	8
helyzet	vég hó	7	7	7	8	5	6	7	7	8	6	7	8	6	7	8	8	8
Kraft 1	Bőszénfa 12E																	
	Felsőtárkány 140D															90	95	95
	Felsőtárkány 55A											95			95	90	95	
	Füzér 86F																90	95
	Füzér 86G				90												90	99
	Gyöngyössolymos 41B																	95
	Kislőd 4B																	
	Kőszeg 43H																-90	-90
	Nagyhuta 10C																	
	Orfű 21B																	
	Répáshuta 11C																	
	Répáshuta 12G					-90												
	Szentpéterföldre 20A	95	95							-95							-95	-95
	Ugod 31A					-95	-95	-95				95			95	90	95	
	Zselickislak 8E																	

19. táblázat: A maximum-hőmérséklet és az EDI szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, az uralkodó fákon, mintaterületenként.

év		0, a kár éve				1 évvel előtte					2 évvel előtte							
szoc.	kezdő hó	5	6	7	7	5	5	5	7	8	5	5	5	6	6	6	7	8
helyzet	vég hó	7	7	7	8	5	6	7	7	8	6	7	8	6	7	8	8	8
Kraft 2	Bószénfa 12E																	
	Felsőtárkány 140D												90			90	95	95
	Felsőtárkány 55A										90	90	95	90		95	95	95
	Füzér 86F																	
	Füzér 86G																	90
	Gyöngyössolymos 41B																	
	Kislőd 4B										95		90	95	90			
	Kőszeg 43H	90	95															
	Nagyhuta 10C																	
	Orfű 21B																	
	Répáshuta 11C																	
	Répáshuta 12G																	
	Szentpéterföldre 20A		95	95				95										-95
	Ugod 31A											95				95	95	95
	Zselickislak 8E																	

20. táblázat: A csapadék és az EDI szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, a kimagasló fákon, mintaterületenként.

év		0, a kár éve								1 évvel előtte								2 évvel előtte											
szoc.	kezdő hó	5	5	5	5	6	6	6	7	7	8	5	5	5	5	6	6	7	7	8	5	5	5	6	6	7	7	8	
helyzet	vég hó	5	6	7	8	6	7	8	7	8	8	5	6	7	8	7	8	7	8	8	6	7	8	7	8	7	8	8	
Kraft 1	Bőszénfa 12E						-90																						
	Felsőtárkány 140D						-90			-90																			
	Felsőtárkány 55A																												-90
	Füzér 86F						-95	-95	-95	-95																			
	Füzér 86G						-95	-95	-90	-90																			
	Gyöngyössolymos 41B						-90			-95	-90																		
	Kislőd 4B																												
	Kőszeg 43H																												
	Nagyhuta 10C																												
	Orfű 21B																												
	Répáshuta 11C																												
	Répáshuta 12G																												
	Szentpéterfőlde 20A																												
	Ugod 31A																												
Zselickislak 8E																													

21. táblázat: A csapadék és az EDI szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, az uralkodó fákon, mintaterületenként.

év		0, a kár éve									1 évvel előtte									2 évvel előtte								
szoc.	kezdő hó	5	5	5	5	6	6	6	7	7	8	5	5	5	5	6	6	7	7	8	5	5	5	6	6	7	7	8
helyzet	vég hó	5	6	7	8	6	7	8	7	8	8	5	6	7	8	7	8	7	8	8	6	7	8	7	8	7	8	8
Kraft 2	Bószénfa 12E											-90	-95		-90													
	Felsőtárkány 140D																						-90		-90		-95	-90
	Felsőtárkány 55A										95																	-90
	Füzér 86F						-90	-90										-90					-90		-90		-95	
	Füzér 86G						-90	-90															-90		-90		-95	
	Gyöngyössolymos 41B								-90	-90													-95		-90		-90	
	Kislőd 4B				95		90	99		99	90																	
	Kőszeg 43H																										90	90
	Nagyhuta 10C																											
	Orfű 21B																											
	Répáshuta 11C																											
	Répáshuta 12G										90																	
	Szentpéterföldre 20A											99					-95		-95								95	
	Ugod 31A																			-90	-95		-95		-90			
Zselickislak 8E																												

22. táblázat: A nyári napok száma és az EDI szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, a kimagasló fákon, mintaterületenként.

szoc. helyzet	év kezdő hó vég hó	0, a kár éve					1 évvel előtte	2 évvel előtte		
		6	6	7	7	8	6	6	7	
		7	8	7	8	8	7	7	8	8
Kraft 1	Bőszénfa 12E									
	Felsőtárkány 140D									90
	Felsőtárkány 55A								90	90
	Füzér 86F		95		95	95			90	95
	Füzér 86G	90	99		95	90			90	95
	Gyöngyössolymos 41B									
	Kislőd 4B									
	Kőszeg 43H						90			
	Nagyhuta 10C									
	Orfű 21B									
	Répáshuta 11C									
	Répáshuta 12G									
	Szentpéterfölde 20A									-95
	Ugod 31A						-90		95	90
	Zselickislak 8E									

23. táblázat: A nyári napok száma és az EDI szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, az uralkodó fák, mintaterületenként.

szoc. helyzet	év kezdő hó vég hó	0, a kár éve					1 évvel előtte	2 évvel előtte				
		6	6	7	7	8	6	6	6	7	7	8
Kraft 2	Bószénfa 12E											
	Felsőtárkány 140D								90	90		
	Felsőtárkány 55A								95	90		
	Füzér 86F					90						
	Füzér 86G		90				-90					
	Gyöngyössolymos 41B											
	Kislőd 4B								95			
	Kőszeg 43H											
	Nagyhuta 10C											
	Orfű 21B			90								
	Répáshuta 11C											
	Répáshuta 12G											
	Szentpéterföldre 20A											-95
	Ugod 31A								95	95		
	Zselickislak 8E											

24. táblázat: A hőségnapok száma és az EDI szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, a kimagasló fákon, mintaterületenként.

szoc. helyzet	év kezdő hó vég hó	0, a kár éve						1 évvel előtte	2 évvel előtte		
		6	6	6	7	7	8	6	6	7	
		6	7	8	7	8	8	7	7	8	8
Kraft 1	Bószénfa 12E										
	Felsőtárkány 140D								95	99	
	Felsőtárkány 55A										
	Füzér 86F										
	Füzér 86G										
	Gyöngyössolymos 41B			90		90	95			90	90
	Kislód 4B										
	Kőszeg 43H		95		95						
	Nagyhuta 10C										
	Orfű 21B										
	Répáshuta 11C										
	Répáshuta 12G		95	90	99	95					
	Szentpéterföldre 20A				95			95			
	Ugod 31A									95	90
Zselickislak 8E											



25. táblázat: A hőségnapok száma és az EDI szignifikáns korrelációi a különböző időablakokon, az uralkodó fákon, mintaterületenként.

		0, a kár éve						1 évvel előtte	2 évvel előtte		
szoc.	év	6	6	6	7	7	8	6	6	6	7
helyzet	kezdő hó	6	7	8	7	8	8	7	7	8	8
	vég hó	6	7	8	7	8	8	7	7	8	8
Kraft 2	Bőszénfa 12E										
	Felsőtárkány 140D										95
	Felsőtárkány 55A										
	Füzér 86F										
	Füzér 86G										
	Gyöngyössolymos 41B			90		95	99				
	Kislőd 4B			-90					95	95	
	Kőszeg 43H		99		99						
	Nagyhuta 10C										
	Orfű 21B										
	Répáshuta 11C	95									
	Répáshuta 12G										
	Szentpéterföldre 20A				95			99			
	Ugod 31A									95	90
	Zselickislak 8E										

Az EDI és a maximum-hőmérséklet eredményei a lombvesztéshez képest kevesebb szignifikáns korrelációt mutattak, kevesebb mintaparcellán, és leggyakrabban a kárt 2 évvel megelőző időablakokban. A kimagasló fák esetében gyakoribbak voltak a korrelációs értékek. 4 mintaterületen negatív értékek is előfordultak (18. táblázat, 19. táblázat), hasonlóan, mint a levélvesztés és a maximum-hőmérséklet korreláltatásakor.

Valószínűleg ennek az az oka, hogy az EDI összetett, az egész állományt jellemző mutatószám, amely az 5 fokozatú Fagus-értékelésre alapul, és így „kisebb felbontású”, mint a százalékos értékkel felvételezett lombvesztés, azaz a csekélyebb mértékű károk nem jelentkeznek a mutatóban. Ugyanezen okból nem ugyanazokon a mintaterületeken jelentkeztek erősebb korrelációjú időablakok, mint a levélvesztés esetében.

Azokon a mintaterületeken, ahol viszont jelentkezett szignifikáns korreláció, ott a termőhelyben is vannak az ideálistól eltérő körülmények: a felsőtárkányi területeken a termőréteg csak közepes vastagságú, a füzérieken pedig podzolos a talaj. A kislődi és az ugodai területeken a klímakategória pedig csak gyertyános-tölgyes. Szentpéterfőde pedig alacsony fekvésű (6. táblázat).

Az EDI és a csapadék korreláltatásakor a hőmérséklethez képest nagyobb számban jelentkeztek szignifikáns korrelációs értékek. Legnagyobb számban a 2 évvel a kár előtti időablakok között, ezt követi mennyiségben a kár éve, végül a jelentősen kevesebb a korreláció a kár évét megelőző évben. A szociális helyzet szerint az uralkodó fák kevesebb értékkel, de követik a kimagaslókat. A kislődi terület itt is kivétel (20. táblázat, 21. táblázat).

Az EDI a nyári napok számával hasonlóan viselkedett, mint a maximum-hőmérséklettel szemben, de még kevesebb szignifikáns eredménnyel (22. táblázat, 23. táblázat).

Az EDI a hőségnapok esetében nagyjából ugyanazt tapasztalhatjuk, mint a nyári napok esetében (24. táblázat, 25. táblázat).

### 5.6.3 A CReMIT eljárás eredményeinek összegzése

A CReMIT eljárás eredményei jellemzően az alaphipotézisek szerint alakultak, azaz:

A havi maximum-hőmérséklet esetében gyakran jelentkezett pozitív korreláció a levélvesztéssel. Leginkább a káresemény évében, nem ritkán a korábbi évek adataival is akadt szignifikáns korreláció.

Ugyanilyen jellegűek voltak a nyári napok és hőségnapok számával mutatott matematikai összefüggések is, azzal a jelentős különbséggel, hogy a korrelációk ritkábban fordultak elő, de ekkor erősebb volt az adatsorok összefüggése. Ezt a jelenséget természetesen a nyári napok és a hőségnapok viszonylag alacsony száma is befolyásolja.

#### A levélvesztéssel kapott eredmények

A csapadékösszeggel mutatott korrelációs értékek a vártnak megfelelően többnyire negatív irányúak voltak. Ebben az esetben is a korábbi évek statisztikai hatása gyengébben, de kimutatható maradt. A csapadék esetében a korrelációs értékek a vártnak megfelelően túlnyomórészt negatívak voltak. Ez az összefüggés 8 mintaterületen jelentkezett a káresemény évében. 3 mintaterületen a megelőző 2 év is hasonló összefüggést mutatott. 5 mintaterület esetében azonban pozitív eredmények adódtak, amely közül 3 mintaterületen csak kevés időablakon volt szignifikáns ez az eredmény. Összességében hasonló volt az eredmények mintázata, mint a maximum-hőmérséklet esetében, de természetesen az előjel ellentétes volt, a korreláció mértéke pedig alacsonyabb (Janik et al. 2020).

A szociális helyzet szerinti értékelésben a kimagasló fákhoz igen hasonlóan alakultak az uralkodó fák eredményei, gyakorlatilag egyöntetűen viselkedett a felső koronaszint. Egyedül a Kislőd 4B mintaparcellán tértek el jelentős mértékben az 1. és 2. Kraft osztályú fák eredményei. Ezen a parcellán a Kraft 1-es fák a kár évében mutattak erős összefüggéseket, míg a Kraft 2-eseknél az 1 és 2 évvel korábbi időablakokra adódott néhány szignifikáns érték.

A káresemény szempontjából vizsgált mindhárom vizsgált évben adódtak szignifikáns eredményt adó időablakok, de a kár éve sokkal meghatározóbb volt, mint az azt megelőző évek.

Azaz egyik evidenciának tekintett és szakirodalom által megerősített (Jackson 1997) alaphipotézisünk beigazolódt: a kár évében fordultak elő a leggyakrabban szignifikáns összefüggések. A korrelációk száma az időben visszafelé haladva nem fokozatosan csökkent, hanem általában a megelőző év értékei gyengébbek és ritkábbak voltak, mint a két évvel a kárt megelőző időablakok korrelációs értékei.

A korábbi évek hatása a károkra másik alaphipotézisünk volt, hiszen gyakorlati megfigyelés, hogy a bükk esetében a károk sokszor egy évvel a kedvezőtlen időjárású év után jelentkeznek (Graf Pannatier et al., 2007, Timmermann et al., 2017). De ez a bükk fafaj fiziológiájából is adódik hiszen a bükk esetében a rügyképződés a vegetációs időszakon belül egyszer történik meg, és így a kialakult rügyek száma meghatározza a következő évi hajtások és levelek számát, összességében az asszimiláló felületet a következő évre (Bréda et al. 2006, Uemura et al. 2000).

Előfordultak a várható korrelációs értékkel ellentétes irányú szignifikáns értékek is. Erre logikus magyarázatnak látjuk a következő indokokat:

A maximum-hőmérséklettel a kár évében negatív korreláció logikusan a májusi-tavaszi meleg lombfakadásra gyakorolt kedvező hatását jelezheti. A kárt megelőző években mutatkozó negatív korreláció a kedvezőbb klímadottságú mintaterületeken jelentkezett, itt ugyanis némi hőmérséklet növekedés egyes években kedvezően hatott a koronaállapotra.

A csapadékkal a kár évében pozitív korrelációt mutató lombhiány esetében viharok okozta károkat valószínűsítünk, mivel gombakárosítók alig voltak fellelhetőek a vizsgált időszakban a mintázott erdőrészekben, ugyanakkor egyes években a viharok nyomai és az ostorkár még észlelhető volt.

A kár évét megelőzően a lombhiánynak a csapadékkal mutatott pozitív korrelációját egyes mintaterületek esetében valószínűleg szintén a feljebb említett, bükkre jellemző rügyképződési menet okozza, azaz ha a csapadékos időjárás sok árnyalással jár, akkor kevesebb rügy képződik, valamint ha egyébként éppen kedvezően csapadékos egy év, akkor a következő évre képződő nagyobb levélfelület esetleges aszály esetén már túl nagy párologtató felületet eredményezhet.

A fentiekén kívül az a megfigyelés, hogy a lombhiány nem csupán egy kedvezőtlen év hatására, hanem egymást követő hosszabb kedvezőtlen hatásra alakulhat ki - melyet más kutatócsoportok szintén kimutattak (Králíček et al. 2017) - , időjárási adataink interpolált volta, valamint a károk felvételezésének némi szubjektivitással terheltége valószínűleg szintén befolyásolta ezeket az eltéréseket.

A 15 mintaterület meglehetősen különböző eredményeket mutatott, hasonlóságok azonban mégis megfigyelhetőek voltak.

Egyes mintaterületek a kár évének maximum hőmérsékleti időablakaival erős korrelációt mutattak, ugyanakkor a megelőző évek nem mutattak korrelációt (Bőszénfa 12E, Kislőd 4B, és Zselickislak 8E). E területeken a hőségnapok és nyári napok tekintetében ugyanez volt a helyzet.

A csapadék mutató esetében viszont más mintaterületeken voltak gyakoribb szignifikáns korrelációk a kár évében: leginkább a Füzér 86F és G részletek hasonló adatsorai voltak ilyenek. A hasonlóság a közelség miatt nem meglepő, akárcsak Nagyhuta 10C részlet esetében. Zselickislak 8E és Kislőd 4B mintaterületek szintén hasonló eredményeket adtak, és földrajzilag egy tájegységben helyezkednek el.

Megfigyelhető továbbá, hogy a korrelációs értékek a legtöbb vizsgált paraméterre 4 mintaterületen mutatták a legerősebb és leggyakoribb statisztikai összefüggéseket: Zselickislak, Bőszénfa, Orfű és Kislőd. Ezeken a mintaterületeken a FAI értékek szerint sajnos a vizsgált időszakban jellemzően alig fordult elő bükkös klímakategória.

A második, valamivel kevesebb korrelációt adó csoportja a mintapontoknak a csapadékkal mutatott legtöbb korrelációt: a füzéri két terület és a nagyhutai, azaz a zempléni mintaterületek. A füzéri területek talaj kedvezőtlenül podzolos, a nagyhutai terület pedig igen alacsony csapadékösszegű.

Érdekes volt a két egymás melletti répáshutai terület közötti nem jelentéktelen eltérés is, ennek oka: míg Répáshuta 12G rendzina talajú és vízhatástól mentes, addig a szomszédos erdőrészekben kedvezőbb a talaj, és szivárgóvíz van jelen.

### Az EDI-vel kapott eredmények

Az EDI (Egészségi Deficit Index) kapott eredmények között néhány eltérést tapasztaltam a lombvesztés eredményeihez képest. Ennek oka, hogy az EDI állományra jellemző, 5 fokozatú skála alapján képzett mutatószám, amelynek érzékenysége emiatt más, mint a mintafánként felvételezett lombvesztési %.

Egyrészt az EDI szignifikáns eredményei csekélyebb számúak voltak. Másrészt, amíg a lombvesztési % esetében a maximum hőmérsékletre kaptuk a legtöbb szignifikáns eredményt, az EDI esetében a legtöbb a csapadékra adódott. Egyébként a csapadékkal kapott szignifikáns korrelációk mintázatai az EDI esetében – akárcsak a lombvesztési % esetében - eltérőek voltak a hőmérséklettel összefüggő mutatókétól.

További eltérés volt, hogy az EDI és a lombvesztési % között, hogy az EDI esetében a hőmérsékleti mutatók gyakrabban a 2 évvel korábbi, és a megelőző évi adatokkal mutattak összefüggést.

Az EDI-csapadék vizsgálatban a 2 évvel korábbi időablakokra és a kár évében lévő időablakokra kaptunk több összefüggést. Nagyban hasonlít ez a mintázat a lombvesztés maximum-hőmérséklettel mutatott mintázatához.

A Kislőd 4B mintaparcella esetében itt is volt érzékelhető különbség az uralkodó és a kimagasló fák eredményeiben.

### EDI és lombvesztés eredmények különbözőségeinek értelmezése

A lombvesztésre és az EDI-re kapott eredmények különbözőségeit véleményünk szerint az magyarázza, hogy:

A lombvesztés az adott évben alakul ki, benne a korábbi időszakok hatása csak a rügyek-hajtások pusztulásaként jelenik meg.

Az EDI az 5 fokozatú FAGUS skála értékein alapul, amelyek szubjektívebb, de az egész fa állapotát figyelembe vevő (gyökfőtől a korona csúcsáig) osztályzat. Ráadásul a felvételező a térségi állományok állapotához is viszonyítja a mintafákat.

Emiatt nem meglepő, hogy a korábbi évek időjárási eseményei az EDI esetében több korrelációt mutatnak.

Megjegyzem, hogy a Kislőd 4B erdőrészlet különleges viselkedést mutatott, a vizsgált két szociális osztály meglehetősen eltérő eredményeket adott. Ez a mintaparcella a Farkasgyepői Kísérleti Erdőhöz tartozik, amelyben több csoportos és szegélyes felújítógátlási módot alkalmaznak. Emiatt az állomány szerkezet eltér a „hagyományosan” kezelt erdőkétől.

Összességében megállapítható, hogy a termőhelyi tényezők valóban befolyásolják a korrelációs eredményeket, így szükséges azok további vizsgálata.

#### 5.6.4 A talált összefüggések további vizsgálatai

A mintaterületek közti különbségek vizsgálata során térképi klímaadatokkal vettem össze az eredményeket (Gálos et Fűhrer 2018). Fűhrer et al. (2011) szerint az Erdészeti Aszályosság Index értékei alapján a mintaterületeket besoroltam a 4 hazai erdőklíma-kategóriába. Az eredmények alapján megállapítható, hogy általában azok a mintaterületek (Kislőd, Bőszénfa, Orfű, Zselickislak) mutatják alapvetően a legerősebb korrelációt a különböző időjárási paraméterekkel, amelyek a Bükk fafaj számára legkevésbé optimális erdőklíma-kategóriában helyezkednek el az 1971-2010 időszakban mért adatok klímabesorolása szerint. Azaz az adatok szerint a szárazabb erdőklíma-kategóriában álló erdők érzékenyebbek az időjárási szélsőségekre, mint az optimálisabb termőhelyeken álló bükkösök. Itt megjegyzendő, hogy mintaterületeink közül valószínűleg számos olyan (akár mind) van amelyek keletkezésekor még bükkös klímakategória volt uralkodó az adott termőhelyen, és csak az utóbbi évtizedek klímaváltozása miatt „kerültek át” másik klímakategóriába.

Bár a mintaterületek többsége most már a gyertyános-tölgyes klímakategóriában található, legtöbbjükön súlyos károk nem fordultak elő, míg a klímaöv szélén a cseres kocsánytalan-tölgyes klímaövhöz közel eső mintaterületeken komolyabb erdőkárok jelentkeztek.

A mintaterületek közötti különbségek klimatikus és földrajzi okainak vizsgálata után statisztikailag próbáltuk alátámasztani a tapasztaltakat. Ezért az eredményeket a korrelációk erőssége, gyakorisága és iránya szerint pontoztuk mind a kár évében, mind az előző években, majd összegeztük az eredményeket (26. táblázat). A szignifikáns eredményt adó időablakok számát és a korreláció irányát -3 és 3 közötti egész számokkal pontoztuk. A pontszámokat értékelve 4 mintaterület esetében voltak magasak az összegek a hőmérséklet típusú mutatókra a kár évét tekintve, de a csapadéokra is. Ezek a már említett mintaterületek voltak.

26. táblázat: A szignifikáns CReMIT eredmények összegzése. A szignifikáns eredmények száma és iránya szerint 3 és -3 közötti értékekkel jellemeztük a korrelációk erősségét, az alapján, hogy az adott évben hány időablakban és milyen erősségű korrelációs eredmény adódott.

Paraméter	Maximum hőmérséklet			Havi csapadék összeg			Nyári napok			Hőség napok		
	0	-1	-2	0	-1	-2	0	-1	-2	0	-1	-2
Mintaterület/év	0	-1	-2	0	-1	-2	0	-1	-2	0	-1	-2
Felsőtárkány 55A	3	0	0	-2	0	0	3	0	0	3	0	0
Felsőtárkány 140D	0	0	2	0	0	0	-1	0	1	0	0	0
Gyöngyössolymos 41B	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Répáshuta 11C	2	0	0	-3	0	-1	3	0	0	0	0	0
Répáshuta 12G	2	0	0	-2	0	-2	3	0	0	0	0	0
Nagyhuta 10C	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0
Szentpéterfölde 20A	2	1	0	-2	0	0	2	1	0	3	1	0
Kőszeg 43H	1	0	-1	0	0	0	2	0	0	3	0	0
Ugod 31A	-1	-2	-1	-2	-2	0	-2	-2	0	0	0	-1
Füzér 86F	3	0	-2	0	0	2	3	0	-1	3	0	0
Füzér 86G	0	-1	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0
Bőszénfa 12E	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0
Orfű 21B	1	1	-1	0	1	1	0	0	-1	1	1	0
Kislőd 4B	0	0	3	2	1	0	0	-1	3	0	0	1
Zselickislak 8E	3	0	0	-2	0	0	3	1	0	3	0	0

A 26. táblázat adataival összegzett CReMIT eredményeket a térképi-klimatikus modell (Gálos et Führer 2018) megerősíti, de a tapasztalt mintázatok okait tovább kerestük. Feltételezésünk szerint a mintaterületek termőhelyi, klimatikus és erdőállomány jellemzőinek is hatása lehet a tapasztalt eredményekre, ezért a termőhelyi és állomány-tényezők vizsgálatára főkomponens-analízist (PCA) végeztünk a 15 termőhelyi-, állomány- és klíma-paraméterre. Ez az analízis 4 képzetes változót, avagy tengelyt eredményezett, amelyek összesen 85%-ban adják a 15 eredeti változó varianciáját a mintapontok között (27. táblázat).

Az 1. tengely "Axis 1" a termőréteg mélységgel és a hőmérsékleti változókkal erős pozitív korrelációban van, míg a tengerszint feletti magassággal – logikusan – negatív a korreláció.

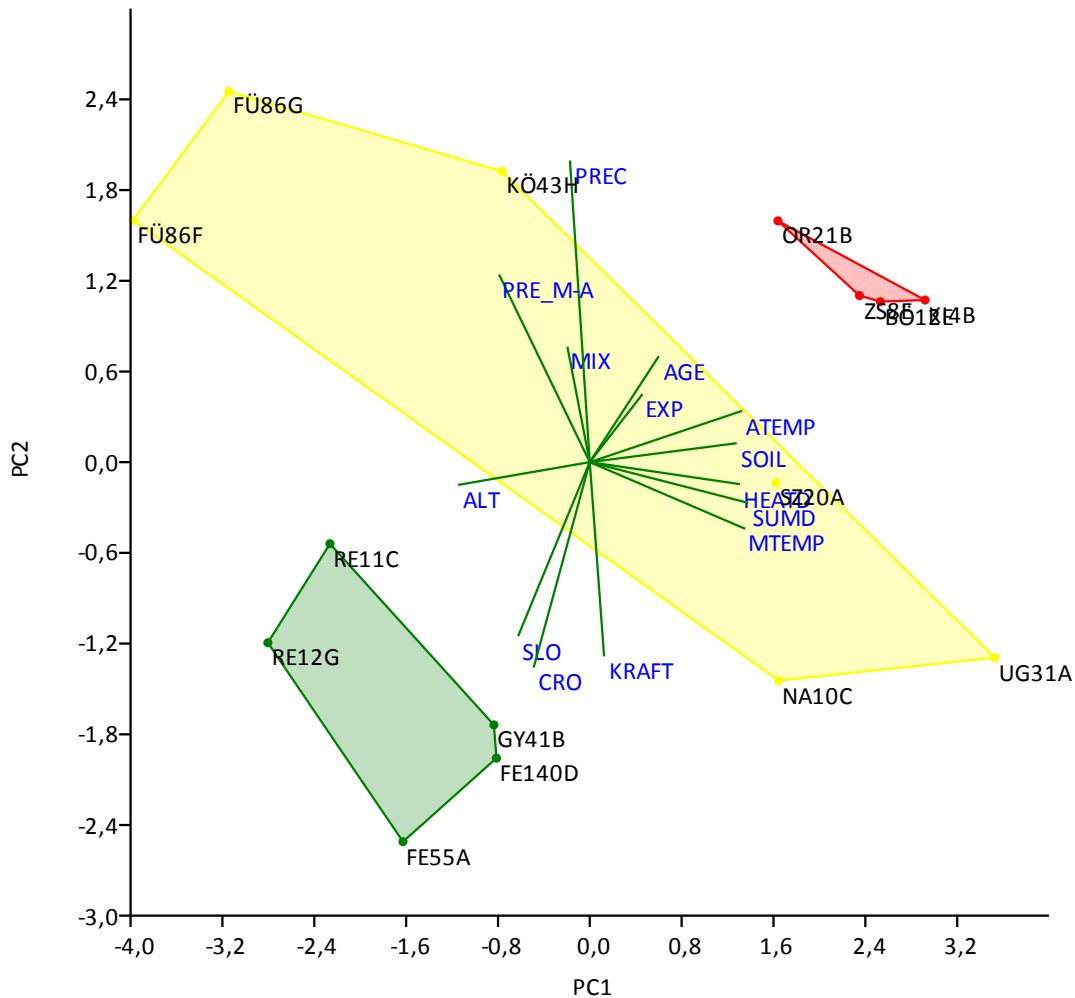
A második tengely "Axis 2" negatívan korrelál a dőlésszöggel, a záródással, és a kimagasló és uralkodó fák arányával, ugyanakkor pozitívan korrelál a korszaki csapadékösszeggel. Itt megfigyelhető, hogy a variancia-értékeket elsősorban a hőmérséklet és az ezzel összefüggő termőréteg-mélység befolyásolják, illetve a hőmérsékleti értékek hatása erősebb, mint a csapadékösszeg befolyása. Ezek az eredmények egybecsengenek a CReMIT eljárás eredményeivel, azaz mind időjárás szintjén, mind klíma szintjén elsősorban a hőmérséklettel mutat pozitív korrelációt a bükkösökben tapasztalt erdőkárok mértéke.

A két következő képzetes tengely variancia-aránya már jóval csekélyebb. A 3. tengelyt - "Axis 3" jelölésű – az elegyarány határozza meg, míg a 4. tengelyt (Axis 4) pedig a kitétség az állomány korával együtt.

27. táblázat: Sajátértékek, varianciák a PCA képzett tengelyeire, és a környezeti paraméterek tengelyekre eső súlyozása, és az ábrán használt rövidítések.

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalue	6,0	2,6	1,8	1,4
Variancia arány	43,0%	18,9%	13,0%	10,2%
Kumulált variancia	43,0%	61,8%	74,8%	85,0%
<b>Vizsgált változók</b>				
Tszf. magasság (ALT)	<b>-0,809</b>	-0,070	0,264	0,161
Fekvés (EXP)	0,324	0,210	-0,510	<b>-0,516</b>
Lejtés (SLO)	-0,441	<b>-0,539</b>	-0,447	0,460
Termőréteg vastagság (SOIL)	<b>0,904</b>	0,059	0,250	0,064
Elegyarány (MIX)	-0,138	0,357	<b>0,873</b>	-0,094
Kor (AGE)	0,425	0,328	-0,081	<b>0,638</b>
Záródás (CRO)	-0,346	<b>-0,636</b>	0,378	-0,483
Havi átlaghőmérséklet (ATEMP)	<b>0,937</b>	0,159	0,068	0,166
Havi maximum hőmérséklet (MTEMP)	<b>0,955</b>	-0,206	-0,013	0,104
Hőségnapok száma (HEATD)	<b>0,924</b>	-0,068	0,241	-0,151
Nyári napok száma (SUMD)	<b>0,974</b>	-0,126	0,047	-0,047
Csapadékösszeg (PREC)	-0,122	<b>0,934</b>	-0,022	-0,014
Csapadékösszeg Májustól Agusztusig. (PRE_M-A)	-0,559	<b>0,581</b>	0,213	0,208
A kimagasló és uralkodó fák aránya (KRAFT)	0,088	<b>-0,601</b>	0,447	0,412





80. ábra: A főkomponens analízis szórásgörbéje. A diagram ábrázolja vizsgált paramétereket vektorokként. A mintaterületek a képzes térben pontokként jelennek meg, az első 2 és az utolsó 3 karakterrel rövidített néven. A hasonló eredményeket mutató mintaterületeket színezett síkidomokkal kötöttük össze.

A PCA analízis eredményeként a mintaterületeket 3 csoportra osztottak (80. ábra). Ezeket piros, sárga és zöld színek jelölik. A PCA által piros csoportba sorolt mintaterületek mutatták a legerősebb korrelációs értékeket a CReMIT eredményei alapján. Hasonlóan sorrendbe rendeződött a többi mintaterület is a PCA eredményeiben, mint a CReMIT eredményeiben.

Mindezekből arra következtettem, hogy a bükkösök egészségi állapotára a termőhelyi- és állomány-jellemzőknek hatása van, méghozzá a PCA szerinti variancia arányokban. Ez alapján viszont a termőhelyi jellemzők meghatározzák a bükkösök érzékenységét a klimatikus szélsőségekre.

A varianciát leginkább befolyásoló termőhelyi tényezők: a termőréteg vastagsága és a tengerszint feletti magasság, amelyek egymással is, de legfőképpen a hőmérséklettel egyértelmű kapcsolatban állnak. Ezt követi a záródás és a lejtés, majd az elegyarány, az állomány kora, és az égtáji kitétség.

## 6 DISZKUSSZIÓ

### 6.1 A kutatási munka adott körülményei

A dolgozat elkészítése során néhány olyan megoldandó problémával szembesültem, melyek a feladat speciális jellegéből adódtak:

1, Hosszú ideje kidolgozott, azonos módszerrel gyűjtött erdő-egészségi állapot alapadatokat vizsgáltunk. A módszer a gyakorlatban jól alkalmazható. Az adatgyűjtés kezdeti célja az erdészeti gyakorlat igényeinek megfelelő alapadatok gyűjtése volt, nem pedig statisztikai módszerek számára ideális adatsorok előállítására.

2, Az időjárás adataink méréseken alapulnak, de interpolált adatok. Ugyanakkor a mintaterületek jellemzésére jobb adatsor nem állt rendelkezésre.

3, A bükkösök egészségi állapotának és az időjárás hatásainak szakirodalmi rendkívül bőséges, ugyanakkor azon publikációk száma, amelyek mintaterületeken gyűjtött adatsorok és időjárás adatok statisztikai összevetésével foglalkoznak már nagyságrendekkel kevesebb. Szakirodalmi elemzésekben is ritka a mi adatsorunkat megközelítő hosszúságú periódusra alapozott vizsgálat.

Mindezek miatt több metódussal igyekeztem az eredeti célokat elérni: az adatsorokban időjárás-egészségi állapot összefüggéseket statisztikai módszerekkel feltárni és igazolni. Úgy gondoljuk, hogy ezt a lehetőségekhez mérten jól teljesítettem.

Mivel a vizsgált erdei ökoszisztémák meglehetősen komplexek, számítottam arra, hogy lineáris korrelációval vizsgálva az időjárás adatok és az erdőkárok közötti összefüggések bonyolult mintázatot adnak majd, akárcsak hasonló időjárás hatásokat vizsgáló munkákban (Berki et al. 2014, Führer 1989, Führer 1992). Ugyanakkor a ragaszkodtam a lineáris korrelációhoz, mint megbízható, robusztus statisztikai módszerhez, bár az összetett erdei életfolyamatok rendszereiben általában nehéz a statisztikai mintázatok kimutatása (Granier et al. 1999). Az eredményeink viszont alátámasztják a gyakorló szakemberek megfigyeléseit.

Bizonyos időjárás tényezők – melyek nem szerepelnek a monitoring-rendszerben – nagyban megváltoztathatják a fák egészségi állapotát. Például a szurdokvölgyekben a felhős időjárás nagyban csökkenti a transzspiráció hatékonyságát (Rozas et al. 2015). Vagy a talaj nitrogén tartalma súlyosbíthatja az aszály hatásait (Dziedek et al. 2016). Hasonlóan: a bükk évgyűrűvastagságát vizsgálva sikerült kimutatni, hogy a lombfakadaskor bekövetkező fagy igen negatív hatású, de az éves egészségi állapotot ez az egy esemény még nem határozta meg jelentősebben (Dittmar et al. 2006).

A szubjektív becslés módszere a lombhiány jellemzésére pedig magában hordozza az eltérő egyének közti különbségeket és egyszerűen az emberi hibalehetőségeket is (Innes & Boswell 1990).

A komplex rendszerek időjárás eseményekre adott válaszait általában nem könnyű kimutatni. Szélsőségesen száraz évek vizsgálatakor viszont erős korrelációt lehet kimutatni (Potočić et al. 2008). Viszont még így is, más klimatikus körülmények között más kutatók az erdőkárok teljesen ellentétes viselkedését is leírták (Jönsson et al. 2005, Seletković et al. 2009). Egy másik példa: míg Angliában és Wales-ben erős

negatív korrelációt mutattak ki az előző évi csapadékösszeg és a 25% feletti lombvesztésű fák száma között (Cannell & Sparks 2008); hasonlóképpen Németországban azt találták, hogy az előző évi nyári csapadékösszeg a legmegfelelőbb a bükkösök összes levél darab-számának előrejelzésére (Meier & Lauschner 2008a).

Ráadásul az Észak-Európai területeken azért is nehezen összehasonlíthatóak a viszonyok a magyarországgal, mert helyenként a klímaváltozás pozitív légnedvesség-trendet eredményez (Solomon et al. 2007, Watson et al. 1988). Sőt, Európa észak-keleti részein a bükk előfordulásoknál a klímaváltozás éppen a potenciális élőhelyek terjedését eredményezi. (Augustaitis et al. 2015). Dél-kelet Európában viszont, és különösen a Kárpát-medencében az előrejelzések a bükk számára kedvezőtlenebb klímát vetítenek elő. (Berki et al. 2007) Egyesek szerint az elkövetkező 100 évben a bükk akár ki is pusztulhat a térségből. (Mátyás et al. 2010, Führer et al. 2011).

Közép-Európában már az 1980-as évektől kezdve kimutatható az aszályos évek által okozott növedék-csökkenés a bükkösökben. (Zimmermann et al. 2015, Giagli et al. 2016).

Az Ibériai-félszigeten is a helyi kutatók által készített előrejelzések szerint a bükk számára alkalmas termőhelyek területének csökkenése várható. (del Río et al. 2018).

## 6.2 Kimutatott eredmények

- Az eredmények szerint a bükkösök lombvesztése és a FAI index-el jellemzett időjárás közötti korreláció  $r$ -értéke a kár évében  $-0,17$  és  $+0,78$  között mozgott, míg a FAI 3 éves mozgóátlagával  $-0,18$  és  $+0,61$  között a 15 mintaterület adatsoraiban (8. táblázat). Így a bükkösök egészségi állapota és a káresemény előtti 2 év időjárása közötti korrelációt kimutatható volt.
- A CReMIT eljárás alkalmasnak mutatkozott az ERTI által hosszú távon gyűjtött, rögzített metódussal gyűjtött erdővédelmi adatok feldolgozására, azon belül pedig lombvesztési és EDI adatsorok elemzésére.
- 3. Az adatsorokban a kiemelkedően aszályos években (a mintaterületre jellemző átlagos FAI aszályindex-értéket 2-3-4 –szeresen is meghaladó FAI értékeű években) jelentkeztek a legmarkánsabb erdőkárok. (lásd: A mintaterületek állapotváltozásainak részletes értékelése című fejezet).

A CReMIT eredmények szerint a bükk lombvesztésére a csapadékhiány kevésbé erősen hatott, mint a magas hőmérséklet (lásd:

Az EDI és a maximum-hőmérséklet eredményei a lombvesztéshez képest kevesebb szignifikáns korrelációt mutattak, kevesebb mintaparcellán, és leggyakrabban a kárt 2 évvel megelőző időablakokban. A kimagasló fák esetében gyakoribbak voltak a korrelációs értékek. 4 mintaterületen negatív értékek is előfordultak (18. táblázat, 19. táblázat), hasonlóan, mint a levélvesztés és a maximum-hőmérséklet korreláltatásakor.

Valószínűleg ennek az az oka, hogy az EDI összetett, az egész állományt jellemző mutatószám, amely az 5 fokozatú Fagus-értékelésre alapul, és így „kisebb felbontású”, mint a százalékos értékkel felvételezett lombvesztés, azaz a csekélyebb mértékű károk nem jelentkeznek a mutatóban. Ugyanezen okból nem ugyanazokon a

mintaterületeken jelentkeztek erősebb korrelációjú időablakok, mint a levélvesztés esetében.

Azokon a mintaterületeken, ahol viszont jelentkezett szignifikáns korreláció, ott a termőhelyben is vannak az ideálistól eltérő körülmények: a felsőtárkányi területeken a termőréteg csak közepes vastagságú, a füzérieken pedig podzolos a talaj. A kislődi és az ugodi területeken a klímakategória pedig csak gyertyános-tölgyes. Szentpéterföldre pedig alacsony fekvésű (6. táblázat).

Az EDI és a csapadék korreláltatásakor a hőmérséklethez képest nagyobb számban jelentkeztek szignifikáns korrelációs értékek. Legnagyobb számban a 2 évvel a kár előtti időablakok között, ezt követi mennyiségben a kár éve, végül a jelentősen kevesebb a korreláció a kár évét megelőző évben. A szociális helyzet szerint az uralkodó fák kevesebb értékkel, de követik a kimagaslókat. A kislődi terület itt is kivétel (20. táblázat, 21. táblázat).

Az EDI a nyári napok számával hasonlóan viselkedett, mint a maximum-hőmérséklettel szemben, de még kevesebb szignifikáns eredménnyel (22. táblázat, 23. táblázat).

Az EDI a hőségnapok esetében nagyjából ugyanazt tapasztalhatjuk, mint a nyári napok esetében (24. táblázat, 25. táblázat).

- A CReMIT eljárás eredményeinek összegzése című fejezetben).
- Az értékelésbe vont havi hőmérsékleti mutatók a következő sorrendben mutattak erősödő, de az időablakok közötti előfordulásába erősen ritkuló korrelációt a levélvesztés értékével: maximum hőmérséklet, nyári napok száma, hőségnapok száma.
- A két vizsgált erdő-egészségügyi mutató eltérő viselkedése volt kimutatható, amely eltérő jellegükből ered. A levélvesztés esetében inkább az azévi maximum-hőmérséklet volt meghatározó, míg az EDI esetében a 3 évre visszamenőleges csapadék mennyisége.
- Kimutattam, hogy a különböző mintaterületek esetében a kármutatók és az időjárás mutatókkal számított korrelációs értékek alakulása és a termőhelyi, valamint az állomány-jellemzők között statisztikai kapcsolat áll fenn. Általánosságban a termőhely kedvezőtlen mutatói az időjárás-kárérték korreláció magasabb értékével járnak együtt.
- A termőhelyi- és állomány-jellemzők vizsgálatok a PCA analízis eredménye szerint a mintaterületeken az egészségi állapot szempontjából meghatározó paraméterek (27. táblázat) a következők: hőmérséklet, termőréteg vastagság, tszf. magasság, csapadék, záródás, lejtés, elegyarány.
- Beigazolódott az a kiindulási hipotézis, mely szerint a korrelációs eredmények nem lesznek egyértelműek a háttérben lévő bonyolult összefüggések miatt, ugyanakkor az eredményeket jelentős mértékben termőhelyi tényezők befolyásolták.

Az értekezés eredményei alátámasztják azt a szakirodalomban található megállapítást, hogy az extrém időjárás események, különösen a magas hőmérsékletnek, negatív hatással van a bükkösök egészségi állapotára (Neiryck and Roskams 1999, Stribley and Ashmore 2002, Siedling 2007, Seletković et al. 2009)

A bükkösök növekedésére gyakorolt időjárás hatásokat már korábban is kimutatták időablakos statisztikai eljárásokkal is (Manninger et al. 2011, Garamszegi & Kern 2014, Führer et al. 2016). Eredményeink egybevágóak azokkal a kutatásokkal, amelyek az időjárás bükkösökre gyakorolt hatását vizsgálták (Neiryck & Roskams 1999, Stribley & Ashmore 2002, Siedling 2007, Seletković et al. 2009, Führer et al. 2016). A hőmérséklettel kimutatott korrelációt más kutatók is dokumentálták (Siedling 2007, Zimmermann et al. 2015, Popa et al. 2017), adatsorainkból ez a hatás a káresemény előtti 2 évben mutatható ki.

Eredményeimhez hasonlóan horvát bükkösökben a legerősebb korrelációt a lombvesztés és a magas hőmérséklet között találták. (Potočić et al. 2008).

Azonban megjegyzendő, hogy más klimatikus viszonyok között teljesen ellentétes irányú korrelációt is lejegyeztek már (Jönsson et al. 2005, Seletković et al. 2009). Például az angliai Wales-ben negatív korrelációt jegyeztek le az előző évi csapadék és a 25%-nál nagyobb lombvesztésű bükkfák száma között (Cannell & Sparks 2008). Ugyanakkor Meier és Leuschner (2008a) Németországban a megelőző év csapadékösszege és a bükk lomblevelek száma között pozitív összefüggést mutattak ki.

Az alkalmazott CReMIT eljárás egyelőre kevésbé elterjedt, de hazai kutatásokban jól alkalmazható, például alkalmas klimatikus tényezők évgyűrű-fejlődésre gyakorolt hatásának kimutatására (Garamszegi & Kern 2014, Führer et al. 2016).



### 6.3 Javaslatok erdőgazdálkodóknak

A mintaterület-adatsorok és jelzőlapok adatai megmutatják, hogy a klímaváltozással párhuzamosan jelentős erdővédelmi problémák alakultak ki a bükkösökben. A meteorológiai adatok egybevágóan a klímaváltozási trendekkel, a mintaterületeken is nagyjából 2 °C-os átlaghőmérséklet-emelkedést mutattak az elmúlt 20 évben. Az adatsoraink szerint az aszálykárok és az azzal összefüggő más károk (elsősorban a bükkpusztulás) gyakorisága nőtt meg. Azaz a klímaváltozás hatása adatainkból kimutatható volt.

Emiatt, ha a klímaváltozás trendjei a jövőben folytatódnak, a bükkösökben bekövetkező aszálykárok és a bükkpusztulás egyre gyakoribb és erősebb előfordulására kell számítanunk.

A bükkösök egészségi állapotát a szakirodalom szerint is számos paraméter befolyásolja, és ezek jó részét eredményeink is igazolták. Például: a záródás egyik jelentős befolyásoló tényező eredményeinkben, ugyanakkor a szakirodalom szerint a jó záródású bükkösök kevésbé sérülékenyek erdővédelmi szempontból, mint a kiritkult vagy túlgyérített állományok (Csóka et al. 2009; Bošela et al. 2016). Hasonlóképpen: az elegyes erdők szintén stabilabbnak bizonyulnak, mint a monokultúrák (Mölder & Leuschner 2014, Metz et al. 2016), bár az extrém aszály még itt is a csemeték pusztulását okozhatja (Lübbe et al. 2015). Eredményeink alapján látható, hogy valószínűleg több további olyan paraméter is befolyásolja a bükkösök egészségi állapotát, amelyek nem voltak vizsgálataink tárgyai.

Ugyanígy az elegyes, több szintes, jó záródású erdőállományok stabilabb életközösségeket alkotnak. Az alsó lombkoronaszintben viszont bár a mellészorult és az alászorult egyedek növekedésére szociális helyzetük korlátozó hatása meghatározó, az időjárás is hat a fák növekedésére (Bošela et al. 2016). Ez a hatás a mi kutatásunkban is érzékelhető volt. Az ökológiai sokszínűség mellett szól Corcobado és munkatársainak eredménye is (Corcobado 2020), amely szerint a fitoftórák a jól mikorrhizált gyökérzetű bükkfákat kevésbé voltak képesek megfertőzni.

Egyes vélemények szerint az Európában őshonos fafajok elterjedésének déli területein a fák jobban alkalmazkodtak a száraz és meleg klímához, így a klímaváltozás hatásaival szemben ellenállóbbak ezek a származások (Cavin & Jump 2016, Horváth & Mátyás 2016). A mi eredményeinkben (bár jóval kisebb földrajzi kiterjedést mintázhattunk meg) nem volt egyértelműen ellenállóba szárazabb és melegebb klímakategóriában álló bükkös, sőt inkább volt érzékeny az időjárás változásaira.

Más vélemények szerint ez az alkalmazkodottság a bükk esetében nem elegendő a várható klímahatások ellensúlyozására (Knutzen et al. 2015). Megint más kutatók kiemelik, hogy eredményeik szerint a genetikai diverzitás főként a hajtás- és levél-növekedésre van hatással, a gyökérzet növekedésére kevésbé, így az aszálytűrés szempontjából nem feltétlenül érvényesülnek kedvező hatások a déli származásoknál sem (Meier & Leuschner 2008b).

A fentiek alapján nem javasolható egyértelműen a bükk esetében a délibb származások alkalmazása a klímaváltozás elleni védekezésésként.

Az erdővédelmi kutatások az egyes károsítók és kórokozók elleni védekezés fejlesztésére folyamatban vannak, például: Montenegróban, ahol a bükkpusztulás legfőbb ágense a *Biscogniauxia* gombafajok egyike, igyekeznek antagonistá gomba és mohafajok keresésével lehetőséget találni a kórokozó életterének biológiai úton való korlátozására (Vujanovic et al. 2020). Egyelőre azonban ezek a kutatások csak kísérleti stádiumúak, és a későbbi üzemi alkalmazhatóság szintén kérdéses.

A gyakorlat számára hasznos lehetne, ha az aszály hatásának jó jelzésére olyan indikátornak használható gombafajt találhatnánk, mint például a Mediterráneumban (Luchi 2015).

Az erdőgazdálkodó számára javasolható, hogy az állományok telepítésénél nagy figyelmet fordítsanak az erdészeti klímaosztályokra illetve azok jövőben várható változására. Számos kutató szerint a klímaváltozás iránya a bükkösökre nézve kedvezőtlen lesz, a klíma-kategóriák a melegebb és szárazabb irányba mozdulnak majd el (Gálos & Führer 2018).

Javasolt továbbá a klímakategóriákon kívül a termőhely alapos értékelése, hiszen eredményeink szerint is jelentős szerepe van a termőhelyi tényezőknek a bükkösök aszálytűrésében. Eredményeink szerint a termőhelyi paraméterek befolyásolják a bükkösök ellenálló-képességét, az alábbi sorrendben: termőréteg vastagság, tengerszint feletti magasság, záródás, lejtés, elegyarány, az állomány kora, és az égtáji kitettség.

Így javasolható, hogy a termőhely esetében tartózkodni kell a bükk fafaj alkalmazásától ott, ahol a következő állításokból több is érvényes: termőréteg vastagság sekély, alacsony tengerszint feletti magasság, meredek lejtő, déli kitettség. Ezen kívül törekedni kell a jól záródó állományok nevelésére, és a termőhelynek megfelelő elegyesség elérésére.



## 6.4 Javaslatok további kutatásra

A mintaterületek rendszerének kiépítésekor a kor lehetőségei szerint alakították ki a felvételezés módszertanát, melyet az összehasonlíthatóság miatt a szakemberek nem változtattak. A rendszer kiválóan alkalmas az éves elemzésekhez és közvetlen előrejelzésekhez szükséges adatok gyűjtésére. Napjainkra azonban volna lehetőség a mérések megbízhatóságának növelésére:

- Az erdőkárok jellemzésére költséges, egzakt és modern mérési eljárások is ismertek, mint a mintapontok kialakításának idejében. Ilyen például a fotoszintetikus aktivitás mérése, vagy az edénynyalábokban a növényi nedvek mozgásának és nyomásának mérése.
- A mintaterületeken közvetlenül mérő, kihelyezett meteorológiai és termőhelyi mérőeszközökkel tovább javítható a pontosság.
- Eddig nem vizsgált paraméterek vizsgálatba vonása szintén hasznos lehet, mint például a páratartalom az állomány lombkorona-szintjében, a lombkoronát érő besugárzás erőssége, vagy a talaj hőmérséklete és nedvesség-tartalma.
- Az eredmények ismeretében célszerűnek látszik jövőben olyan mutatók kialakítása is, amelyek vélhetően az eddigieknél is jobb eredményeket adnak: ilyen lehetne például az egymást követő csapadékmentes napok száma, illetve ezen napok hőösszege.

Természetesen mindezek a fejlesztési javaslatok komoly anyagi és rengeteg élőmunka ráfordítást jelentenek az erdészeti monitoring parcellák rendszerére.

## 7 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az az évtizedeken átívelő kísérletsorozat, amelyet értékeltem, igen sok ember munkájából épült fel, és szakmánk olyan kiemelkedő személyiségei működtek közre a megalapozásánál, mint Pagony Hubert, Szontagh Pál vagy Tallós Pál. Sokuknak már nincs többé lehetőségünk megköszönni közreműködésüket. Ennek a feladatnak 9 évig én is részese lehettem. A terepi munkákban tudtuk, hogy kik jelölték meg először azokat a fákat, amelyeket éppen vizsgálunk. Ceruzával írt sárgult lapok és fekete-fehér fényképek kezdik meg az adatsorokat, amelyek ma – a kezdetekkor még nem is álmodtak ilyet – több százezer rekordos adatbázist alkotnak.

„Ha ez a könyvem csak kismértékben is hozzájárul hazai erdőségeink egészséges fejlődéséhez, akkor célomat, a haza javának szolgálatát, elértem.” írta Dr. Győrfi János 1963-ban kiadott Erdővédelemtan könyve bevezetésében. Most, hogy ezt az idézetet kiírom a könyvből, melyből volt szerencsém dolgozni, szintén ide kell írnom azt is, amit a szerző kézzel írt a belső címlapra:

„Dr. Pagony Hubert kedves tanítványomnak és munkatársamnak szeretettel: a szerző.”

Örömmel tölt el, hogy ilyen elődök nagyszabású munkájának részese lehettem egy ideig, melyet igyekeztem lelkiismeretesen és legjobb tudásom szerint végezni, hol sikerrel, hol sikertelenül. Remélem, hogy ha csekély módon is, de hozzá tudtam járulni a kezdetekkor kitűzött célok eléréséhez.

Szeretném megköszönni az ERTI Erdővédelmi Osztálya minden volt és jelenlegi munkatársának, hogy ebben a történelmi időléptékű kísérletben a rendszeresen felmerülő nehézségek ellenére a monitoring rendszert felállították és mindig a lehetőségek szerinti legjobb módon működtették. Mivel igen sok nevet kellene itt felsorolnom, ezért csak mostani munkatársaimat emelem ki, akik ma is folytatják a rendszer fenntartását: Dr. Tóth József, Dr. Leskó Katalin, Dr. Csóka György, Dr. Hirka Anikó, Dr. Koltay András, Majsai Erika, Mikó Ágnes és Szőcs Levente. Rajtuk kívül is nagyon sokan segítettek a felvételezések elvégzésében.

A dolgozatban felhasznált fényképek egy kivételtől (a készítőt és a forrást feltüntettem) eltekintve a SOE ERTI Erdővédelmi Osztályának képei.

A statisztikai számítások kivitelezésében, a módszerek kiválasztásában és szakmai nézőpontok kialakításában nyújtott nélkülözhetetlen segítségét köszönöm Nyul Baláznak (Alkalmazott Matematika és Valószínűségszámítás Tanszék Debreceni Egyetem, Informatikai Kar). Nagyon köszönöm Dr. Pödör Zoltánnak (ELTE Szombathely) a CReMIT módszer számításainak elvégzését és az eredményekkel kapcsolatos meglátásait. Köszönöm továbbá Dr. Kovács Gyula (SOE ERTI) ötleteit a statisztikai módszerek ökológiai vonatkozásait illetően.

Köszönöm Juhász István és Juhász János volt munkatársaimnak, hogy a meteorológiai adatokat és az országos erdőállomány-adatokat számomra könnyen kezelhető formában rendelkezésemre bocsátották. Köszönöm Dr. Rasztoivits Ervinnek segítségét a meteorológiai adatok kezelésében.

Köszönöm Dr. Führer Ernőnek és Dr. Gálos Borbálának a bükkösökkel, a klímaindexekkel és klímaértékeléssel kapcsolatos útmutatásait, javaslatait, tapasztalatait.

Köszönöm a KEFAG Zrt.-nek, jelenlegi munkahelyemnek, hogy időt szakíthattam dolgozatom befejezésére.

Köszönöm családomnak azt a türelmet, amivel - a felvételezések adatsor-hosszát megközelítő időtartamig – elviselték jelenléteim és távolléteim terheit dolgozatom elkészítése alatt.

## 8 Felhasznált irodalom

- Arend, M.; Sever, K.; Pflug, E.; Gessler, A. and Schaub, M. (2016): Seasonal photosynthetic response of European beech to severe summer drought: limitation, recovery and post-drought stimulation. *Agricultural and Forest Meteorology* 220: 83–89.
- Aszalós, R.; Somodi, I.; Kenderes, K.; Ruff, J.; Czúcz, B. and Standovár, T. (2012): Accurate prediction of ice disturbance in European deciduous forests with generalized linear models: a comparison of field-based and airborne-based approaches. *European Journal of Forest Research* 131(6):1905-1915.
- Augustaitis, A.; Kliučius, A.; Marozas, V.; Pilkauskas, M.; Augustaitiene, I.; Vitas, A.; Staszewski, T.; Jansons, A. and Dreimanis, A. (2015): Sensitivity of European beech trees to unfavorable environmental factors on the edge and outside of their distribution range in northeastern Europe. *iForest (early view)*. – doi: 10.3832/for1398-008 [online 2015 10-16]
- Barna, M.; Kulfan, J. and Bublinc, E. (ed.) (2011): *Beech and beech ecosystems of Slovakia*. VEDA, Bratislava, Pozsony
- Bartha D. (1999): *Magyarország fa- és cserjefajai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Bartholy J.; Bozó L. és Haszpra L. (szerk.) (2011): *Klímaváltozás 2011. A Magyar Tudományos Akadémia és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke*, Budapest. ISBN 978-963-284-232-5
- Barton Zs. (1997): A Börzsöny bükköseiben volt az évszázad legsúlyosabb erdőkárosodása. *Erdészeti Lapok* 132(10): 304.
- Bednářová, E. and Merklóvá, L. (2007): Results of monitoring the vegetative phenological phases of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in 1991–2006. *Folia Oecologica* 34(2): 77-85.
- Berki I.; Móricz N.; Rasztovícs E. and Víg P. (2007): A bükk szárazság tolerancia határának meghatározása. *Erdő és klíma V.* (szerk. Mátyás Cs. – Víg P.) Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 213-228.
- Berki I.; Rasztovícs E. és Móricz N. (2014): Erdőállományok egészségi állapotának értékelése – egy új megközelítés. *Erdészeti Tudományos Közlemények* 4(2): 149-155.
- Bernhard, D.; Fritsch, G.; Glöckner, P. and Claus, W. (2005): Molecular insights into speciation in the *Agrilus viridis*-complex and the genus *Trachys* ( *Coleoptera* : *Buprestidae* ), *European Journal of Entomology*, vol. 102, 2005, pp. 599-605.
- Bolte, A.; Ammer, C.; Löf, M.; Madsen, P.; Nabuurs, G.-J.; Schall, P.; Spathelf, P. and Rock, J. (2009) 'Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept', *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24: 6, 473 — 482 DOI: 10.1080/02827580903418224
- Bolvanský, M.; Adamčíková, K. and Kobza, M. (2014): Screening resistance to chestnut blight in young chestnut trees derived from *Castanea sativa* × *C. crenata* hybrids. *Folia Oecol.*, 41: 1–7.
- Borhidi A. (2007): *Magyarország növénytársulásai*. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Borovics A. és Mátyás Cs. (2013): Szemünk előtt zajló evolúció. Változó környezet, alkalmazkodó erdőtakaró – A MTA Agrártudományok Osztálya Erdészeti Tudományos Bizottsága ünnepi tudományos ülése prof. dr. dr. hc. Mátyás Csaba akadémikus születésének 70. évfordulója alkalmából, 2013 nov. 26, Budapest

- Bošela, M.; Štefančík I.; Petráš R. and Vacek S. (2016): The effects of climate warming on the growth of European beech forests depend critically on thinning strategy and site productivity. *Agricultural and Forest Meteorology* 222:21–31. DOI: 10.1016/j.agrformet.2016.03.005
- Bréda, N.; Huc, R.; Granier, A. and Dreyer, E. (2006): Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences, *Annals of Forest Science*, 63: 625-644.
- Cannell, M. G. R. and Sparks, T. H. (2008): Review of UK Climate Change Indicators. Health of Beech Trees in Britain. [www.ecn.ac.uk/iccuk](http://www.ecn.ac.uk/iccuk)
- Cavin, L. and Jump A. S. (2016): Highest drought sensitivity and lowest resistance to growth suppression are found in the range core of the tree *Fagus sylvatica* L. not the equatorial range edge. *Global Change Biology* doi: 10.1111/gcb.13366
- Cech, T. L. (2010): Fungal diseases in Austrian trees 2010. *Forstschutz Aktuell* 2010 (50): 7-10. ISSN1815-5103
- Comps, B.; Gömöry, D.; Letouzey, J.; Thiébaud, B. and Petit, R. J. (2001): Diverging trends between heterozygosity and allelic richness during postglacial colonization in the European beech. *Genetics*, 157: 389-397
- Corcobado, T.; Cech, T.L.; Brandstetter, M.; Daxer, A.; Hüttler, C.; Kudláček, T.; Horta Jung, M. and Jung, T. (2020): Decline of European beech in Austria: involvement of *Phytophthora* spp. and contributing biotic and abiotic factors. *Forests* 11, 895. <https://doi.org/10.3390/f11080895>
- Coulson, S. J. and Bale, J. S. (1996): Supercooling and survival of the beech leaf mining weevil *Rhynchaenus fagi* L. (*Coleoptera: Curculionidae*). *Journal of Insect Physiology* 42(7):617-623. DOI: 10.1016/0022-1910(96)00022-4
- Czúcz B.; Gálhidy L. és Mátyás Cs. (2013): A bükk és a kocsánytalan tölgy elterjedésének szárazsági határa. *Erdészettudományi Közlemények* 3(1): 39-53.
- Csóka Gy. (1997): Gubacsok. Agroiinform Kiadó, Budapest
- Csóka Gy. (2003): Levélaknák és levélaknázók. Agroiinform Kiadó, Budapest
- Csóka Gy.; Koltay A.; Hirka A. és Janik G. (2007): Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyeseink és bükköseink egészségi állapotára. *Erdő és Klíma* V. szerk. Mátyás Cs. & Víg P. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 229-239.
- Csóka Gy.; Koltay A.; Hirka A. és Janik G. (2008): A bükk biotikus és abiotikus kárai. "Kutatással az erdőért" - az Erdészeti Kutatások digitális, ünnepi különszáma az OEE 139. Vándorgyűlése tiszteletére. 135-149.
- Csóka Gy.; Hirka A.; Koltay A. és Kolozs L. (2013): Erdőkárok, képes útmutató. Nébih-EI és ERTI, Budapest
- Csóka Gy.; Koltay A.; Hirka A. és Janik G. (2008): A bükk biotikus és abiotikus kárai. "Kutatással az erdőért" - az Erdészeti Kutatások digitális, ünnepi különszáma az OEE 139. Vándorgyűlése tiszteletére. 135-149.
- Csóka Gy.; Koltay A.; Hirka A. és Janik G. (2009): Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyesek és bükkösök egészségi állapotára. 'Klíma-21' Füzetek 57: 64–73.
- Danszky I. (szerk. ) (1972): Erdőművelés I.-II. Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest
- Danti, R.; Sieber, T. N. and Sanguineti, G. (2002): Endophytic mycobiota in bark of European beech (*Fagus sylvatica*) in the Apennines. *Mycological Research*, 106, pp 1343-1348. doi:10.1017/S0953756202006779.

- Del Río, S.; Álvarez-Esteban, R.; Cano, E.; Pinto-Gomes, C. and Penas, Á. (2018) Potential impacts of climate change on habitat suitability of *Fagus sylvatica* L. forests in Spain, Plant Biosystems, DOI: 10.1080/11263504.2018.1435572
- Delb, H. (2006): The current practice of forest pest monitoring in the southwest of Germany. IUFRO Working Party 7.03.10 Proceedings of the Workshop 2006, Gmunden/Austria 86-99.
- Dittmar, C.; Fricke, W. and Elling, W. (2006): Impact of late frost events on radial growth of common beech (*Fagus sylvatica* L.) in Southern Germany. Eur. J. Forest. Res. 125: 249–259.
- Dziedek, C.; Oheimb, G. von; Calvo, L.; Fichtner, A.; Kriebitzsch, W.-U.; Marcos, E.; Pitz, W. T. and Härdtle, W. (2016): Does excess nitrogen supply increase the drought sensitivity of European beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings? Plant Ecology 217(4):393-405 DOI 10.1007/s11258-016-0581-1
- European Forest Genetic Programme (2009): *Fagus sylvatica*, European beech. <http://www.euforgen.org/species/fagus-sylvatica/>
- Ehrlich, J. (1934): The beech bark disease. A *Nectria* disease of *Fagus* following *Cryptococcus fagi* (Baer.) Canadian Journal of Forest Research 10, Spec No. 593-692.
- Eschrich, W.; Burchardt, R. and Essiamah, S. (1989): The induction of sun and shade leaves of the European beech (*Fagus sylvatica* L.): anatomical studies. Trees (1989) 3:1-10.
- Élesztős L. és Rostás S. (Főszerk.) (1995): Magyar nagylexikon IV. (Bik–Bz). Akadémiai Kiadó Budapest. 839. o. ISBN 963-05-6928-0
- Flannigan, M. D.; Stocks, B.J.; and Wotton, B.M.(2000): Climate change and forest fires. Science of The Total Environment 262 (3): 221-229. ISSN 0048-9697, [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00524-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00524-6). (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969700005246>)
- Führer E. (1987): Vizsgálati módszer az erdőkárok értékelésére a 16x16 km-es nemzetközi rácsháló sarokpontjainak etalonállományában. Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei (1-2): 69-74.
- Führer E. (1992): A hazai erdők egészségi állapotával kapcsolatos ökológiai vizsgálatok. Erdészeti Lapok 127 (6): 180-182.
- Führer E. (1995): Az időjárás változásának hatása az erdők fatermő képességére és egészségi állapotára. Erdészeti Lapok 130 (6): 176-178.
- Führer E. (2010): A Fák növekedése és a klíma. „KLÍMA-21” Füzetek 61:98-107.
- Führer E. (2018): A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 27-42. DOI: 10.17164/EK.2018.002
- Führer, E.; Horváth, L.; Jagodics, A.; Machon, A. and Szabados, I. (2011a): Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. Időjárás 115 (3): 205-216.
- Führer E. (1989): Kocsánytalan tölgyes állományok megbetegedése és az időjárás közötti összefüggés elemzése. Az Erdő 38 (7): 296-296.
- Führer E.; Marosi Gy.; Jagodics A. és Juhász I. (2011b): A klímaváltozás egy lehetséges hatása az erdőgazdálkodásban. Erdészettudományi Közlemények 1(1): 17-28.
- Führer, E.; Edelényi, M.; Horváth, L.; Jagodics, A.; Jereb, L.; Kern, Z.; Móring, A.; Szabados, I. and Pödör, Z. (2016). Effect of weather conditions on annual and intra-annual basal area increments of a beech stand in the Sopron Mountains in Hungary. Idojaras (Budapest, 1905). 120: 127-161.
- Führer E. és Járó Z. (2000): Az aszály és a belvíz érvényesülése a Nagyalföld erdőművelésében. Erdészeti Tudományos Intézet kiadványai 12., Budapest

- Garamszegi, B. and Kern, Z. (2014): Climate influence on radial growth of *Fagus sylvatica* growing near the edge of its distribution in Bükk Mts., Hungary. *Dendrobiology*, 72, 93–102.
- Gálos B. és Führer E. (2018): A klíma erdészeti célú előrejelzése. *Erdészettudományi Közlemények*, 8(1): 43-55. DOI: 10.17164/EK.2018.003
- Gálos, B.; Daniela Jacob, D. and Mátyás, Cs. (2011): Effects of Simulated Forest Cover Change on Projected Climate Change – a Case Study of Hungary. *Acta Silv. Lign. Hung.*, 7: 49–62.
- Gencsi Z. és Vancsura R. (1995): *Dendrológia*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Georgieva, M. ; Georgiev, G. ; Petkov, P. ; Zaemdzhikova, G. ; Matova, M. ; Filipova, E. and Mirchev, P. (2019): Health status of beech (*Fagus sylvatica*) forests in Bulgaria in the period 2009-2018. *Nauka za Gorata* 2019 55(2): 95-104.
- Giagli, K.; Gričar, J.; Vavrčik, H.; Menšík, L. and Gryc, V. (2016): The effects of drought on wood formation in *Fagus sylvatica* during two contrasting years. *IAWA Journal* 37 (2): 332–348.
- Góber Z. (2005): A ZALAERDŐ Rt. kezelésében lévő területeken 2004-ben végbement erdőpusztulás értékelése. *Erdészeti Lapok*, 140(5): 156-159.
- Gora, V.; König, J. and Lunderstadt, J. (1994a): Physiological defence reactions of young beech trees (*Fagus sylvatica*) to attack by *Phyllaphis fagi*. *Forest Ecology And Management* 70(1-3):245-254. DOI: 10.1016/0378-1127(94)90090-6
- Gora, V.; Starke, R.; Ziehe, M.; König, J.; Müller-Starck, G. and Lunderstädt, J. (1994b): Influence of genetic structures and silvicultural treatments in a beech stand (*Fagus sylvatica*) on the population dynamics of beech scale (*Cryptococcus fagisuga*). *Forest Genetics* 1(3): 157-164. ISSN 1335-048X
- Gömöry, D.; Paule, L. and Vyšný, J. (2007): Patterns of allozyme variation in western-Eurasian beeches. *Bot. J. Linn. Soc.*, 154: 165-174
- Graf Pannatier, E.; Dobbertin, M.; Schmitt, M.; Thimonier, A. and Waldner P. (2007): Effects of the drought 2003 on forests in swiss level II plots, In: Eichhorn, J. (ed.) *Symposium: forests in a changing environment – results of 20 years ICP Forests monitoring*, Göttingen: Sauerländer.
- Granier, A.; Bréda, N.; Biron, P. and Villette, S. (1999): A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecol. Model.*, 116: 269–283.
- Gwiazdowski, R. A.; Van Driesche, R. G.; Desnoyers, A.; Lyona, S.; San-an Wu, S.; Kamata, N. and Normark, B. B. (2006): Possible geographic origin of beech scale, *Cryptococcus fagisuga* (Hemiptera: Eriococcidae), an invasive pest in North America. *Biological Control* 39(1): 9-18.
- Győrfi, J. (1937): Erdőgazdaságilag fontosabb díszbogarak. *Erdészeti Lapok*, vol. 76, 1937, pp. 711-721.
- Győrfi, J. (1963): *Erdővédelemtan*, Budapest (Hungary): Akadémiai Kiadó
- Hartmann, G. and Blank, R. (1998): Buchensterben auf zeitweise nassen Standorten unter Beteiligung von Phytophthora-Wurzelfäule. *Forst und Holz* 53(7): 187-190., 192-193. ISSN 0932-9315
- Heering, H. (1956): Zur Biologie, Ökologie und zum Massenwechsel des Buchenprachtkäfers (*Agilus viridis* L.). I. Teil., *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, vol. 38, 1956, pp. 249-287.
- Hirka A. és Csóka Gy. (2008): 2007: az abiotikus erdőkárok éve. *Erdészeti Lapok* 143(1): 12-14.

- Hirka A., Csóka Gy., Koltay A., Janik G. és Szabóky Cs. (2008): Új megszállók - terjeszkedő rovarfajok Közép-Európa erdeiben. Erdészeti Lapok, CXLIII. évf., p. 208.
- Hirka A., Szabóky Cs., Szőcs L. és Csóka Gy. (2011): 50 éves az erdészeti fénycsapda hálózat. Erdészeti Lapok 146(12): 378-380.
- Horváth, A. and Mátyás, Cs. (2016): The decline of vitality caused by increasing drought in a beech provenance trial predicted by juvenile growth. South-east European Forestry 7 (1): early view. DOI: <http://dx.doi.org/10.15177/seefor.16-06>
- Houston, D. R.; Parker, E. J.; Perrin, R. and Lang, K. J. (1979): Beech bark disease: A comparison of the disease in North America, Great Britain, France and Germany. Eur. J. For. Pathol. 9: 199-211.
- Hrašovec, B.; Pernek, M.; Diminić, D. and Pilas, I. (2005): The up rise of xylophagous insect populations in Croatia as a consequence of climatic changes. in: Priwitzer, T. ed. (2005): Climate Change – Forest Ecosystems & Landscape, 19–22 October 2005, Zvolen 31-34.
- Igmándy Z. (1991): A magyar erdők taplógombái. Akadémiai kiadó, Budapest
- Innes, J. L. (1992): Observations on the Condition of Beech (*Fagus sylvatica* L.) in Britain in 1990. Oxford Journals Forestry 65 (1): 35-60.
- Innes, J. L. and Boswell, R. C. (1990): Reliability, presentation, and relationships among data from inventories of forest condition. Canadian Journal of Forest Research, 20(6): 790-799.
- IPCC 2007 Climate Change (2007): The Physical Science Basis. In: Solomon, S. – Qin, D. – Manning, M. (eds.) Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J. et al. (eds)]. Cambridge, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA
- Iversen T. and Harding S. (2007): Life table parameters affecting the population development of the woolly beech aphid, *Phyllaphis fagi*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 123(2): 109–117.
- Jackson, M. (1997): Hormones from roots as signals for the shoots of stressed plants, Trends in Plant Science, 2: 22-28.
- Janik G., Tóth J., Csóka Gy., Szabóky Cs., Hirka A. és Koltay A. (2008): Az erdészeti jelentőségű cserebogarak életmódja. Az Erdészeti kutatások digitális, ünnepi különszáma az OEE 139. Vándorgyűlésének tiszteletére, cikkgyűjtemény, pp. 350-380.
- Janik, G.; Hirka, A.; Koltay, A.; Juhász, J. és Csóka, Gy. (2015): 50 év biotikus kárai a magyar bükkösökben. Erdészettudományi Közlemények 6(1):45-60. DOI: 10.17164/EK.2016.005
- Janik, G.; Pödör, Z.; Koltay, A.; Hirka, A.; Juhász, J.; Kovács, Gy. and Csóka, Gy. (2020): Effects of meteorological and site parameters on the health status of beech (*Fagus sylvatica* L.) forests in Hungary. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, 16 (2). pp. 67-78. ISSN 1786-691X
- Járó, Z. (1972): A termőhely fogalma. In: Danszky I. (szerk.): Erdőművelés I. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 47-87.

- Jarzyna, K. (2021): Climatic hazards for native tree species in Poland with special regards to silver fir (*Abies alba* Mill.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Theor Appl Climatol.* <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03550-y>
- Jensen, P. B. (2006): Formation of Galls by *Mikiola fagi*. *Physiologia Plantarum* 1(1):95 – 108. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1948.tb07113.x
- Jönsson, U.; Jung, T.; Sonesson, K. and Rosengren, U. (2005): Relationships between health of *Quercus robur*, occurrence of *Phytophthora* species and site conditions in southern Sweden. *Plant Pathology* 54, 502–511. Doi: 10.1111/j.1365-3059.2005.01228.x
- Jump A. S. and Peñuelas J. (2007): Extensive spatial genetic structure revealed by AFLP but not SSR molecular markers in the wind-pollinated tree *Fagus sylvatica*. *Mol. Ecol.*, 16: 925-936.
- Jump, A. S.; Hunt, J. M. and Peñuelas, J. (2006): Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology* 12: 2163–2174. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01250.x>
- Jung T. and Osswald W. (eds.) (2004): Progress in research on *Phytophthora* diseases of forest trees. Proceedings of the Third International IUFRO Working Party S07.02.09 Meeting at Freising, Germany, 11–18 September 2004
- Jurc, M. (1997): European beech. Insects and mites on leaves. *Gozdarski vestnik* 65(5-6.): 193-208.
- Kamp, H. J. (1952): Zur Biologie, Epidemiologie und Bekämpfung des Buchenprachtkäfers (*Agrilus viridis* L.), *Mitteilungen der Württembergischen Forstlichen Versuchsanstalt*, vol. 9, 1952, p. 40.
- Kamp, H. J. (1956): Buchenprachtkäfer-Kalamitat auf der Schwabischen Alb. *Allg. Forstzeitschr.* 11(2): 26-29.
- Kiss L. L. (1972): Fenológiai, morfológiai jellegek és a bükk fagyérzékenysége. *Az Erdő* 21(8): 369-371.
- Knutzen, F.; Meier, I. C. and Leuschner, C. (2015): Does reduced precipitation trigger physiological and morphological drought adaptations in European beech (*Fagus sylvatica* L.)? Comparing provenances across a precipitation gradient. *Tree Physiology* 00 1-15 DOI: 10.1093/treephys/tpv057
- Kolozsár, J. (2010): Erdőismerettan. Egyetemi jegyzet. NYME Erdőmérnöki Kar, Sopron
- Koltay, A. (2004): Erdővédelmi monitoring rendszerek Magyarországon. [Monitoring systems in forest protection in Hungary.] *Erdészeti Lapok* 139(9): 270-272.
- Kot, I. and Kmiec, K. (2012): Study on intensity of infestation, biology and harmfulness of woolly beech aphid (*Phyllaphis fagi* L.) on *Fagus sylvatica* (L.). *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 11(1): 3-11.
- Krabel, D. and Petercord, R. (2000): Genetic diversity and bark physiology of the European beech (*Fagus sylvatica*): a coevolutionary relationship with the beech scale (*Cryptococcus fagisuga*). *Tree Physiology* 20: 485–491.
- Králíček, I.; Vacek, Z.; Vacek, S.; Remeš, J.; Bulušek, D.; Král, J.; Štefančík, I. and Putalová, T. (2017): Dynamics and structure of mountain autochthonous spruce-beech forests: impact of hilltop phenomenon, air pollutants and climate. *Dendrobiology*, 77: 119-137.
- Kunca, A. and Leontovyč, R., (1999): Relationship between beech bark wounds and bark necrosis and possible methods to control bark necrosis. *Lesnícky časopis - Forestry Journal* 45 (5 - 6): 317 – 324.
- Kundzewicz, Z. W.; Ulbrich, U.; Brücher, T.; Graczyk, D.; Krüger, A.; Leckebusch, G. C.; Menzel, L.; Pińskwar, I.; Radziejewski, M. and Szwed, M. (2005): Summer



- Floods in Central Europe – Climate Change Track? Natural Hazards volume 36, pages 165–189.
- La Spina, S.; De Cannière, C.; Dekri, A. and Grégoire, J.-C. (2012): Frost increases beech susceptibility to scolytine ambrosia beetles. *Agricultural and Forest Entomology* 15(2): 1-11. DOI: 10.1111/j.1461-9563.2012.00596.x
- Laibner, S. (2000): Elateridae of the Czech and Slovak Republics. (Elateridae CÖeské a Slovenské re-publiky.) Kabourek, Zlín
- Lakatos, F. and Molnár, M. (2009): , Mass Mortality of Beech (*Fagus sylvatica* L.) in South-West Hungary. *Acta Silvatica & Lingaria Hungarica*, vol. 5, 2009, pp. 75-82.
- Lebourgeois F., Bréda N., Ulrich E. & Granier A. (2005): Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Trees* 19: 385–401.
- Levey, B. (1977): “Coleoptera: Buprestidae,” *Royal Entomological Society of London Handbook*, 1977, p. 5(1b).
- Ling, K. A.; Power, S. A. and Ashmore, M. R. (1993): A survey of the health of *Fagus sylvatica* in Southern Britain. *Journal of Applied Ecology* 30(2): 295-306.
- Lonsdale, D. (1980): *Nectria coccinea* infection of beech bark: variations in disease in relation to predisposing factors. *Ann. Sci. forest.*, 37(4): 307-317.
- Lonsdale, D. and Wainhouse, D. (1987): Beech Bark Disease. *Forestry Commission Bulletin* 69.
- Lorenz, M. and Becher, G. (eds.) (2012): Forest Condition in Europe, 2012 Technical Report of ICP Forests. Work Report of the Thünen Institute for World Forestry 2012/1. ICP Forests, Hamburg, 2012.
- Low, M.; Herbinger, K.; Nunn, A. J.; Haberle, K.-H.; Leuchner, M.; Heerdt, C.; Werner, H.; Wipfler, P.; Pretzsch, H.; Tausz, M. and Matyssek, R. (2006): Extraordinary drought of 2003 overrules ozone impact on adult beech trees (*Fagus sylvatica*). *Trees* 20(5): 539-548.
- Luchi, N.; Capretti, P.; Feducci, M.; Vannini, A.; Ceccarelli, B. and Vettraino, A. M. (2015). Latent infection of *Biscogniauxia nummularia* in *Fagus sylvatica*: a possible bioindicator of beech health conditions. *iForest* (early view). – doi: 10.3832/ifor1436-008 [online 2015-06-18]
- Lübbe, T.; Schuldt, B. and Leuschner, C. (2015) Species identity and neighbor size surpass the impact of tree species diversity on productivity in experimental broad-leaved tree sapling assemblages under dry and moist conditions. *Frontiers in Plant Science* 6:857. doi: 10.3389/fpls.2015.00857
- Majer, A. (1972): Lassan növő lombos állományok nevelése. in: Danszky, I. (szerk.) (1972): Erdőművelés II. Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest 130-166.
- Magri, D. (2008): Patterns of post-glacial spread and the extent of glacial refugia of European beech (*Fagus sylvatica*) . *Journal of Biogeography* 35, 450–463
- Magri, D.; Vendramin, G. G.; Comps, B.; Dupanloup, I.; Geburek, T.; Gömöry, D.; Latalowa, M.; Litt, T.; Paule, L.; Roure, J. M.; Tantau, I.; Knaap, van der W. O.; Petit, R. J. and Beaulieu, de J.-L. (2006): A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist* 171(1): 199-221.
- Manninger M., Edelényi, M., Pödör, Z. és Jereb, L. (2011): Alkalmazott elemzési módszerek a környezeti tényezők fák növekedésére gyakorolt hatásának vizsgálatában. *Erdészettudományi Közlemények*, 1(1), 59-70.

- Mátyás Cs. (2002): Erdészeti-természetvédelmi genetika. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Mátyás Cs. (szerk.) (1997): Erdészeti ökológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Mátyás, Cs.; Berki, I.; Czúcz, B.; Gálos, B.; Móricz, N. and Rasztovits, E. (2010): Future of beech in southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* (6): 91-110.
- Mátyás, Cs.; Bogdan, S.; Božic, G.; Gömöry, D.; Herke, Z. and Ivanković, M. (2010): Experiences regarding the juvenile adaptive potential of beech based on provenance trials in SE Europe. *FAGUS 2010 International Scientific Symposium*, 2010 oct. 27-29. Varaždin (Croatia) – Zala county (Hungary)
- McCullough, G. D.; Heyd, R. and O'Brien, J. G. (2003): Biology and Management of Beech Bark Disease Michigan's Newest Exotic Forest Pest. Michigan Society of American Foresters.
- McManus, M. and Csóka, Gy. (2007): History and impact of gypsy moth in north America and comparison to recent outbreaks in Europe. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 3: 47-64.
- Meier, I. C. and Leuschner, C. (2008a): Leaf size and leaf area index in *Fagus sylvatica* forests: competing effects of precipitation, temperature and nitrogen availability. *Ecosystems* 11: 655–669
- Meier, I. C. and Leuschner, C. (2008b): Genotypic variation and phenotypic plasticity in the drought response of fine roots of European beech. *Tree Physiology* 28: 297–309.
- Metz, J.; Annighöfer, P.; Schall, P.; Zimmermann, J.; Kahl, T.; Schulze, E.-D. and Ammer, C. (2016), Site-adapted admixed tree species reduce drought susceptibility of mature European beech. *Global Change Biology* 22 (2): 903–920. doi:10.1111/gcb.13113
- Michel, A. and Seidling, W. (eds.) (2014): Forest Condition in Europe: 2014 Technical Report of ICP Forests. Report under the UNECE Convention on Long - Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP). Vienna: BFW Austrian Research Centre for Forests. BFW - Dokumentation 18/2014. 164 p.
- Mihál, I. and Cicák, A. (2001): Biotic vectors of beech necrotic disease of tracheomycotic type. *Ekológia (Bratislava)* 20(4): 404-413.
- Molnár, M. és Lakatos, F. (2007): A bükkpusztulás Zala-megyében – klímaváltozás? *Erdő és Klíma* V. szerk. Mátyás Cs. – Víg P. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 257-267.
- Molnár, Zs.; Bartha, S.; Seregélyes, T.; Illyés, E.; Botta-Dukát, Z.; Tímár, G.; Horváth, F.; A. Révész, Kun, A.; Bölöni, J.; Biró, M.; Bodoncz, L.; Deák, Á. J.; Fogarasi, P.; Horváth, A.; Isépy, I.; Karas, L.; Kecskés, F.; Molnár, Cs.; Ortmann-né Ajkai A. and Rév Sz. (2007): A grid-based, satellite-image supported multi-attributed vegetation mapping method (MÉTA), *Folia Geobotanica* 42: 225–247.
- Moricca, S. and A. Ragazzi, A. (2008): Fungal endophytes in Mediterranean oak forests: a lesson from *Discula quercina*. *Phytopathology* 98(4): 380-386
- Mölder, I. and Leuschner, C. (2014): European beech grows better and is less drought sensitive in mixed than in pure stands: tree neighbourhood effects on radial increment. *Trees* 28(3): 777–792. DOI 10.1007/s00468-014-0991-4
- Muskovits J. and Hegyessy, G. (2002) :Magyarország díszbogarai (*Coleoptera: Buprestidae*) - Jewel beetles of Hungary (*Coleoptera: Buprestidae*), Nagykovácsi (Hungary): Grafon Kiadó, 2002.

- Neiryneck, J. and Roskams, P. (1999): Relationships between crown condition of beech (*Fagus sylvatica* L.) and throughfall chemistry. *Water, Air, & Soil Pollution* 116/1–2: 389–394
- Nilsson S. G. (1985): Ecological and evolutionary interactions between reproduction of beech *Fagus sylvatica* and seed eating animals. *Oikos* 44(1): 157-164.
- Ódor, P. and- Standovár, T. (2011): Beech forests in Hungary – their status and researches on their biological values. *BfN-Skripten* 297, 107–115, Bonn-Bad Godesberg
- Olbrich, M.; Knappe, C.; Wenig, M.; Gerstner, E.; Häberle, K. H.; Kitao, M.; Matyssek, R.; Stich, S.; Leuchner, M.; Werner, H.; Schlink, K. -; Müller-Starck, G.; Welzl, G.; Scherb, H.; Ernst, D.; Heller, W. and Bahnweg, G. (2010): Ozone fumigation (twice ambient) reduces leaf infestation following natural and artificial inoculation by the endophytic fungus *Apiognomonia errabunda* of adult European beech trees. *Environ Pollut.* 2010 Apr;158(4):1043-50. doi: 10.1016/j.envpol.2009.09.020.
- Ognjenović, M.; Levanič, T.; Potočić, N.; Ugarković, D.; Indir, K. and Seletković, I. (2020): Interrelations of various tree vitality indicators and their reaction to climatic conditions on a european beech (*Fagus sylvatica* L.) plot. *Šumarski list*, 144 (7-8), 351-365. <https://doi.org/10.31298/sl.144.7-8.2>
- Ortutay Gy. (főszerk.) (1977): Magyar Néprajzi Lexikon. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Övergaard, R. (2010): Seed production and natural regeneration of beech (*Fagus sylvatica* L.) in north Sweden. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Pálfai, I. (1990): Description and forecasting of droughts in Hungary. *Proceedings 14th International Congress on Irrigation and Drainage*. Rio de Janeiro. Brazil. 1-C: 151-158.
- Pearson, K. (1901): On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philosophical Magazine*. 2 (11): 559–572 doi:10.1080/14786440109462720.
- Perrin, R. (1983): Specificity of *Cryptococcus fagisuga* and *Nectria coccinea* association in beech bark disease in Europe. In: *Proceedings, I.U.F.R.O. Beech Bark Disease Working Party Conference; 1982 September 26-October 8; Hamden, CT. Sponsored by the USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Gen. Tech. Rep. WO-37. [Washington, DC]: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 50-53.*
- Petercord, R. (2008): Untersuchungen zum Auftreten des Buchen-Prachtkäfers (*Agrylus viridis* L.) in Baden-Württemberg. 56. Deutsche Pflanzenschutztagung in Kiel.
- Pflug, E. E.; Buchmann, N.; Siegwolf, R. T. W.; Schaub, M.; Rigling, A. and Arend, M. (2018): Resilient leaf physiological response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to summer drought and drought release. *Frontiers in Plant Science* 9:187. doi: 10.3389/fpls.2018.00187
- Piso, C. (1886): A Máramarosmegyében 1885. évben előfordult káros rovarokról. *Erdészeti Lapok*, 25: 795-798.
- Polle, A.; Peltzer, D. and Schwanz, P. (2001): Resistance against oxidative stress in leaves of young beech trees grown in model ecosystems with different soil qualities, elevated CO<sub>2</sub>, and lachnid infestation. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 120(1): 1-7. DOI: 10.1007/BF02796075
- Popa, I.; Badea, O. and Silaghi, D. (2017). Influence of climate on tree health evaluated by defoliation in the ICP level I network (Romania). *iForest* 10: 554-560. – doi: 10.3832/ifor2202- 009 [online 2017-05-05

- Postner, M. (1974): *Scolytidae*, Borkenkäfer. In: Schwenke W.: Die Forstschädlinge Europas. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- Potočić, N.; Seletković, I.; Ugarković, D.; Jazbec, A. and Mikac, S. (2008): The influence of climate properties on crown condition of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) and Silver fir (*Abies alba* Mill.) on Velebit. *Periodicum Biologorum* 110(2): 145-150.
- Power, S. A.; Ashmore, M. R. & Ling, K. A. (1995): Recent trends in beech tree health in southern Britain and the influence of soil type. *Water, Air, and Soil Pollution* December (III) 85 (3): 1293-1298.
- Pödör, Z.; Edelényi, M. and Jereb, L. (2014): Systematic Analysis of Time Series - CReMIT. *Infocommunication Journal*, VI(1), 16-22.
- Ramirez, M.; Loo, J. and Krasowski, M. J. (2006): Evaluation of resistance to the beech scale insect (*Cryptococcus fagisuga*) and propagation of american beech (*Fagus grandifolia*) by grafting. *Silvae Genetica* 56(3-4): 163-169.
- Rozas, V.; Camarero, J. J.; Sangüesa-Barreda, G.; Souto, M. and García-González, I. (2015): Summer drought and ENSO-related cloudiness distinctly drive *Fagus sylvatica* growth near the species rear-edge in northern Spain. *Agricultural and Forest Meteorology* 201:153-164 DOI: 10.1016/j.agrformet.2014.11.012
- Rummukainen, M. (2012), Changes in climate and weather extremes in the 21st century. *WIREs Clim Change*, 3: 115-129. doi:10.1002/wcc.160
- Schardt, M.; Fauster, B.; Gruppe, A. and Schopf, R. (2006): Einfluss der Blattposition auf Befallshäufigkeit und Entwicklungserfolg von *Rhynchaenus fagi* L. (*Coleoptera: Curculionidae*) an Buche (*Fagus sylvatica* L.). *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie* 15: 41-44.
- Schmutterer H. (1974): *Coccidae(Lecaniidae)*, Napfschildläuse. In: Schwenke W.: Die Forstschädlinge Europas. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- Schönherr, J. (1974): *Buprestidae*, Prachtkäfer. In: Schwenke W.: Die Forstschädlinge Europas. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- Schönherr, J.; Krautwurst, K. and Rössler, W. (1983): Schadinsekten in Buchenaltholzbeständen. *Allgemeine Forstzeitschrift* (50): 1361-1364. 19840691192
- Schönherr, Von J. and Krautwurst, K. (1979): Beobachtungen über den Buchenborkenkäfer *Taphrorychus bicolor* Hbst. (*Col., Scolytidae*). *Anzeiger fuer Schaedlingskunde*. 52(11):161.
- Schröter, H.; Delb, H. and Metzler, B. (2004): Waldschutzsituation. Forstliche Versuchs – und Forschungsanstalt Baden Württemberg.
- Schwenke, W. (ed.) (1974): Die Forstshädlinge Europas, Hamburg und Berlin: 1974.
- Seletković I., Potočić N., Ugarković D., Jazbec A., Pernar R., Seletković A. & Benko M. (2009): Climate and relief properties influence crown condition of common beech (*Fagus sylvatica* L.) on the Medvednica massif. *Periodicum Biologorum* 111(4): 435-441.
- Sieber, T. N. (2007): Endophytic fungi in forest trees: are they mutualists? *Fungal Biology Reviews* 21 (2-3): 75-89. doi:10.1016/j.fbr.2007.05.004
- Siedling, W. (2007): Signals of summer drought in crown condition data from the German Level I network. *Eur. J. Forest. Res.* 126/4: 529-544
- Simon, M. (1995): Untersuchungen zu an Buche (*Fagus sylvatica* L.) lebenden Borkenkäfern (*Col., Scolytidae*). *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie* 10 (1-6): 161-165. ISSN 0344-9084

- Skuhrava, M. and Skuhravy, V. (1994): European gall midges (*Diptera: Cecidomyiidae*): their host plants and environment. In: Price, P. W.; Mattson, J. W. and Baranchikov, Y. N. (eds.): The ecology and evolution of gall-forming insects. USDA Forest Service, NC-174: 93-95.
- Somogyi Z. (2007): A klíma, a klímaváltozás és a fanövedék néhány összefüggéséről. Erdő és Klíma V. szerk. Mátyás Cs. – Víg P. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron 295-306.
- Stribley, G. H. and– Ashmore, M. R. (2002): Quantitative changes in twig growth pattern of young woodland beech (*Fagus sylvatica* L.) in relation to climate and ozone pollution over 10 years. Forest Ecol. Manag. 157: 191–204
- Szabados, I. (2007): Időjárási fluktuáció hatása a produkcióra dendrokronológiai kutatások alapján. Erdő és Klíma V. szerk. Mátyás Cs. – Víg P. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron 295-306.
- Szabó, I. (1991): A bükk levélszáradását okozó gomba [*Apiognomonina errabunda* (Rob.) Höhn.] fellépéséről. Erdészeti Lapok 126(12): 358-359.
- Szabó, I. (2003): Erdei fák betegségei. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
- Szabóky, Cs. és Leskó, K. (1999): *Lepidoptera* – Lepkék. In: Tóth J. (ed.): Erdészeti rovartan. Agroinform Kiadó, Budapest
- Szalay-Marzsó, L. (1999): *Aphidoidea* – Levéltetvek. In: Tóth J. (ed.): Erdészeti rovartan. Agroinform Kiadó, Budapest
- Szentimrey, T.; Bihari, Z. and Szalai, S. (2005): Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis (MISH). Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 07310, 2005 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-07310
- Szontagh, P. (1986): A bükkösök védelme. In: Bondor, A. (ed.): A bükk. Akad. Kiadó Bp.: 137-140.
- Szontagh, P. (1989a): A kései fagyok szerepe a bükk korai pusztulásának kárláncolatában. Az Erdő 38(2): 65-66.
- Szontagh, P. (1989b): Rovarok okozta károk bükköseinkben. Állattani Közlemények 75: 107-112.
- Tallós P. (1968): Egyes erdészeti kártevők prognózis-készítésének kérdései (Die Frage der Forstschutzprognose der wichtigsten Forstschädlinge). Értekezés, Sárvár
- Timmermann, V.; Potočić, N.; Sanders, T.; Trotzer, S.; Seidling, W. (2017): Tree crown condition and damage causes., In: MICHEL, A. & SEIDLING, W. (eds.) Forest Condition in Europe: 2017 Technical Report of ICP Forests. Report under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (CLR-TAP). Vienna: BFW Austrian Research Centre for Forests.
- The Global Biodiversity Information Facility: GBIF Backbone Taxonomy, 2013-07-01. Accessed via <http://www.gbif.org/species/3203674> on 2014-11-25
- Tomalak, M. and Filipiak, A. (2014): *Bursaphelenchus fagi* sp. n. (*Nematoda: Parasitaphelenchidae*), an insect-pathogenic nematode in the Malpighian tubules of the bark beetle, *Taphrorychus bicolor* (Herbst.) (*Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae*), in European beech, *Fagus sylvatica* L. Nematology, 16(5): 591–606.
- Tóth J. (1975): *Coleoptera* fajok populációdinamikai vizsgálata fénycsapdákkal. Soproni Egyetem. Műszaki doktori értekezés.
- Tóth J. (szerk.) (1999): Erdészeti rovartan. Agroinform, Budapest, 480. ISBN: 963502696X

- Toti, L.; Viret, O.; Horat, G. and Petrini, O. (1993), Detection of the endophyte *Discula umbrinella* in buds and twigs of *Fagus sylvatica*. *European Journal of Forest Pathology*, 23: 147–152. doi: 10.1111/j.1439-0329.1993.tb00954.x
- Tuzson J. (1931): A zalamegyei bükkösök pusztulása. *Erdészeti Kísérletek* 33(3-4): 127-137.
- Uemura A.; Ishida A.; Nakano T.; Terashima I.; Tanabe H. and Matsumoto Y. (2000): Acclimation of leaf characteristics of *Fagus* species to previous-year and current-year solar irradiances, *Tree Physiology*, 20: 945-951.
- Vujanovic, V.; Kim, S.H.; Latinovic, J. and Latinovic, N. (2020): Natural fungicolous regulators of *Biscogniauxia destructiva* sp. nov. that causes beech bark tarcrust in Southern European (*Fagus sylvatica*) forests. *Microorganisms*, 8, 1999. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121999>
- Wainhouse, D. (1980): Dispersal of first instar larvae of the felted beech scale, *Cryptococcus fagisuga*. *Journal of Applied Ecology*, 17 (3): 523-532.
- Watson, R. T.; Zinyowera, M. C.; Richard, H. and Moss, R. H. (1998): The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group II. Cambridge University Press.
- Wellenstein, G. (1974): *Lymantriidae*, Trägspinner. In: Schwenke W.: Die Forstschädlinge Europas. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- Wisnovszky, K. szerk. (2015): Erdővagyon és erdőgazdálkodás Magyarországon. NÉBIH Erdészeti Igazgatóság, Budapest
- Wühlisch, von G. (2008): EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for European beech (*Fagus sylvatica*). Bioversity International, Rome, Italy.
- Zimmermann N.E.; Schmatz D.R. and Psomas A. (2013): Climate Change Scenarios to 2100 and Implications for Forest Management. In: Fitzgerald J. & Lindner M. (eds) 2013: Adapting to climate change in European forests – Results of the MOTIVE project. Pensoft Publishers, Sofia, 9–14.
- Zimmermann, J.; Hauck, M.; Dulamsuren, C. and Leuschner, C. (2015): Climate warming-related growth decline affects *Fagus sylvatica*, but not other broadleaved tree species in Central european mixed forests. *Ecosystems* 18(4): 560–572. doi:10.1007/s10021-015-9849-x