

DEBRECENI EGYETEM

KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

Prof. Dr. Holb Imre

egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezetők:

Prof. Dr. Csajbók József

egyetemi tanár

Prof. Dr. Rédei Károly

egyetemi tanár, az MTA doktora

**SZELEKTÁLT AKÁCFAJTÁK ÖKOLÓGIAI ÉS TERMESZTÉSI
TECHNOLÓGIAI ÉRTÉKELÉSE**

Készítette:

Ábri Tamás

doktorjelölt

Debrecen

2024

SZELEKTÁLT AKÁCFAJTÁK ÖKOLÓGIAI ÉS TERMESZTÉSI TECHNOLÓGIAI ÉRTÉKELÉSE

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
a Növénytermesztési és kertészeti tudományok tudományágban

Írta: Ábri Tamás okleveles növényorvos

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán doktori iskolája
(Növénytermesztési tudományok programja) keretében

Témavezetők:

Prof. Dr. Csajbók József
egyetemi tanár

Prof. Dr. Rédei Károly
egyetemi tanár, az MTA doktora

Az értekezés bírálói:	tudományos fokozat	aláírás
.....
.....
A bírálóbizottság: elnök:	tudományos fokozat	aláírás
.....
tagok:		
.....
.....
.....

Az értekezés védésének időpontja: 20...

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS.....	6
2.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	11
2.1.	A hazai akáctermesztés bemutatása	11
2.2.	A közönséges akác és a vizsgált akácfajták és fajtajelöltek jellemzése.....	13
2.2.1.	A közönséges akác bemutatása.....	13
2.2.2.	Az 'Üllői' akác ismertetése.....	14
2.2.3.	A 'Nyírségi' akác ismertetése.....	15
2.2.4.	A 'Jászkiséri' akác ismertetése	16
2.2.5.	'Vacsi', 'Homoki', 'Oszlopos', 'Bácska' fajtajelöltek ismertetése	17
2.2.6.	'PL251', 'PL040', 'NK1', 'NK2' fajtajelöltek bemutatása.....	20
2.3.	Termesztési technológiák bemutatása.....	21
2.3.1.	Terület- és talajelőkészítés.....	25
2.3.2.	Ültetés	26
2.3.2.1.	Szaporítóanyag, csemetetermelés	26
2.3.2.2.	Ültetési hálózat.....	28
2.3.2.3.	Az ültetés menete	29
2.3.3.	Ápolás	30
2.3.3.1.	Talajápolás	30
2.3.3.2.	Nyesés	30
2.3.3.3.	Növényvédelem.....	31
2.3.4.	Nevelővágások, növőtér-bővítés.....	34
2.3.5.	Véghasználat, rekultiváció.....	38
2.4.	Az akác növekedése és fatermése	39
2.5.	Az akác fitofiziológiájának áttekintése	39
2.5.1.	A legfontosabb élettani paraméterek jellemzése	39
2.6.	Vegetációs indexek (NDVI, GNDVI) irodalmi áttekintése	42
3.	ANYAG ÉS MÓDSZER.....	43
3.1.	A vizsgált területek jellemzése.....	43
3.1.1.	A 'Jászkiséri', 'Nyírségi' és 'Üllői' akácfajták kísérleti állományainak területének bemutatása	43
3.1.2.	A szentkirályi és a helvéciai kísérleti terület bemutatása	45

3.1.3.	A napkori kísérleti terület bemutatása	46
3.2.	Vizsgált erdőállományok és faültetvények jellemzése	48
3.2.1.	A szentkirályi kísérleti állomány jellemzése	48
3.2.2.	A helvéciai kísérleti állomány jellemzése	49
3.2.3.	A napkori kísérleti állomány jellemzése.....	49
3.3.	Állományfelvételek metodikája	51
3.3.1.	Szentkirály	51
3.3.2.	Helvécia	52
3.3.3.	Napkor	52
3.3.3.1.	Magassági és vastagsági növekedés vizsgálata.....	53
3.3.3.2.	Fitofiziológiai paraméterek és vegetációs indexek	53
3.3.3.3.	UAV-alapú mérés metodikája.....	55
3.3.3.4.	Növényegészségügyi vizsgálat.....	57
3.4.	Az adatfeldolgozás és értékelés metodikája.....	58
3.4.1.	Szentkirály	59
3.4.2.	Helvécia	60
3.4.3.	Napkor	60
4.	EREDMÉNYEK.....	61
4.1.	Szelektált akácfajták ('Jászkiséri', 'Nyírségi', 'Üllői') termesztési kísérleteinek értékelése.....	61
4.2.	Az 'Üllői' akác faállomány-szerkezeti vizsgálatának eredménye (Szentkirály 47H erdőrészlet mintaparcellája alapján).....	68
4.3.	A 'Bácska', 'Homoki', 'Oszlopos' és 'Vacsi' akác fajtajelöltek növekedésének értékelése szélsőségesen száraz (marginális) termőhelyen	74
4.4.	A 'Laposi', 'Napkori', 'Farkasszigeti' és 'Püspökladányi' akácklónok növekedési vizsgálatának értékelése, összevetve az 'Üllői' akáccal (Napkor).....	77
4.4.1.	2021. májusi és novemberi állományvizsgálatok eredménye.....	77
4.4.2.	A 2022-es év meteorológiai adatainak elemzése	82
4.4.3.	Megmaradás, magassági és vastagsági növekedés vizsgálatának eredménye (2022. április, valamint a 2022. május és augusztus hónapok közötti időszakban).....	84
4.4.4.	Ökofiziológiai vizsgálat eredménye	90
4.4.5.	Földi NDVI vizsgálat eredménye	102
4.4.6.	UAV-alapú állományvizsgálat.....	103

4.4.6.1.	A kísérleti terület domborzata - domborzatmodell (DTM).....	103
4.4.6.2.	Magasságmérő műszerek összehasonlítása.....	104
4.4.6.3.	UAV-alapú magasságmérés eredménye	106
4.4.6.4.	UAV-alapú NDVI és GNDVI mérés eredménye.....	107
4.4.7.	Növényegészségügyi vizsgálat	107
5.	KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	113
6.	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	121
7.	GYAKORLATBAN HASZNÁLHATÓ EREDMÉNYEK	123
8.	ÖSSZEFOGLALÁS	124
9.	SUMMARY	127
10.	IRODALOMJEGYZÉK.....	130
11.	PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN	152
12.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	158
13.	NYILATKOZAT.....	159
14.	MELLÉKLET.....	160

1. BEVEZETÉS

A közönséges akác (*Robinia pseudoacacia* L.) vagy fehér akác (angolul black locust, false locust, yellow locust; németül Gewöhnliche Robinie, Weiße Robinie, Falsche Akazie) növényrendszertani besorolás szerint a hüvelyesek (*Fabales*) rendjébe, a pillangósvirágúak (*Fabaceae*) családjába, *Robinia* L. nemzetségbe tartozik (II). Utóbbit Jean Robin-ről, a párizsi botanikus kert egykori igazgatójáról nevezte el Linné. Robin hozta be először az akácot Észak-Amerikából Európába a XVII. század elején (Huntley, 1990; Muller, 2004; Demené és Merzeau, 2007). Jelenleg kontinensünk egyik legelterjedtebb kemény fájú, lombos fafaja. Magyarországon, Ukrajnában, Lengyelországban, Romániában, valamint Olaszországban 200.000 ha-nál nagyobb területen van jelen. Meghatározó szereppel bír még Németország és Franciaország energetikai és környezetfejlesztési célú fásításaiban, erdőgazdálkodásában (Nicolescu et al., 2020). Európai országokon kívül Kínában és Dél-Koreában számít jelentős fafajnak, ahol főként száraz területek, erodált talajok, kopár hegyoldalak fásítására, valamint méhészeti célzattal ültetik (Huntley, 1990; Lee et al., 2004; Chen et al., 2007; Wang et al., 2012; Li et al., 2018a; Jiao et al., 2019; Kim et al., 2021; Martin, 2023). Óshazájában, az USA-ban nem tartozik az ottani erdőgazdálkodás főbb fafajai közé (Nicolescu et al., 2020).

Magyarországra a XVIII. század elején került (Vadas, 1911). Gyors növekedése, plasztikus termőhely-tűrése, kemény, tartós fája, valamint sokoldalú hasznosíthatósága (pl. faipar, energetika, méhészet, gyenge adottságú termőhelyek fásítása, agrárerdészet) miatt igen gyorsan elterjedt (Keresztesi, 1965; 1984; Molnár, 2008; Straker et al., 2015; Nicolescu et al., 2018; 2020; Honfy et al., 2023). Egyike a legjobb méztermelő növényeinknek. Egy hektár akácerdő több mint 1500 kg kiváló minőségű mézet is adhat (Halmágyi és Keresztesi, 1975). Marginális termőhelyeken is megél, de a jó termőképességű (mély termőrétegű, tápanyagban gazdag), megfelelő vízháztartású, nem tömörödött, laza, kevésbé savanyú, közel semleges kémhatású homokos vályog, homok fizikaiféleséggel rendelkező talajokon növekszik legjobban (Járó és Lengyel, 1984; Meyer-Münzer et al., 2015; Vítková et al., 2015; Nicolescu et al., 2018; Rédei, 2020; Ciuvăţ et al., 2022). A Nemzeti Földügyi Központ adatai szerint (NFK, Országos Erdőállomány Adattár, 2022), napjainkban a hazai faállománnyal borított területek közel negyedén fordul elő. Fontos szerepet tölt be az alföldi erdőgazdálkodásban, az

ültetvénytípusban (Rédei, 2020). Ugyanakkor, pozitív tulajdonságai ellenére, nem szabad elmenni a nagy fényigényéből és erős gyökérkonkurenciájából adódó inváziós képessége, illetve társulás-képtelensége mellett (Bartha et al., 2006; Vítková et al., 2017). Nitrogénfixáló növényfajként irreverzibilis változásokat okozhat a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaiban. Többek között hatással van a lombkoronája alatti talajflóra fajösszetételére azáltal, hogy előnyben részesíti az úgynevezett ruderalis és a fajszegény neutrofil növény- és gyomtársulásokat, így megszünteti az erdőkre jellemző oligotróf és acidofil növénytársulásokat, ezzel csökkentve a növényi diverzitást (Kleinbauer et al., 2010; Benesperi et al., 2012; Cseresnyés és Csontos, 2012). A mikrofaunára is hatással van. Olyan faállományokban, ahol az akác inváziós fajként jelentkezik a talaj pH-ja számottevően alacsonyabb lesz, nitráttartalma pedig megnő. Ez a talaj mikrofaunájának, a biodiverzitás csökkenéséhez vezet (Lazzaro et al., 2018). Az akác különböző allelopatikus vegyületeket (pl. robinetin, miricetin és kvercetin) is termel, amelyek egyes növényfajok növekedésének gátlásával szintén befolyásolhatják a természetes területek ökológiai működését (Nasir et al., 2005; Nicolescu et al., 2020). Meg kell azonban jegyezni hogy, ezeket az allelopatikus hatásokat természetes körülmények között még nem vizsgálták, a jelenleg rendelkezésre álló szakirodalomból úgy tűnik, hogy a növényzet ruderalis és nitrofil fajok irányába történő változását inkább a talaj tápanyagellátottságának változása okozhatja (Vítková és Kolbek, 2010). Bár az előbbieket során részletezett negatív tulajdonságai miatt számos vita övezi a mai napig, az akác termesztés elismertségéhez nagymértékben hozzájárult, hogy 2014-ben az akácot és az akácmézet hungarikummá nyilvánították (I2) Magyarországon. 2019-ben pedig, Németországban, az év fájának („Baum des Jahres 2020”) választották (I3).

Ökonómiai haszna megkérdőjelezhetetlen, ezért meg kell találni az egyensúlyt a természetvédelmi szempontból értékes területekről való irtása és a fafaj ökológiai igényeinek megfelelő termőhelyeken történő termesztése között (Vítková et al., 2017).

A fehér akác termesztési technológiai szempontból számos kedvezőtlen tulajdonsággal (törzsgörbeség, villásság, mérsékelt iparifa-kihozatal) rendelkezik, ezért a törzsmínőség javítására, a fatermés fokozására, valamint gyors növekedésű, relatíve szárazságtűrő akácfajták létrehozására, a virágzás időtartamának elnyújtására és a virág nektártartalmának növelésére kutatások indultak az 1960-as években (Kopecky, 1965; Keresztesi, 1984; Rédei, 2006). Ez a Keresztesi Béla által vezetett, törzsfá szelekción alapuló kutatómunka tekinthető a hazai akáckutatás első szakaszának, melynek eredményeként, az Erdészeti Tudományos Intézet (ma Soproni Egyetem Erdészeti

Tudományos Intézet, továbbiakban SoE ERTI) kutatói számos akácfajtát szelektáltak (Benke és Keserű, 2022). Ezek közül az 'Üllői', a 'Jászkiséri' és a 'Nyírségi' fajták termesztési kísérleteinek részletesebb értékelésére kerülhetett sor (Keresztesi, 1988; Rédei, 2008; Rédei et al., 2017; 2020; Ábri et al., 2021, 2022a). Keresztesiék munkáját Rédei Károly és munkatársai folytatták. Az 1990-es években indult kutatómunka során a Duna-Tisza közti homokhátságon lévő akácosokban jelöltek ki és szaporítottak tovább kiváló tulajdonságú egyedeket, melyek ma fajtajelölti státuszban vannak. A relatíve szárazságtűrő fajtajelöltek ('Vacsi', 'Homoki', 'Bácska') kísérleti, termesztési technológiai eredményeit számos alkalommal publikálták (Rédei, 2006; Rédei et al., 2006; 2013a; 2013b; Keserű et al., 2021). Keresztesi és Rédei munkásságát alapul véve indult el a 2010-es években a SoE ERTI és Napkori Erdőgazdák Zrt. közös projektje, melynek célja a klímaváltozás negatív hatásainak ellenálló (szárazságtűrő), gyors fiatalkori növekedéssel, jó törzsalakkal rendelkező, magas iparifa kihozatalt produkáló akácfajták előállításának. Napjainkban az NK1, NK2, PL040, PL251 jelzésű klónokat az ország több pontján vizsgáljuk. Az említett klónok 2022-ben fajtajelölt státuszba kerültek.

A magyarországi akáctermesztéssel összefüggő kutatás-fejlesztési eredményeket és gyakorlati tapasztalatokat évtizedek óta széleskörű nemzetközi figyelem és együttműködési készség övezi. Tanulmányok, tudományos cikkek sokasága jelent meg külföldön (Keresztesi, 1983; 1988; Rédei et al., 2001; 2002; Lee et al., 2007; Rédei et al., 2006; 2008; 2017; Keserű et al., 2021; Ábri et al., 2021; 2022b), és az 1980-as évek végétől folyamatos a magyar akácfajta szaporítóanyagának exportja is. Kiemelendő a SoE ERTI és a dél-koreai erdészeti kutatók közös projektje (Lee et al., 2007; Keserű et al., 2021).

Figyelmet érdemlő, akác-innováció zajlik a világ számos országában (pl. USA, Németország, Lengyelország, Görögország, Bulgária, Kína, Dél-Korea). Főként itt zajlanak akáccal kapcsolatos kutatások és értek el jelentős sikereket az akáctermesztés területén (Barghchi, 1987; Hanover et al., 1991; Davis és Keathley, 1992; Chalupa, 1992; Chang et al., 1998; Dini-Papanastasi és Panetsos, 2000; DeGomez és Wagner, 2001; Liesebach et al., 2004; Lee et al., 2007; Zhang et al., 2007; Dini-Papanastasi, 2008; Dini-Papanastasi et al., 2012; Lu et al., 2015; Wojda et al., 2015; Dong et al., 2019; Nicolescu et al., 2020; Stankova et al., 2020; Yang et al., 2020; Kim et al., 2021; Kraszkiewicz, 2021; Lange et al., 2022; Szyp-Borowska et al., 2022).

Ezek közül is kiemelkedik Kína, ahol jelenleg is számos akáccal kapcsolatos kutatás zajlik. Érdeemes megemlíteni a több mint 100 kínai akácfajtát, mely e kutatások eredményességét tükrözi (Dong et al., 2019).

A szelektált akácfajtáknak elsősorban a tág hálózatu (min. $2,0 \times 1,5$ m), rövid vágásfordulójú (15-18 év) ipari célú faültvények létesítésénél lehet fontos szerepük. Az iparifa ültvényeknek a fokozódó minőségi faanyag iránt mutatkozó igény kielégítésében, ezáltal az őshonos fafajokból álló erdőkben végzett fakitermelés és az abból adódó környezetterhelés csökkentésében lehet nagy jelentőségük. Továbbá ezen faültvények ökonómiai fenntarthatóságot biztosítanak az erdőgazdaságoknak, melyből finanszírozni tudják a gazdasági szempontból kevésbé megtérülő természetes, valamint természet szerű erdők fenntartását. Ezen túlmenően az akác faültvények szénmegkötő és –tároló képességéről is érdemes említést tenni. Egy hektár akácos föld feletti dendromasszájának szénkészlete nagyjából 35 t. Ez a mennyiség – a többi fafajainkhoz (bükkösök, tölgyesek, cseresek, gyertyánosok) képest – a gyorsan növekvő akácosokban rövid vágásforduló alatt halmozódik fel (2 vagy több generációban nevelhető fel). Ez utóbbi tény a szénmegkötés szempontjából azért előnyös, mert a fafaj faanyagából tartós fogyasztási termékek készíthetők. Így az akác faültvényeknek az ökonómiai előnyökön túl környezetvédelmi jelentőségük is van (Rédei, 2006). Az utóbbi években tapasztalt hőhullámok, tartós aszály, egyenetlen csapadékeloszlás arra ösztönzik a hazai erdészeti szakembereket (kutatókat, erdőgazdálkodókat egyaránt), hogy a klímaváltozás negatív hatásainak ellenálló, a megváltozott környezeti feltételekhez adaptálódni képes fafajokat, fajtákat alkalmazzanak. Számos publikáció (Kis et al., 2017; Gálos és Führer, 2018; Mátyás et al., 2018; Szelepcsényi et al., 2018) jelent meg, mely Magyarországon a hazai erdészeti klímaosztályozás szerint legszárazabb, erdősztyepp klíma drasztikus növekedését prognosztizálja. Ilyen körülmények között jelentős szerepe lehet a relatíve szárazságtűrő akácnak a faültvények létesítésekor.

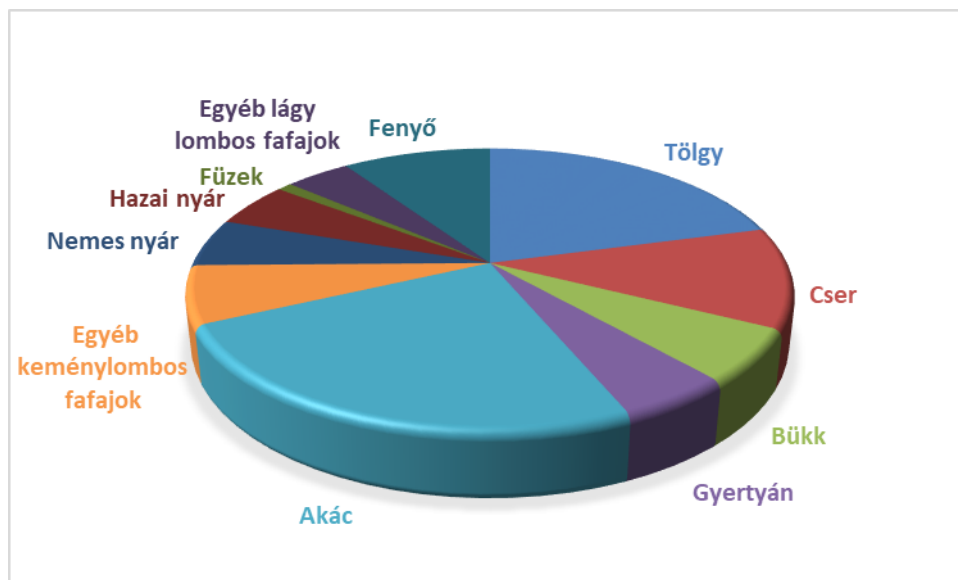
Dolgozatomban összegzem a több mint félszázados akáckutatás eredményeit, melyeket a legfrissebb faállomány-szerkezeti vizsgálatokkal egészítem ki. A hazánkban relatíve legelterjedtebb akácfajtákról ('Üllői', 'Nyírségi', 'Jászkiséri') nem készült még ilyen jellegű átfogó kutatómunka, így hiánypótlónak tekinthető. A magyar akáctermesztés, és annak fejlesztése világhírű. Napjainkban is számos, akác termesztési technológiájának fejlesztésével, új fajták előállításával foglalkozó kutatómunka zajlik. Ennek keretein belül több új klón, fajtajelölt tesztelése történik.

Az újonnan szelektált fajtajelölt klónokkal létesített kísérleti ültetvények közül kiemelendő a Napkor település közelében található akác ipari célú faültetvény, ahol a 'Laposi' (NK1), 'Napkori' (NK2), 'Farkasszigeti' (PL040) és 'Püspökladányi' (PL251) fajtajelöltek, valamint az államilag elismert 'Üllői' akác vizsgálata történik 3 különböző ültetési hálózatban. A kísérleti állományban a hagyományosnak tekinthető mérési metodikákat (megmaradás vizsgálata, magasság, tőátmérő, mellmagassági átmérő mérése) növényélettani paraméterek (vegetációs indexek, fotoszintetikus és transzspirációs ráta, vízhasznosítás) vizsgálatával egészítettem ki. Továbbá UAV-alapú állományvizsgálatot is végeztem.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

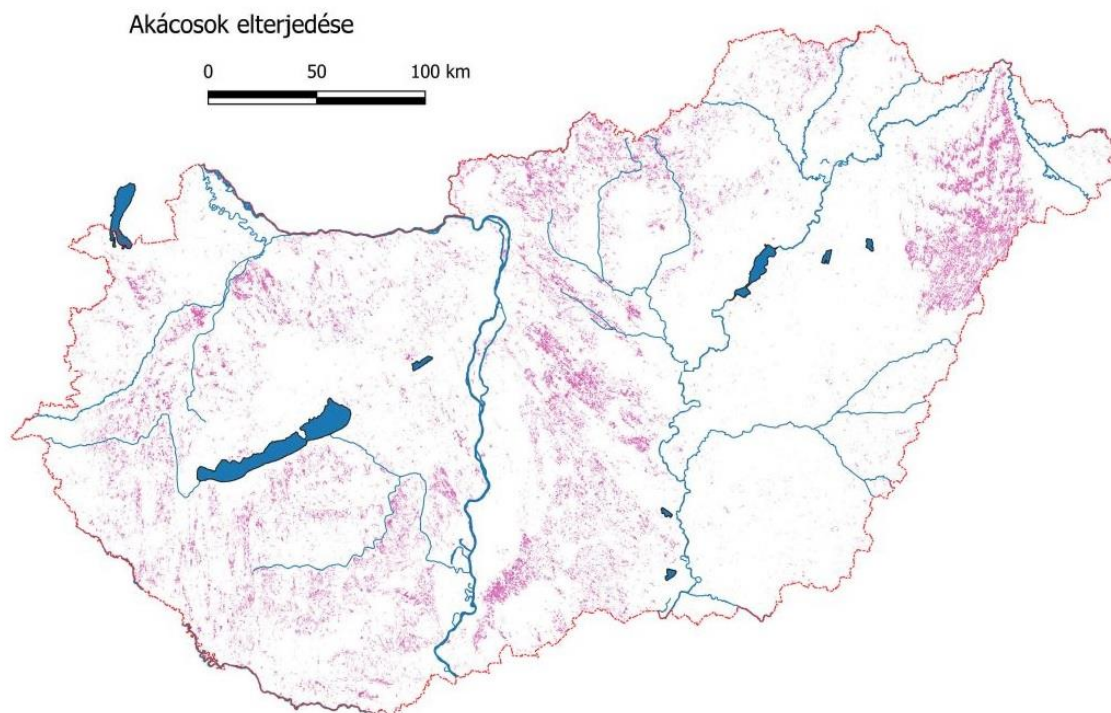
2.1. A hazai akáctermesztés bemutatása

Az akác a magyar erdőgazdálkodás egyik legfontosabb fajtája. Területe – a hazai erdőterületekkel egyidejűleg – az elmúlt évtizedek során folyamatosan növekedett (Keresztesi, 1988; Rédei, 2006; NFK, 2022). Az NFK (2022) legfrissebb adatai szerint az 1 875 926 ha kiterjedésű faállománnyal borított terület 24 %-án (459 135 ha) fordul elő (**1. ábra**). Akácosaink jelentős hányada (70 %) elsődleges célját tekintve a fatermesztést szolgálja. Érdeemes még megemlíteni a talajvédelmi céllal ültetett akácokat is, amelynek felülete 85 507 ha (az összes akác által elfoglalt terület 19 %-a).



1. ábra A legfontosabb erdészeti fajok megoszlása Magyarországon (NFK, 2022)

Az akác magyarországi elterjedését mutatja be a **2. ábra**. Országos arányánál nagyobb mértékben találhatók akácok a Nyírségben (Szabolcs-Szatmár-Bereg, Hajdú-Bihar vármegyék), a Duna-Tisza közén (Pest és Bács-Kiskun vármegyékben), a Dunántúlon (Zala, Somogy, Baranya és Tolna vármegyékben), illetve az északmagyarországi Nógrád vármegyében. A termőhelyi adottságok miatt Jász-Nagykun-Szolnok, Csongrád-Csanád, valamint Békés vármegyében a legkisebb az akác aránya (NFK, 2022).



2. ábra Akácok elterjedése Magyarországon (NFK, 2022)

A hazai akácok 27 %-a állami, közel 70 %-a pedig magántulajdonban van (a fennmaradó rész vegyes, illetve közös tulajdon) (NFK, 2022).

Korosztály szerinti besorolás alapján akácaink 28 %-a 21-30 éves, 26 %-a 11-20 éves, 18-18 %-a pedig az 1-10, valamint a 31-40 éves korosztályba sorolható. A fennmaradó 11 % teszi ki a 40 évesnél idősebb akácok által elfoglalt területet (NFK, 2022).

Az NFK kimutatása alapján az 56 252 838 m³ akác élőfakészleten (13,9 %-a az összes fafaj élőkészletének) évente (2005-2021 közötti időszak adatai alapján) átlagosan 3 212 557 m³ növedék keletkezik, ami 5,7 %-os évi élőfakészlet-gyarapodást jelent.

2021-ben 1 420 985 m³ (bruttó fatérfogat) akácot termeltek ki az erdőgazdálkodók, ez az összes fahasználat 19 %-a. A kitermelt akác faanyag választékok 80 %-a tűzifa, 20 %-a iparifa. Ez az arányszám bizonyítja akácaink kedvezőtlen minőségi összetételét. Mindezekből következően megállapítható, hogy a hazai akácállományok több mint egyharmada az ökonómiai küszöb alatt van (V-VI. fatermési osztályú állományok) (Rédei, 1984, 2006, 2020; NFK, 2022).

A mikroszaporítással vagy gyökérdugványról előállított, fatermesztési célú, illetve méhlegelő-javításra alkalmas fajták aránya csekély (pár száz hektár), aminek oka a magas szaporítóanyag költségeknek, illetve a képzett munkaerő hiányának tulajdonítható. Az iparifa célú akác ültetvények várható elterjedésével nagy valószínűséggel ez változni fog.

2.2. A közönséges akác és a vizsgált akácfajták és fajtajelöltek jellemzése

2.2.1. A közönséges akác bemutatása

A csírák két, a föld színén szétterülő 10-12 mm hosszú, 5-6 mm széles, húsos, rövid nyélen ülő vese alakú sziklevéllal jelennek meg. Az első levél egyszerű, széles tojásdad; a következő levelek három levélkéből állók, később a levélkék száma növekszik (Keresztesi, 1965).

Az akác jellegzetes gyökérrendszerrel rendelkezik. Nagyszámú, kötélhez hasonlító, sugárszerűen, különböző irányokba növekvő gyökerekből áll. Ennek a jellegzetes gyökértípusnak a kialakulását számottevő mértékben befolyásolhatják a talajviszonyok, jól csak a mély termőrétegű, laza talajokban növekszenek. Gyökérképződésére jellemző, hogy nem fejleszt sem karógyökeret, sem főgyökeret; a törzs meghosszabbodása lefelé csak csekély mélységig terjed. Koronavetületének területén igen dús gyökérzetet alakít ki, de az nem hatol nagyobb mélységbe. Rendszeresen fejleszt messzire elnyúló felszíni gyökereket, melyek a szomszédos akácokéval jól megférnek, továbbá alkalmassá teszik a talaj megkötésére (pl. futóhomokon), illetve ezeken keletkeznek láncolatosan a gyökérsarjak (Vadas, 1911; Keresztesi, 1965; Huntley, 1990). A gyökerein, gyökérgümőkben élnek a légköri nitrogén fixálására képes *Rhizobium* baktériumok, melyek Boring és Swank (1984) vizsgálatai alapján 75 kg/ha/év, Berthold és munkatársai (2005) kutatási eredményei szerint 150 kg/ha/év légköri N megkötésére is képesek.

A törzs vastag, mélyen barázdált, szürkésbarna kéreggel rendelkezik. Törzshiba (kedvezőtlen törzsalak, villásság) igen gyakran előfordul (Keresztesi, 1965).

Koronájának jellemzői a következők: Szabad állásban a leveles ágak több különálló szintjéből áll, hengeres, csúcsán lekerekített, fényáteresztő. Állományban csúcsán álló kúphoz hasonlít, amelyet kezdetben hegyesebb, később ellaposodó félgömb jellemez (Keresztesi, 1965).

A hajtások csupaszok vagy eleinte enyhén szőrösek, szögletesek, olajzöldtől fényes vörösbarnáig terjedő színűek. Gyakran tüskések, a tüskék nagyok, alapjuk széles (Keresztesi, 1965).

Szórt állású levelei 10-25 (45) cm hosszúak, pálhásak, lapos, néha visszafelé görbülő, 2 cm-nél rövidebb tüskékké alakultak. A levélkéék száma 9-19 (27), ellipszis alakúak, 2-4,5 cm hosszúak és 1,5-2 cm szélesek (Keresztesi, 1965). A levélben flavonoidok (acacetin, apigenin, diosmetin, luteolin) találhatóak (Veitch et al., 2009).

Virágzatát a következőképpen lehet jellemezni: A fürtök 10-20 cm hosszúak, sok fehér virágból állók, bókolók. A kocsányok 6-12 mm hosszúak, pelyhesek. A csészék széles harang alakúak, 7-10 mm hosszúak és 5-9 mm szélesek, rövid vöröses szőröktől erősen molyhosak. A virágzás – időjárástól függően – május első felében kezdődik és 1-2 hétig tart. A nektár cukorértéke átlagosan 1 mg. Egyike a legjobban mézelő növényeinknek (Keresztesi, 1965; 1984).

Termése hüvelytermés. A hüvelyek hosszúra nyúltak, laposak, 5-12 cm hosszúak és 1-1,5 cm szélesek, felfelé enyhén begörbülő csúccsal, vagy tompák, csupaszok, 3-15 db maggal. A magok keményhéjúak, megnyúltak, vese alakúak, kb. 5 mm hosszúak és 3 mm szélesek, olajzöldek, barnásszürkék vagy sötétbarnák egészen a feketéig, nem ritkán tarkázottak, simák, fénytelenek vagy fényesek. 1 kg-ban kb. 50 ezer db mag van; 1000 mag súlya 10-25 g. A magérés augusztus-szeptember közötti időszakban történik. A termés gyakran egész télen a fán függ. Magja akár 40 évig is életképes marad (Keresztesi, 1965; Huntley, 1990; Bartha et al., 2006).

2.2.2. Az 'Üllői' akác ismertetése

Fatermesztési célú, fűrészrönk termelésére alkalmas fajta, mely Üllő község határában, réti erdőtalajra települt homokon kialakult, rozsdabarna erdőtalajon található akácospól kiválasztott 3 törzsfák klónkeveréke (47., 48. és 49. sz. törzsfák). A nemesítése Keresztesi Béla és Marjai Zoltán nevéhez kötődik. 1982-ben lett államilag elismert fajta. A fajta fenntartása jelenleg a SoE ERTI-hez tartozik (Keresztesi, 1988; Rédei, 2008; NÉBIH, 2022).

Botanikai jellemzése: A levélzet fiatal korban felálló, a rövid levélnyélen 17-19 levélke található. A lombzat idős korban sötétzöld színű. A levélkéék közepes nagyságúak csúcsuk tompa, apró szálkácskával, alakjuk a levélnyel felső felében elliptikus, az alsóban tojásdad. Válluk ék alakú. A csúcslevélke kicsipett, szálkácska

nélkül. A tüskék átlagos hossza 10 mm. Színük lilás-barna. Az epidermiszből széles alappal kiemelkedve hirtelen elkeskenyednek, majd árszerűen kihegyesednek. Hajtása kissé szegletes, barnás-lila színű, majd zöldes-barnába megy át. A vessző világosbarna színű, valamivel halványabb színű bordázattal és sok tüskével. Az 50 cm-es hajtáson 16-17 tüsképár található. Ezek egyenletes nagyságúak. Hosszuk a vessző csúcsa felé haladva hirtelen csökken. A törzs oszlopszerű, egyenes, hengeres, koronán át végig követhető. Koronája finomágú, az ágak a törzsszel hegyesszöget zárnak be. Kérgén feltűnő hosszanti csíkok között zöldes-barna mező látható, amelyben sok világos-barna színű, szórt állású paraszemölcs van. Idősebb korban erősen cserepes, valamint gyakori a kéregnél világosabb színű foltok megjelenése. Virágzata fehér, rövidfűrtű virágokból tevődik össze. Változó mennyiségű virágot hoz, virágzási ideje megegyezik a közönséges akáccal. Nektártermelése átlagos, magkötése nagyon gyenge. Közepes-gyenge értékű méhlegelőt ad (Keresztesi, 1988; Osváth-Bujtás és Rédei, 2007).

A fajtakísérletek eredményei alapján fatermése a közönséges akáchoz viszonyítva azzal közel megegyező. A faállomány minőségi jellemzői alapján azonban a kontroll közönséges akácot 32-45 %-kal múlta felül (Keresztesi, 1988; Osváth-Bujtás és Rédei, 2007; Rédei, 2008).

2.2.3. A 'Nyírségi' akác ismertetése

Fatermesztési célú, fűrészrönk termelésére alkalmas fajta. Eredetileg 6, Nyírbátor község közelében, rozsdabarna erdőtalajon álló akácosból kiválasztott törzsfaklónkeveréke. Nemesítése Keresztesi Béla, Fuisz József és Szabó Eszter munkásságának eredménye. 1973-ban került állami bejelentésre, a jelenlegi fajtafenntartó SoE ERTI (Keresztesi, 1984; Rédei, 2006; NÉBIH, 2022).

Botanikai jellemzése: levélzetére a következők jellemzők. A zöld színű közös levélnyél kissé felálló, rövid 13-19 levélkével. A levélkék aránylag egyenletes nagyságúak, egymással szemben helyezkednek el. Legnagyobbak a levélnyél felső 1/3-ában. A legalsó levélkék a többihez viszonyítva aránylag kicsik, a csúcslevélke nagy. A zömök levélzet világoszöld (sárgászöld) színű, jól látszó erezzel. Az alsó levélkék nyelénél igen apró, zöldes-barna színű pálhalevélke található. A levélkék átlagos hossza 4,9 cm, szélességük 2,5 cm. Alakjuk összenyomott ellipszis. A csúcslevélke inkább kerekded, míg az alsó állásúak kissé tojásdadok. A levélkék csúcsa erősen kicsípett, szálcácska nélkül, vagy igen apró szálcácskával. A csúcslevélke válla kissé ék alakú, a

többi levélke lekerekített. Az alsó állású levélkéik egyenes vállúak, gyakran kissé szívésesek. Pirosasbarna tüskéik nagyok, átlagos hosszuk 13 mm. Méretük a hajtás csúcsa felé nő, csak a legvégén lesz ismét átlagos méretű. Az epidermiszből keskeny alappal kiemelkedve hosszú árszerűen hegyesednek ki. A hajtás világoszöld színű, bordázott. A bordák világosbarnák. A vesszőn a bordázat fokozatosan megszűnik, közel hengeressé válik. A vessző közepesen tüskés. A közel 50 cm-es hajtáson 13-14 tüsképár található. Törzse egyenes, a koronán át végigfutó. Kérge kissé érdes a kiemelkedő, alig elütő színű és szórtállású paraszemölcsöktől. Az ágak egyenesek, a törzsszel hegyesszöget zárnak be. Koronája igen erőteljesen fejlett. Lombozata dús. Virága fehér, rövidfűrtű. Virágzási ideje rövid, átlagosan 10 nap. Nektártermelése átlagos, magkötése nagyon gyenge. Közepes méhlegelőt ad (Keresztesi, 1984; Osváth-Bujtás és Rédei, 2007).

A fajtakísérletek, valamint az üzemi termesztési kísérletek eredményei vegyes képet mutatnak. Az első, 1964-ben Gödöllőn létesített fajtakísérletben jó növekedést, kiváló törzsalakot mutatott. Átlagfa-térfogata a 'Jászkiséri' és a 'Kiskunsági' fajták után a legnagyobb volt. Az üzemi termesztési kísérletek eredményei a következőképp foglalható össze. Származási körzetében – Nyírség, Hajdúság – jól növekszik, de gyakori a villásodás nála. A Kisalföldön egyöntetűen jó alakú törzset nevel, de fatermése itt is csak közepes. Az alföldi meszes homokon gyenge növekedést produkál (Keresztesi, 1984; 1988; Osváth-Bujtás és Rédei, 2007; Rédei, 2008; Rédei et al., 2017).

2.2.4. A 'Jászkiséri' akác ismertetése

Fatermesztési célú, fűrészrönk termelésére alkalmas fajta, amelyet Kopecky Ferenc szelektált egy jászkiséri csemetekertből. A csemetét oltással, majd zölddugványozással szaporították el. A nemesítésben Kopecky-n kívül részt vett Keresztesi Béla, Pagony Hubert és Csányi Sándor. 1979-ben lett államilag elismert fajta, jelenlegi fajtafenntartó a SoE ERTI (Keresztesi, 1984; NÉBIH, 2022).

Botanikai jellemzése: a levélzetről elmondható, hogy a mereven felálló, hosszú levélnyélen 17-23 db levélke ül, hol egymással átellenesen, hol felváltva. A levélnyel a hajtással hegyesszöget zár be. Színe zöld, a tövénél lilás. Legnagyobbak a középállású levelek, színük üde zöld. Az erezet csak az alsó állású leveleken szembetűnő. A levélkéik relatíve nagyok, átlagos hosszuk 6 cm, szélességük 3 cm. Alakjuk szabályos ellipszis. A csúcslevélke alakja kissé kerekded, míg az alsó állásúaké tojásdad. Valamennyi levélke csúcsa kicsipett, szálkácska nélkül. Jellegzetes, hogy az erek között a levéllemez

kidomborodó, „kelkáposztaszerű”. Nagy tüskéket növeszt, melyek átlagos hossza 19 mm. A tüskék az epidermiszből, széles alapból indulva hirtelen elkeskenyednek, majd hosszú árszerűen kihegyesednek. Színük sötétbarna. Hajtása sötétbordó, finom bordázat figyelhető meg rajta. A vessző tüskékkel közepesen borított. Méretük egyenletes, a csúcs felé haladva fokozatosan kisebbek, de még a csúcson lévő is jól fejlett. Törzse egyenes, kérge barnás-zöld, jól látható sötétbarna csíkokkal és erekkel. A paraszemölcsök szórt állásúak, nagyok, világos színűek. A korona nagy, a famagasság 1/3-át, 1/2-ét teszi ki, sok, a törzssel hegyesszöget bezáró egyenes és többnyire vastag ág alkotja. Lombozata dús. Virágmennyisége változó, de soha sem bőséges, ellenben nektárjának cukorértéke szerint a legjobbak közé sorolható. Méhlegelőnek közepes (Keresztesi, 1984; Osváth-Bujtás és Rédei, 2007).

Az 1964-ben létesített gödöllői fajtakísérlet eredményei alapján megállapítható, hogy a nemesített fajták közül ez adta a legnagyobb fatermést. Törzsmínősége igen jó, összes fatermése és mellmagassági átmérője elérte vagy meghaladta, a közönséges akácét. A gödöllői tapasztalatokat erősítették meg a más tájakon létesített termesztési kísérletek eredményei is (Kisalföld, Duna-Tisza közti homokhátság, Nyírség). Fájának kedvező szerkezeti és beltartalmi tulajdonságai alapján – a többi akácfajtánál kisebb a sűrűsége és a lignintartalma, valamint legnagyobb az összes szénhidrát tartalma – kiemelt fajtaként használható fel apríték termelésére, félcellulóz-, forgács- és farostlemezgyártáshoz, továbbá energetikai alapanyagként (Keresztesi, 1984; Osváth-Bujtás és Rédei, 2007; Rédei, 2008; Ábri et al., 2021).

2.2.5. 'Vacsi', 'Homoki', 'Oszlopos', 'Bácska' fajtajelöltek ismertetése

A következőkben bemutatásra kerülő fajtajelöltek Rédei Károly, Osváth-Bujtás Zoltán és Führer Ernő nemesítői munkájának az eredménye. Jelenlegi fajtafenntartó a SoE ERTI. Az 1996-ban indult akác szelekciós nemesítési program célja a fatermesztést alapvetően befolyásoló kedvezőtlen ökológiai tényezők (egyenetlen csapadékeloszlás, kevesebb csapadékmennyiség, talajvízszint mélyebbre húzódása) miatt megváltozott termesztési feltételekhez alkalmazkodni tudó új akácklónok előállítás, amelyekkel a jövő csemetetermelését segítő, táji magtermesztő ültetvények (plantázsok) hozhatók létre, illetve a meglévők bővíthetők. A szelekciós munka első fázisa a Duna-Tisza közti, száraz termőhelyeken található, többségében jó fenotípusú egyedekből álló akácállományok, állományrészek kijelölése és faállomány-szerkezeti értékelése volt. A

Pusztavacs, Mikebuda, Kéleshalom és Császártöltés települések közelében lévő 14-50 éves akácokból 29 törzsfát jelöltek ki maggyűjtés céljából. Ezt csemetenevelés követte, majd utódnemzedék-populációkat létesítettek. Ez utóbbiból származó szelektált csemetékkal megtörtént a törzsgyűjtemény kialakítása. A törzsgyűjteményből kiválasztott egyedeket szövettenyésztéssel klónozták, majd ezekből klónkísérleteket alakítottak ki. Az újonnan szelektált klónokból magtermesztő ültetvények, illetve megtermelő állományok létesültek, melyekből megtörtént a magcsemeték előállítása, majd ezekből üzemi erdősítések (erdőtelepítések) kivitelezése (Rédei, 2006; 2008; NÉBIH, 2022). A 'Vacsi' (nemesítői jel: PV 201E 2/1), 'Homoki' (nemesítői jel: MB 17D 3/4), 'Oszlopos' (nemesítői jel: PV 233A 1), 'Bácska' (nemesítői jel: KH 56A 2/5) klónokból több kísérlet (Kecskemét, Helvécia, Hajdúhadház, Gödöllő) is létesült hazánkban. Sajnos, ezek közül ma már csak a helvéciai kísérlet tekinthető kiértékelhetőnek. A fajtajelöltek botanikai leírását Osváth-Bujtás és Rédei (2007) készítette el.

A 'Vacsi' akác fajtajelölt fiatal fái közepes növekedési erély és egyenes törzs jellemzik. A korona finom ágakból áll, amelyek a törzssel hegyesszöget alkotnak. Elvéve található villás egyed. Lombfakadást követően sárgászöld színű, viszonylag ritka lombozatot fejleszt. Egy levélnyélen átlagosan 15-21 db kicsipett vagy lekerekített csúcsú, szabályosan egymással átellenben elhelyezkedő levélke található. Tüskéi kicsik (1-3 mm), „egérfülszerűek”. A hajtás zöld-zöldesbarna színű, csak a legfiatalabb 5-15 cm-es szakaszon bordás, az utána következő hajtásrész már hengeres. A vessző közepesen bordázott, átlagosnak mondható számú ízközökkel (19-21). Apró tüskék csak a hajtás alsó részén találhatók. Kérge sötétszürke színű, szórt paraszemölcsökkel. Virága fehér színű, a virágzati tengely zöld. A csésze világoszöld, helyenként rózsaszín pigmenttel, a szíromlevelek fehérek, sárgászöld foltal.

A klónkísérletek tapasztalatai alapján elvéve található villás egyed. 5 éves korban magassági és vastagsági növekedése a közönséges akácéval összevetve közel kiegyenlített volt (Kecskemét-Méheslapos, Hajdúhadház) (Rédei, 2008). Ugyanakkor, 10 éves korban, a hajdúhadházi klónkísérletben minden vizsgált tényező (magasság, vastagsági növekedés, átlagfa-térfogat) szempontjából felülmúltak a közönséges akác vonatkozó értékeit (Rédei et al., 2013b).

A 'Bácska' akácról elmondható, hogy erőteljes, jó növekedésű. Ágai közepes vastagságúak, amelyek a törzssel hegyesszöget zárnak be. Közepes sűrűségű lombozattal rendelkezik, egy levélnyélen 11-17 db levélke található. A levélkék leggyakrabban

szabályos ellipszis alakúak, esetleg fordítottan tojásdadok, csúcsuk lekerekített vagy kicsípett, szálkácska nélküli. Kérge sima tapintású, acélszürke színű. Tüskéinek alapja kicsi, esetleg közepes nagyságúnak mondható, a hegye felé egyenletesen kihegyesedő. Hossza 6-12 mm. Hajtása bordázott, egységesen salátazöld. Sok, viszonylag rövid hajtást növeszt. A vessző erősen bordázott, teljes hosszában tüskékkel borított, amelyek a vesszővel 90 fokos szöveget zárnak be. Az 50 cm-es hajtásrészén 21-24 ízköz található. Virágzati tengelye zöld, közepes hosszúságú. A virágfürt alakja laza szerkezetű, egy fürtben 23-31 db virág található. A csésze zöld, barna pigmenttel, de meghatározóan zöld tónusú, az elvirágzáskor barnás-vörösre változik. A virág színe fehér.

A klónkísérletek eredményei azt mutatják, hogy a Kecskemét-Méheslapos közelében lévő kísérleti parcellákban a fák közel egyharmada koronában villás. 7 éves korban magassági növekedése 10 %-kal, vastagsági növekedése pedig 17 %-kal haladta meg a közönséges akácét (Rédei et al., 2013a).

Az 'Oszlopos' fajtajelölt közepes növekedésű, egyenes törzsű árboctípusú klón. Ágvastagsága finom-közepes. A tavaszi lombfakadást követően középzöld színű, dús lombzatot növeszt. Az összetett levél 15-19 db levélkéből áll, melyek megnyúlt ellipszis alakúak (alakszáma 3-3,5), csúcsa kihegyesedő, válluk ék alakú. Kérge zöldesszürke színű, szórt paraszemölcsökkel (átlagos). Tüskéi a vessző alsó részén találhatók, 1-3 mm nagyságúak. A hajtás világoszöld színű, 15-20 cm hosszán bordás, a további részen hengeres a hajtás. A vessző közepesen erős bordákkal borított, igen sok ízközzel (27-30) és kicsi tüskékkel. Ez utóbbiak a vessző csúcsi részén nem, vagy alig fejlődtek ki, csak az alsó 15-20 cm-en fordulnak elő.

A klónkísérletek tapasztalatai alapján ágvastagsága finom-közepes, a fák egy része koronában villás. 5 éves korban magassági és vastagsági növekedése a közönséges akáccal összevetve közel kiegyenlített volt (Kecskemét-Méheslapos), illetve 6 és 11 %-al haladta meg a kontrollt (Hajdúhadház) (Rédei, 2008).

A 'Homoki' akác fiatal fáira a közepes növekedési erély és a kissé íves törzsalak jellemző. Dús lombzatot fejleszt. Közepes hosszúságú, 13-19 db levélkéből áll egy-egy összetett levél. A középállású levelek a legnagyobbak. Levélkéi megnyúlt, esetenként szabályos ellipszis alakúak (alakszáma 3-3,5), csúcsuk enyhén kicsípett, szálkácska nélküli. Tüskéi kicsik, árszerűek, 5-8 mm nagyságúak. Kérge szürkésbarna színű, hosszanti barna csíkok láthatók rajta, továbbá felületéből paraszemölcsök emelkednek ki. A vöröses, zöldesbarnás, jellemzően bordázott hajtás csúcsi és középső részén a tüskék közel azonos nagyságúak, a hajtás alsó részén azonban apróbbak. A vessző erősen

bordázott, közepes számú ízközőkkel (15-21) és apró tüskékkel borított, amelyek hegyesszöget zárnak be a vesszővel. A virágzati tengely tompa zöld, bordó elszíneződéssel. A szirmok fehérek, a vitorla közepén enyhe zöldessárga színnel.

A Kecskemét-Méheslapos klónkísérlet parcelláin található fiatal fák 5 éves kori magassági növekedése 16 %-kal, vastagsági növekedése pedig 13 %-kal haladta meg a közönséges akácot. Az eddigi eredmények alapján, a 'Bácska' mellett, a legígéretesebb fajtajelöltnek tűnik (Rédei, 2008; Rédei et al., 2013b).

2.2.6. 'PL251', 'PL040', 'NK1', 'NK2' fajtajelöltek bemutatása

A 'Farkasszigeti' (nemesítői jel: PL040), a 'Püspökladányi' (nemesítői jel: PL0251), a 'Napkori' (nemesítői jel: NK2) és a 'Laposi' (nemesítői jel: NK1) akác fajtajelölt klónokat a fentebb említett, Rédei-féle fajtajelöltekhez hasonlóan több lépcsős szelekcióval állították elő, viszont ebben az esetben az anyafák nem a Duna-Tisza közeli régióból, hanem nyírségi és hajdúsági akácállományokból kerültek kiválasztásra. A kutatómunka a SoE ERTI, valamint a Napkori Erdőgazdák Zrt. közös projektje, melynek célja új, magas genetikai értékű, nagy teljesítményű, nagyobb iparifa kihozatalt (50% feletti) produkáló akácfafták előállítás, termesztésbe vonása (iparifa célú ültetvények létesítése). Továbbá az akác termesztési technológiájának fejlesztése: termelési rendszerben alkalmazott öntözési, növénytáplálási rendszer segítségével erős gyökérszövetű, a napjainkban egyre inkább gyakoribbá váló hő- és szárazságstressznek ellenálló, a megváltozott környezeti feltételekhez adaptálódni képes csemeték előállítás, valamint új iparifa ültetvényes létesítési és fenntartási technológiák kidolgozása, melyek magukba foglalják a különböző gépesítési, talajelőkészítési, nyesési, öntözési és tápanyagutánpótlási műveleteket.

A fajtajelöltek leírását Dr. Keserű Zsolttal, a SoE ERTI Ültetvényeszerű Fatermesztési Osztályának vezetőjével közösen végeztük el.

A 'Püspökladányi' (nemesítési jel: PL251) fajtajelölt klón erőteljes, jó növekedésű. Egyenes, hengeres törzs jellemzi. Levélkéi száma többségében 21 db. A levél alakja hosszúkás, nyújtott, a levélcsúcs enyhén bemetszett. Koronája enyhén szétterülő, az ágak hegyesszögben állnak. Az oldalágak közepén vékonyak, finomak. A kéreg sima, szürkésbarna színű. A tüskék aprók, rövidek, piknikusak.

A 'Laposi' (nemesítési jel: NK1) fajtajelölt klónt közepes magassági, erőteljes vastagsági növekedés jellemzi. Többé-kevésbé egyenes törzsű. A levélkéi száma 21-23.

A levél alakja hosszúkás, de nem annyira, mint a PL251. A levélcsúcs épphogy kicsípett. A fa koronája hasonló a PL251-hez, de az NK1 esetében az oldalágak a törzshöz viszonyítva nagyobb szögben állnak. Ebből adódóan az NK1 koronája egy kicsit terebélyesebbnek tűnik. A kéreg sima, szürkés-barna, de egy kicsit sötétebb a PL251 kérgénél. A tüskék kicsik, de valamivel nagyobbak és hegyesebbek a PL251 tüskéinél. A törzs alsó részénél a kéreg hosszirányban repedezett.

A 'Farkasszigeti' (nemesítési jel: PL040) közepes növekedési erélyű fajtajelölt. Törzse egyenes, hengeres. Oldalágainak állása hasonló az NK1-hez, nagyobb szögben állnak, így a korona terebélyesnek tűnik. Ágai vékonyak, finomak, nem durvák. Kérge viszonylag sima felületű (az NK2-nél durvább), szürkésbarna. Tüskéi a legnagyobbak, széles alappal, hegyesek. Levelei viszonylag nagyok, elliptikusak, csúcsokon kis bemetszés található. Levélkéinek száma 17-19.

A 'Napkori' (nemesítési jel: NK2) erőteljes, nagyon jó növekedésű fajtajelölt klón. Fiatal fáinak törzse egyenes, hengeres. Kérge nagyon sima, világosszürke, barnás árnyalatokkal. Kevés tüskéje van, azok aprók, vékonyak, hegyesek. Kérgén hosszanti repedések nincsenek. Ágai vékonyak, finomak, a törzssel hegyesszöget zárnak be. Koronája sudarlós, hasonló a PL251-hez. Levélkéinek száma 19-23. A levél alakja hosszúkás, a levél csúcsa kihegyesedő, de a csúcson nincs bemetszés.

2.3. Termesztési technológiák bemutatása

Az akác termesztési technológiáját alapvetően meghatározza a termesztési cél (iparifa, energia, környezetfejlesztés, talajvédelem, méhészet). Az akác termesztése történhet új akácosok telepítésével, csemeteültetéssel (mesterséges erdőfelújítás) vagy gyökérsarjról (természetes erdőfelújítás) történő erdőfelújítással (Rédei, 2020) – ebben a dolgozatban csak előbbivel foglalkozom. Továbbá az akáctelepítés történhet – iparifa és energetikai ültetvények esetében – nem erdő művelési ágba tartozó területeken (pl. szántó, kert, gyümölcsös, rét, stb.) is. Az akácerdősítés, valamint akácfa ültetvények létrehozásakor a 2021. május 1-től hatályos állapotú, az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról szóló 2009. évi XXXVII. törvényben, valamint a fás szárú ültetvényekről szóló 135/2017. (VI.9.) Kormányrendeletben megfogalmazottak alapján kell eljárni.

Az akác telepítésének sikerességét számos tényező befolyásolja. A termőhely minősége, a terepadottságok és az erdősítésnek kedvező időjárás alapvető fontossággal

bírnak, de a szaporítóanyag minősége és a fajtaválaszték körültekintő alkalmazása is nagy szerepet játszik a sikeres akáctermesztésben. Továbbá, fontos az alkalmazott termesztési technológia, sorok és sorközök ápolásának gyakorisága és minősége, valamint a különböző károsítások (biotikus és abiotikus) elleni védekezés hatékonysága (Keresztesi, 1984; Rédei, 2006; 2009; 2020).

A termesztési technológia elemei a következők: terület- és talajelőkészítés (vágástakarítás, felszíni sekély talajelőkészítés, mélyforgatás vagy mélylazítás, tuskókiszedés, vegyszeres gyom-, cserje- és sarjirtás), telepítés, ültetés, talajápolás (csemetesorok és sorközök ápolása), állomány ápolása, nevelése (növtér-bővítés, törzs- és koronaalakító nyesések), növényvédelme, véghasználat (fakitermelés) (Rédei, 2009; Pápai, 2013).

A termesztési technológia „nulladik” lépése a megfelelő terület kiválasztása. Magyarországon a változatos természetföldrajzi viszonyok és az akác kiterjedt térfoglalása indokoltá teszik, hogy a fafaj termesztése termőhelytipológiai rendszerünkhöz illeszkedően történjen (Rédei, 2009). Hazánkban az akác ökológiai feltételeit elsősorban a csapadék mennyisége, talajok levegőzöttsége és vízháztartása, valamint a fagymentes időszak (korai és kései fagyokra egyaránt érzékeny) hossza szabja meg. Nagy fatömeg és jó minőségű faanyag termeléséhez jó vízgazdálkodású és levegőzöttségű homok- és vályogtalajokat igényel (Járó és Lengyel, 1984; Nicolescu et al., 2018). Ezek a körülmények tekinthetők ugyanis optimálisnak a gyökeréhez kötődő, a növényvel szimbiózisban élő *Rhizobium* baktériumoknak, amelyek akár 75 kg/ha (Boring és Swank, 1984) vagy 150 kg/ha (Berthold et al., 2005) légköri nitrogént is megköthetnek évente. Mivel az aerob *Rhizobium* baktériumok nitrogénmegkötését gátolja a magas talajvízszint, így annak 150 cm-nél mélyebben kell lennie, hogy megfelelő legyen az akác számára. A túl magas talajvíz lehetetlenné teszi a termesztését (Keresztesi, 1988; Zajackowski és Wojda, 2012). Az akác telepítésére a homoki termőhelyek, elsősorban a rozsdabarna erdőtalajok és a kovárványos barna erdőtalajok az optimálisak, de a nem karbonátos savanyú humuszos homoktalajokon, valamint a csernozjom talajokon is jól nőnek (Nicolescu et al., 2020; Rédei, 2020). Az ültetvényeszerű akáctermesztésre számításba vehető termőhelytípus-változatok az alábbi táblázatokban láthatók (**1. táblázat** és **2. táblázat**).

1. táblázat Az ültetvényszerű akáctermesztésre számításba vehető termőhelytípus-változatok a kocsánytalan tölgyes, illetve cseres klímában

(Járó és Lengyel, 1984; Rédei, 2009 alapján)

Termőhelytípus-változat				Az akác várható növekedése és vágáskora	
genetikai talajtípus	hidrológiai adottság	termőréteg vastagsága	fizikai talajféleség		
Barnaföld	többletvízhatástól független	középmély	vályog	közepes, 30 év	
		mély		jó, 30-35 év	
Rozsdabarna erdőtalaj		középmély	homok	közepes, 25-30 év	
		mély	vályog	jó, 30-35 év	
Kovárványos barna erdőtalaj		középmély	homok		jó, 30-35 év
		mély	homok		
Csernozjom barna erdőtalaj		középmély	vályog	közepes, 25-30 év	
Karbonátmaradványos barna erdőtalaj		mély		jó, 30-35 év	
Rozsdabarna erdőtalaj		időszakos vízhatású	középmély		homok
			mély		
Kovárványos barna erdőtalaj	középmély		homok	jó, 30-35 év	
	mély				

2. táblázat Az ültetvényszerű akáctermesztésre számításba vehető termőhelytípus-változatok az erdősztyepp klímában (Járó és Lengyel, 1984; Rédei, 2009 alapján)

Termőhelytípus-változat				Az akác várható növekedése és vágáskora
genetikai talajtípus	hidrológiai adottság	termőréteg vastagsága	fizikai talajféleség	
Humuszos homoktalaj és kombinációi	többletvízhatástól független	igen mély	homok	jó, 30-35 év
Humuszos öntéstalaj		mély	vályog	közepes, 25-30 év
			homok	jó, 30-35 év
			vályog	
Barnaföld		középmély	homok	közepes, 25-30 év
			vályog	
Rozsdabarna erdőtalaj		mély	homok	közepes, 25-30 év
Kovárványos barnaerdő talaj				

Termőhelytípus-változat				Az akác várható növekedése és vágáskora	
genetikai talajtípus	hidrológiai adottság	termőréteg vastagsága	fizikai talajféleség		
Humuszos homoktalaj és kombinációi	időszakos vízhatású	középmély	homok	közepes, 25-30 év	
		mély		jó, 30-35 év	
Humuszos öntéstalaj		sekély		közepes, 25-30 év	
Lejtőhordalék talaj		középmély		jó, 30-35 év	
		mély			
Rozsdabarna erdőtalaj		középmély		közepes, 25-30 év	
Kovárványos barnaerdő talaj		mély	jó, 30-35 év		
		középmély			
Réti csernozjom talaj		középmély		vályog	
Öntés csernozjom talaj		mély		homok	
Csernozjom jellegű homoktalaj és kombinációi					
Réti talaj és kombinációi					közepes, 30-35 év
Réti öntéstalaj					
Karbonát-maradványos barna erdőtalaj	többletvízhatástól független	középmély		vályog	jó, 30-35 év
Kilúgzott csernozjom talaj		mély			
		igen mély			
		mély			
Réti csernozjom talaj		igen mély	homok		
Öntés csernozjom talaj		mély	vályog		
			homok		
			vályog		
Csernozjom jellegű homoktalaj és kombinációi	igen mély	homok			

2.3.1. Terület- és talajelőkészítés

Vágásfelújításokban a tuskózás nélküli mesterséges vágásfelújítás legegyszerűbb talaj-előkészítési módja a vágástakarítás és bozótirtás utáni felszíni sekély talaj-előkészítés. A megtisztított 60-90 cm széles pászták alkalmassá válnak egyrészt a közvetlen csemeteültetésre, másrészt a további talaj-előkészítés, például a mélylazítás nyomvonalának előkészítésére. A pásztákban a gyomosodás mértéke kisebb, könnyebben elvégezhető a későbbi talajápolás. A pászták gépi eszközökkel könnyedén elkészíthetők. A jó pásztakészítés alapfeltétele a tuskók megfelelő visszavágása (Rédei, 2020).

A mélylazítóval történő talaj-előkészítés ugyancsak a tuskózás nélküli vágásfelújítások talaj-előkészítési módja. Mélylazítást akkor alkalmazunk, amikor a termőréteg többé-kevésbé tömörödött, kívánatos a fellazítása, de mélyforgatás talajhiba miatt nem alkalmazható. A lazítást erőgépre szerelt 2 vagy 3 szárnyas mélyművelő géppel célszerű végezni a tervezett ültetési hálózat figyelembevételével, 1,5-2,5 m közötti egymástól való távolságban, 50-70 cm mélyen (Rédei, 2020).

Akácosaink túlnyomó része homokterületeken (Duna-Tisza köze, Nyírség) található (Szemerédy, 2004; Rédei, 2020; NFK, 2022). Ezeken a területeken a teljes és mély talaj-előkészítésre kell törekedni. Ennek előfeltétele a vágásterületek kituskózása, gyökérfésűvel történő gyökérmentesítése (Rédei, 2009). Mély talaj-előkészítés során mélyforgatást (teljes forgatás 50-80 cm mélyen) végzünk. Forgatás közben a talaj alsóbb rétegei a felső rétegekkel helyet cserélnek, illetve egymással keverednek. A beavatkozás előnyei, hogy a termőtalaj fellazul, pórustérfogata megnő, levegőssé válik, ez utóbbi az akác esetében különös fontossággal bír. A mélyforgatás további pozitívumai közé sorolható, hogy a felső, humuszos szint mélybe helyezésével a talaj alkalmasabb lesz a csapadékvíz tárolására, javul a vízháztartása. A mélyforgatással egy menetben, az ekéhez kapcsolva, talajsimítót is alkalmaznak (Bondor, 1980; Szabó, 2003; Birkás, 2006; Rédei, 2009; 2020).

Előfordulhat, hogy a felszínhez viszonylag közel található a felhalmozódási szint vagy egy talajhibás réteg, ebben az esetben mélyforgatás helyett mélyszántás (30-50 cm) javasolt. A munkaművelet során figyelni kell arra, hogy a szántással sohasem szabad olyan mélyre lemenni, hogy ezzel a felhalmozódási szint vagy a talajhibás réteg a felszínre kerüljön, mert ez a termőképességet végzetesen leronthatja (Rédei, 2020).

Akáctelepítésre rendszerint szántóföldi növénykultúrákkal jövedelmezően nem művelhető földterületeken kerül sor. Terület-előkészítésként vegyszeres gyom-, cserje-

és sarjirtás elvégzése javasolt. A talaj-előkészítés a fentebb leírtak szerint mélylazítás, illetve mélyforgatás lehet. Itt megjegyezném, hogy általános szabálynak tekinthető az, hogy a kiváló termőhelytől a rosszabb felé haladva egyre kevesebb lesz a nemesített és az átlagos (kommersz) szaporítóanyag közötti érték (hozam) különbség, ebből kifolyólag szelektált akácfajtákkal történő erdősítés csak jó termőhelyi adottságokkal rendelkező területeken rentábilis (Rédei, 2008; 2020).

2.3.2. Ültetés

Akáctelepítés történhet 1 éves magcsemetével, vegetatív úton, gyökérdugványozással, illetve mikroszaporítással előállított akác klónfajtaival. Ez utóbbi módszerrel előállított klónokkal, fajtákkal történő akác-erdősítés számos előnye ellenére, jelenleg nem elterjedt a hazai erdőgazdálkodók körében. Ennek főbb okai a magas előállítási költséggel, valamint a kvalifikált munkaerő hiányával magyarázható (Rédei, 2008; 2020; Ábri et al., 2022a).

2.3.2.1. Szaporítóanyag, csemetetermelés

A hazánkban kialakult gyakorlat szerint az akác-erdősítések leggyakrabban 1 éves magági csemetével történnek. A csemeték gyökfője minimum 4 mm vastag, gyökérhossza minimum 20 cm kell, hogy legyen (Keresztési, 1984; Rédei, 2020).

Az erdősítési technológiák a megeredés érdekében az akác visszavágását írják elő, ezért 2 éves csemetét nem szoktak az erdősítők rendelni. Jó termesztési körülmények között az egyéves akác magcsemete elérheti az 1,0-1,5 m-es magasságot is, de ennek nincs jelentősége, mert a szárat minden esetben visszavágják. A legfőbb cél a visszavágás utáni gyors és erőteljes növekedést szolgáló gyökérzet és az ennek megfelelő gyökfő kialakítása. A csemetetermesztéshez jó tápanyagellátottságú, laza, nem túlságosan kötött talaj alkalmas. Kiskertekben is sokat segít a termelés biztonságán és a növényen, ha van öntözési lehetőség, de középüzemi szinten ez elengedhetetlen feltétel. Fontos, hogy a vetés idejét úgy kell meghatározni, hogy a májusi fagyok előtt ne keljen ki a csemete. A nedves barázdafenekre vetett, szelektált magtermelő állományokból gyűjtött szkarifikált akácmag 7-10 nap alatt (egy kisebb része előbb is) kikel. A vetésig a talaj nedvességét fenn kell tartani. A vetés április utolsó napjaiban történjen. A vetés vetőmag normája a mára kialakult gyakorlat szerint 60 db, 100%-os csírázási képességű mag folyóméterenként, ami a 20 g/1000 szem figyelembevételével 1,20 g/fm magnormát

jelent. A felnevelhető csemete mennyisége folyóméterenként 10-14 db, s mivel az akáccsemete növtér-igénye 26-30 cm², elméletileg négyzetméterenként 30-33 db, a vetési sorok elhelyezésének függvényében 150.000-350.000 db/ha csemete nevelhető (Rédei, 2020).

Az akácfajták és fajtajelöltek előállítása kizárólag vegetatív úton, gyökérdugványozással, esetleg mikroszaporítással történhet (Keresztesi, 1984; Davis és Keathley, 1992; Rédei et al., 2001; Kanwar et al., 2007).

Az ERTI munkatársai által több évtizede kidolgozott vegetatív csemetetermelés általános feltételeire a magcsemeténél leírtak érvényesek, azzal a kiegészítéssel, hogy a vegetatív csemetetermelés esetében elengedhetetlen az öntözés. A dugványok elhelyezése sorjelölő után húzott 10-12 cm-es hasítékba, 8-10 cm-es tőtávra, a talaj felszínénél 2-3 cm-rel mélyebbre történik. A talajt tömöríteni, szükség szerint öntözni kell. A csemetenevelés ezután a magcsemeténél részletezett módon történik, azzal a különbséggel, hogy a begyökeresedésig különös figyelemmel kell lenni a talaj állandó kedvező nedvességi állapotára. Az egyéves akác gyökeres dugványok egy része (a méreti követelményeknek megfelelően) erdősítési célra kikerül a kertből, vagy továbbnevelésre, iskolázásra használják fel. A gyökérdugvány termelés során kimaradt gyökérdarabokból 3-4 cm-es szecskát is lehet készíteni, amit 8-10 cm-es barázdába, 5-7 cm mélyre kell elvetni. A szecskavetés még érzékenyebb a kiszáradásra, ezért a gyökérdugványozástól elkülönített elhelyezést igényel a rendszeres öntözés kivitelezhetősége miatt (Rédei et al., 2001; Rédei, 2008; 2020).

A mikroszaporítás más vegetatív szaporítási technológiával szembeni legfőbb előnyei a következők: kis helyigény; kórokozómentes végtermék állítható elő; évszaktól és időjárástól független, folyamatos előállítást tesz lehetővé; olyan új klónok (fajták) vegetatív szaporítása válhat lehetővé, amelyek más módszerrel nem voltak klónozhatók; gyors és automatizálható technológia. Ugyanakkor a technológia számos hátránnyal is bír. Ilyen többek között a fertőződés állandó veszélye; a szomaklonális variabilitás (mutációs ráta fokozódása), vagyis a szaporított növényanyag, vagy annak egy része genotípusában eltérhet a kiinduló fajtától; számottevő kiültetési veszteség lehetséges; költséges előállítás; speciális laboratóriumi feltételeket és képzett munkaerőt igényel (Davis és Keathley, 1992; Balla et al., 1998; Rédei et al., 2001; 2002). A szelektált akácklónok mikroszaporítási eljárásának alapjai az Erdészeti Tudományos Intézet közreműködésével, illetve a kiinduló növényi anyag (szelektált akácegyedek hajtásmintái) rendelkezésre bocsájtásával Balla I. és Vértessy J. (1985) által került

kidolgozásra. Az akáctermesztés minőségi fejlesztése területén az említett szaporítási eljárás a következő területeken alkalmazható eredményesen: új, relatíve szárazságtűrő klónok előállításakor; magtermesztő ültetvény (plantázs) létesítéséhez szükséges szaporítóanyag előállítása során; olyan idős egyedek génkészletének megőrzésekor, melyek más vegetatív eljárással nem szaporíthatók; valamint a genetikai alapvizsgálatok elvégzéséhez szükséges vírusmentes növényi anyag előállításakor. Az utóbbi években, évtizedekben, a mikroszaporítással előállított akácklónok eredményeit Rédei és munkatársai (Rédei, 2006; Rédei et al., 2001; 2002; 2006; 2013a; 2013b), Keserű és munkatársai (Keserű et al., 2021), Zhang és munkatársai (Zhang et al. 2009), valamint Szyp-Borowska és munkatársai (Szyp-Borowska et al., 2016; 2020; 2022) publikálták.

2.3.2.2. Ültetési hálózat

A változó környezeti feltételekhez és a fafaj igényeihez leginkább alkalmazkodó ültetési hálózat megválasztása az ültetvényszerű fatermesztési technológiának egyik legfontosabb műveleti eleme (Solymos, 1986; Halupa és Gabnai, 1990; Rédei, 2006; 2020). Európában a leggyakoribb induló törzsszám 1100-5000 fa ha⁻¹ között változhat, ez alapján a legelterjedtebb ültetési hálózatok 2 m × 1 (1,25) m; 2 m × 2 m; 2,5 m × 1,6 (2,0) m; 3 m × 2 m (Meyer-Münzer et al., 2015; Wojda et al., 2015; Nicolescu et al., 2020). Hazánkban a 2,4 m × 0,7 (0,8-1,0) m hálózatot alkalmazzák leginkább az erdészeti gyakorlatban, tágabb hálózatok (2,5; 3,0; 4,0 m sortáv, illetve 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 m tőtáv alkalmazása) leginkább az akácklónokkal telepített ültetvényeinkben fordulnak elő. A fajtákkal történő erdősítések alaphálózata min. 2,5 × 2,0 m (Rédei, 2006; 2008).

Jelenleg igen kevés adat áll rendelkezésünkre az ültetési hálózatok akácsook faállomány-szerkezetére és fatermésére gyakorolt hatásairól. Ugyanakkor, napjainkban több ilyen jellegű kísérlet is zajlik.

Az ültetési hálózat megválasztásakor mindig mérlegelni kell a sűrűbb és tágabb hálózat előnyeit, hátrányait (Rédei, 2006; Rédei et al., 2011).

Sűrűbb hálózat esetén a faállomány gyorsabban záródik, kisebb a gyomosodás veszélye; a talajapolás nehezebben gépesíthető, rövidebb ideig és ritkábban végezhető; nagy a fiatalosok fatermése, ugyanakkor nevelővágáskor nagyobb a gazdaságosan fel nem készíthető, piacképtelen faanyag aránya; vékonyabb oldalágak képződnek, gyors a természetes feltisztulás, kisebb a nyesési igény; benőtt ággöcsök képződésének esélye is kisebb; az erdősítési és erdőnevelési munkaműveletek nehezebben gépesíthetők; kisebb

az átlagos átmérő, hosszabb vágásfordulóval kell nevelni az állományokat, kisebb az egyes fahasználatok árbevétele (Rédei, 2006; 2020).

Tágabb hálózatban való ültetés során a faállomány lassabban záródik, nagyobb a gyomosodás veszélye; a talajápolás jobban gépesíthető, de hosszabb ideig, gyakrabban kell végezni; kisebb lesz a fiatalosok fatermése, nevelővágáskor magasabb a piacképes vastagabb faanyag aránya; erőteljes oldalág képződés miatt a nyesés fontossága és költségigénye megnő. Az erdősítési és erdőnevelési munkaműveletek jobban gépesíthetők a tágabb növényterű faállományokban; az átlagos átmérő nagyobb lesz, és ennek függvényében rövidebb vágásfordulóval lehet számolni, ezért nagyobb lehet az egyes fahasználatok árbevétele (Molnár, 2008; Rédei, 2020).

2.3.2.3. Az ültetés menete

Az ültetés tavasszal javasolt, 35-40 cm mélyen. Ezt megelőzően a sérült gyökereket le kell vágni. Az ültetés történhet ásott vagy traktoros gödörfúróval fűrt gödrökbe. Tuskózás nélküli vágásfelújítás esetén, gyökeres talajban traktorra szerelt, spirál fűróhegygel kialakított gödörfúró használható. Megfelelően előkészített talajon használhatók a hasítékkészítő ültetőgépek, is. A minimálisan ültetendő hektáronkénti csemeteszám 4000 db, a gyakorlatban általában 5500-6000 db-ot ültetnek. Az ültetés után az akác egyedeket a jobb megeredés érdekében érdemes visszavágni. Továbbá gondoskodni kell a felferődő tuskósarjak visszaszorításáról is (Járó és Lengyel, 1984; Rédei, 2002; 2009; 2020).

Pótlásra csak erőteljes, ellenőrzött származású, jó minőségű, egy- vagy kétéves csemetétet szabad használni, betartva az ültetésre vonatkozó előírásokat. A pótlást mindig a legközelebbi erdősítési idényben kell elvégezni, mert később az idősebb csemeték elnyomják a frissen beültetetteket, és a hézagok annyira elgyomosodnak, hogy a fiatalos záródását csak aránytalanul nagy költséggel és többszörös ismétléssel lehet elérni. Pótlás legfeljebb az első kiviteli darabszám 30%-os mértékig (max. 1500 db/ha) engedhető meg. A pótlásra szánt csemeték ültetése előtt érdemes a területen gyomirtást végezni (Pápai, 2013; Rédei, 2020).

Amennyiben az erdősítés 30-40 % alatt marad, gazdasági szempontból célszerűbb pótlások helyett újraerdősítést végezni (Rédei, 2020).

2.3.3. Ápolás

Ápolás alatt a sorok és sorközök művelését, valamint a talaj és a faegyedek ápolását (nyesését), növényvédelmet értjük. Célja, a csemeték minél nagyobb számban való megmaradásának elősegítése, a növény számára konkurenciát jelentő gyomnövények, sarjak, cserjék visszaszorítása, a talaj kiszáradásának elkerülése. A fiatal akácerdősítésekben 1-3 éves korig alapvető fontosságú a gépi sorközi ápolások és a kézi sorápolások (legalább 2 éves korig) elvégzése. A nyeséssel mesterségesen beavatkozunk a faállomány életébe, igyekszünk legkedvezőbben befolyásolni a faegyedek növekedését. Továbbá a különböző fahibákat (pl. göcsösség) mérsékelhetjük, a törzsmínőséget javíthatjuk ágnyeséssel (Molnár, 2008; Pápai, 2013; Rédei, 2008; 2020).

2.3.3.1. Talajápolás

Talajápolás jellege szerint kézi, gépi vagy vegyszeres (herbicides) ápolások lehet. Talajápolást csemetesorokban és közvetlenül a tövek körül (kézi kapálás) az első és második tenyészeti évben legalább 1-1 alkalommal végezzünk. Ezen kívül az első három tenyészeti évben 3-3 sorközi talajápolás is szükséges, bármely felszíni sekély talajápolásra alkalmas eszközzel. A befejezett erdősítés várható időpontja annak 3-4. éve. Mesterséges felújításokban herbicides sor- és sorközművelés is történhet. A vegyszeres beavatkozás során szem előtt kell tartani az akác herbicidekre való érzékenységet. Továbbá érdemes kombinálni a műveleteket, mert az erdősítés talajának mechanikus ápolása során megszakított kapilláris hajszáltrepedések javítják a talaj vízmegtartó képességét. Sikerességét nagymértékben befolyásolják a kezelés időpontjában meglévő időjárási viszonyok, elsősorban a vegyszer talajba juttatását döntő mértékben befolyásoló csapadék mennyisége és eloszlása (Tóth, 2002; Molnár, 2008; Pápai, 2013; Rédei, 2020).

2.3.3.2. Nyesés

Akácokban igen gyakran találkozhatunk különböző törzshibákkal. Ezek közül az egyik leggyakoribb a villásodás. A villás egyedek egyik szárának a lemetszése a legfontosabb végrehajtandó feladat a nyesés során. Az ágtisztató törzs és a korona aránya 50-50 % kell, hogy legyen. A szelektált akácfajtákkal létesített ültetvények esetén külön figyelmet kell fordítani a törzs- és koronaalakító nyesések technológiai előírás szerinti végrehajtására is (a sorok és sorközök ápolása mellett). A SoE ERTI által ajánlott

alaphálózat (2,5 m × 2,0 m, ill. 3,0 m × 3,0 m) mellett az első koronaalakító nyesést vegetációs időn kívül, 5-6 méteres átlagos magasság elérésekor szükségszerű elvégezni. A második törzsalakító nyesésre akkor kerüljön sor, amikor a faállomány átlagos magassága 8-10 m (megközelítőleg 4 m-es ágtszta törzsrész elérése kívánatos) (Pápai, 2013; Rédei, 2008; Rédei et al., 2011; Nicolescu et al., 2020).

2.3.3.3. Növényvédelem

Az akác gyors elterjedéséhez, az alföldi mező-, és erdőgazdák körében mutatkozó népszerűségéhez a kártevőkkel és kórokozókkal szembeni rendkívüli ellenálló képessége is nagyban hozzájárult. Gazdasági károk csak a fagyérzékenységéből adódóan, valamint vadkártételek következtében keletkeztek. A XX. század elején 23 rovar-, 9 gomba-, 6 emlős- és egy virágos élősködő fajt tartottak számon akác károkozóként. Az 1980-as évek elejétől azonban egyre több és egyre veszélyesebb potenciális károsító települ be az európai akácosokba, legtöbbjük Észak-Amerikából, az akác őshazájából (Vadas, 1911; Tóth, 2002; Tóth és Varga, 2008). A Nemzeti Földügyi Központ (NFK, 2022b) Erdészeti Főosztályának EVH jelentései alapján 2014-től romló tendencia mutatkozik a korábban, relatíve jobb egészségi állapotúnak tartott akácosok levélvesztése tekintetében. 2022-ben nagymértékű romlást figyeltek meg, ebben az évben a tünetmentes, egészséges fák aránya mindössze 4,5 %, az erősen károsodott fáké 36,5 % volt.

A növényvédelmi, erdővédelmi gyakorlat szerint a különböző kárformákat, azok eredete szerint három csoportba sorolhatjuk, melyek a következők: abiotikus (aszály, szél, fagy), biotikus (kártevő rovarok, vadak, kórokozó gombák) és antropogén (különböző mechanikai sérülések) (Varga, 2001; Hirka et al., 2022). Akác esetében az abiotikus károk közül meg kell említeni a korai és kései fagyokat, az aszály- és szélkárokat, valamint a jégverést (Tóth, 2002). 2022-ben az abiotikus károk aránya 35,4% volt (NFK, 2022b), amely az év extrém száraz időjárásának tulajdonítható.

Kórokozók közül az akác fomopsziszos kéregrák (t: *Diaporthe oncostoma*, a: *Phomopsis oncostoma*) és az akác barna levélfoltosságát okozó *Phloeospora robiniae* (Tóth és Varga, 2008) gomba kiemelendő. A *Phomopsis oncostoma* sebsparazita kórokozó, mely főként fiatal (1-4 éves), legyengült akácosokban jelentkezik. A fertőzések májustól kezdődően alakulnak ki: a kései fagyok nyomán elhalt hajtásokon, illetve egyéb sérülések helyén a kéreg a fertőzés hatására egyre nagyobb felületen elhal, a vékonyabb és zöld hajtásokon a fertőzött részeken barnás elszíneződés figyelhető meg. A gomba

meggátolja a sérülések behegedését a kambiumszövetek működésének blokkolásával, ezért a törzsön, a fertőzött ágcsomkok körül rákos sebek képződnek. A fiatal fák törzsében a gomba a farészt is megtámadja, így azok a pajzs alakú nekrozisok magasságában gyakran derékba törnek. A kórokozóra való fogékonyságot növeli a helytelen termőhely megválasztás (mélyebb fekvésű területek kerülése ajánlott), a túl gyors növekedés (pl. lucernaföld helyén történő telepítés, vagy tápanyag-utánpótlás, elsősorban a sok nitrogén miatt), továbbá, a rossz időpontban, valamint a rosszul kivitelezett nyesés (Tóth, 2002; Hirka et al., 2022).

A barna levélfoltosság kora nyártól kezdődik, a leveleken egyre nagyobb összefüggő barna foltok formájában. A fertőzött levelek gyakran deformálódnak (Hirka et al., 2022). A gombák által okozott károk aránya 15,7% volt a 2022-es évben (NFK, 2022b).

Az akáccon számos polifág kártevő megtalálható, melyek közül a legfontosabbak a cserebogarak (*Melolontha melolontha*, *M. hippocastani*, *Polyphylla fullo*, *Anoxia orientalis*), a levéltetvek (*Aphis fabae*, *A. craccivora*), valamint a gyapottok bagolylepke (*Helicoverpa armigera*). Ez utóbbi elsősorban a szántóföldi növényeken (kukorica, napraforgó) okozott komolyabb károkat, de mára – a klímaváltozás okozta hőhullámok, szárazság miatt – a különböző erdészeti kultúrákban, így az akácosokban is fontos kártevőként tartják számon, amely jelentős károkat okozhat (Tóth, 2002; Csóka et al., 2022). Az akácnak vannak speciális rovarkártevői is, ilyenek például az akáclevél-hólyagosmoly (*Parectopa robiniella*), az akáclevél-sátorosmoly (korábban: *Phyllonorycter robiniella* ma: *Macrosaccus robiniella*), az akác levéldarázs (*Nematus tibialis*), az akác gubacsszúnyog (*Obolodiplosis robiniae*), az akác gubacsatka (*Aculops allotrichus*) és az akácpajzstetű (*Parthenolecanium corni*) (Tóth és Varga, 2008; Lakatos és Szabó, 2012; Csóka et al., 2013). 2022-ben a rovarkárok aránya 34,6 % volt. Ez a magas arány többek között magyarázatot szolgáltat a levélvesztési adatokra is. Kiemelkedő volt az aknázómolyok és az akác gubacsszúnyog károsítása, ugyanakkor az utóbbi évekhez képest csökkenő tendencia mutatkozik az egyéb akác-kártevők esetében. Mivel az akác hazánk legelterjedtebb fafaja, az elmúlt évtizedekben több fajspecifikus károsítója jelent meg és terjedt el erdeinkben, melyekre – és az erdővédelmi jelentőségükre – kiemelt figyelmet kell fordítani (NFK, 2022b; Csóka et al. 2022).

A biotikus kártevők közé soroljuk még a különböző vadállatokat (nyúl, szarvas, őz, vaddisznó), melyek számottevő károkat okozhatnak az akácosokban a fiatal fácskák megrágásával, hajtások lerágásával, agancsdörzsöléssel. A sebzéseken keresztül

különböző sebpazita gombák (pl. a már korábban említett fomopszisos kéregrák) fertőzhetik, károsíthatják a növényt (Tóth és Varga, 2008). A 2022-es évben a vadkárók aránya csupán 3,1 % volt az (NFK, 2022b).

A védekezési eljárások ismertetése előtt, még pár szót érdemes ejteni a gyomnövényekről. Erdősítésekben a gyom elsősorban víz- és növtér-konkurensként jelentkezik. Különösen igaz ez a kifejezetten fényigényes akác esetében, ezért az első években biztosítani kell számára a gyommentességet. Az akác még a fajtársa árnyalását sem tűri el, ezért kis csemeteszámmal, nagy növtérrel neveljük kezdettől fogva. Az akác faültetvények gyomnövényei közül kiemelendő a meddő rozsnok (*Bromus sterilis*), a fedél rozsnok (*Bromus tectorum*), a keskenylevelű perje (*Poa angustifolia*), a réti perje (*Poa pratensis*), a vadkender (*Cannabis sativa*), a nagy csalán (*Urtica dioica*), a siska nádtippán (*Calamagrostis epigeios*) és a selyemkóró (*Asclepias syriaca*). Utóbbi kettő igen komoly problémát okozhat az erdőgazdálkodásban. A gyomnövények kompetíciós viszonyainak minél alaposabb ismerete a védekezési technológiák kidolgozásához alapvető fontosságú (Ujvárosi, 1957; Babos, 1965; Tóth és Varga, 2008).

A védekezés során figyelembe kell venni az akác vegyszerérzékenységét is, különös tekintettel a gyomirtó szerekre. Akácon a herbicidhatás, amennyiben nem okoz teljes pusztulást, a hajtások és levelek deformációját, elszíneződését eredményezi. Homoktalajokon gyorsan le- és összemosódnak a talajra juttatott gyomirtók, ezért a kijuttatott mennyiséget pontosan kell meghatározni. A herbicidhatás miatt legyengült fiatal akácfák kifejezetten fogékonyá válnak a fuzáriumos és fomopszisos gombafertőzésekre is (Tóth és Varga, 2008).

A gyomirtásról a terület-előkészítés, valamint a sorok és sorközök művelése tárgyalása során már ejtettem pár szót. A mechanikus és vegyszeres kezelést érdemes kombinálva végezni. Totális gyomirtást a terület előkészítése során alkalmazhatunk. Egyszikűek ellen a teljes vegetációs időszakban védekezhetünk az engedélyezett egyszikűirtók valamelyikével. A kijuttatáshoz célszerű megvárni az egyszikű gyomok 20-25 cm-es magasságát. A hatáskifejtéshez 10-14 nap kell, ekkor jelentkeznek a tünetek. Kétszikűek ellen a flumioxazin hatóanyagú PLEDGE 50 WP engedélyezett az erdészeti kultúrákban, valamint csemetekertben. A hatóanyag levélen és talajon keresztül is hatékony. A kijuttatás során ügyelni kell arra, hogy a permetlé ne kerüljön az akác levelére, azaz feltétlenül fakadás előtt vagy után kell alkalmazni. Telepítést követően, amikor a csemete visszametszésre kerül, a metszett felület mindenképp a talaj felszíne

felett legyen kialakítva, ezzel elkerülhető a talaj felszínén akkumulálódott gyomirtószerzónán való kockázatos átnövése a csemetének (Tóth és Varga, 2008).

Rovarkárosítók ellen talajfertőtlenítéssel (cserebogár pajorok ellen), valamint inszekticides kezeléssel (levéltetvek, levélaknázó és lombrágó hernyók ellen) védekezhetünk. Vadkár ellen kerítéssel védekezhetünk és különböző vadriasztó szerekkel mérsékelhető a kár (Tóth és Varga, 2008).

Fungicides kezelés csak az akácfajták előállítása során történik, amikor a dugványokat tárolás, ültetés előtt kontakt gombaölő szerrel kezelik (Rédei, 2008).

Összességében megállapítható, hogy akácosokban nagyon ritkán történik növényvédőszeres kezelés. Ez részben gazdasági okok, részben az akác jó vitalitása miatt van így. A növényvédelemi beavatkozások száma egészséges szaporítóanyag alkalmazásával, megfelelő (fafaj igényeihez igazodó) termőhely megválasztásával (laza, jól szellőzött, üde, mély termőrétegű, hibáktól mentes talaj, fagyzugos helyek kerülése), gondosan elvégzett ápolási (nyesési) munkákkal, mechanikai sor- és sorközműveléssel minimálisra csökkenthető.

2.3.4. Nevelővágások, növőtér-bővítés

Az ültetvényekben, fiatal szálerdőkben és szálerdő állományokban gyérítéseket végeznek, abból a célból, hogy a faegyedek fejlődéséhez kedvező feltételeket biztosítsanak. A hatékony gyérítés elsődleges hatása a megmaradó fák vastagsági növekedésében jelentkezik (Wiedemann, 1943; Béky, 1983; Rédei és Meilby, 2009).

Az erdészek már régóta megfigyelték, hogy az idősebb, nagyobb fák nem reagálnak olyan drasztikusan a gyérítésre, mint a kisméretű, fiatal társaik. Ez különösen igaz az árnyékot nem vagy kevésbé toleráló fafajokra, mint például az akác (Pretzsch, 2009).

A gyérítés inkább a faállományokra, sem mint az egyes fákra vonatkozik. Az a tény, hogy a ritkítás általában növeli az egyes (megmaradó) fák növedékét, nem jelenti azt, hogy az állomány teljes fatérfogata is nő – mivel kevesebb fa van az állományban (Assmann, 1961).

Az akácosok faállomány-nevelésének alapja a tisztítások kellő időben, megfelelő eréllyel és szakértelemmel való végrehajtása. A mageredetű akácosokban az első tisztítás akkor történik, amikor a faállomány záródott és megkezdődött a fák magasság szerinti differenciálódása. Ez függ a termőhelytől és a populáció öröklött tulajdonságaitól

(általában 6-8 méteres átlagos magasság elérésekor, 5-10 éves korban következik be). A famagasság szerinti tagozódás kellő eligazítást ad a tisztítások szakszerű elvégzéséhez (Bakkay, 1956; Halupa és Rédei, 1984; Borde, 2018; Rédei, 2020; Nicolescu et al., 2020).

Az első tisztítást a rossz törzsalakú, alászorult, beteg faegyedek eltávolítása, a másodikat a leendő javafák megsegítése érdekében kell elvégezni. A tisztítással egy időben az ágnyesést is végre kell hajtani (Pápai, 2013; Rédei 2020).

Az erdészeti gyakorlatban – az állomány életszakaszának függvényében – megkülönböztetünk törzskiválasztó (rudas erdő, 14-19 éves korban) és növedékfokozó gyérítést (szálas erdő, 22-23 éves korban). Ez utóbbit csak I-III. fatermési osztályban lévő akácokban szokták elvégezni. A törzskiválasztó gyérítés idején a fejlődési szakaszra az erőteljes, bár 13-15 éves kor után csökkenő magassági növekedés jellemző. Ezzel egyidejűleg azonban fokozódik a vastagsági növekedés mértéke. A törzskiválasztó gyérítés fő feladata – a faállomány további törzsszámcsökkentése révén – a javafák kiválasztása, mely során a hengeres törzsű, egyenes rostlefutású, monopodiális, egészséges, dúslombozatú fák előnyben részesítése, kiválasztása történik. A korona megközelítőleg 1/3 részben borítsa a törzset. A nyesést csak a kijelölt javafákon kell elvégezni, továbbá törekedni kell arra, hogy a törzsek 4-6 m magasságig ágmentesek legyenek (Rédei, 2006; Pápai, 2013; Nicolescu et al., 2020).

A növedékfokozó gyérítés fő feladata a kiválasztott javafák fenntartása és a részükre szükséges növétér megteremtése. Különböző, egymástól független vizsgálatok alapján 75-80% az a korona-záródási érték, amikor a visszamaradó állományrész (főállomány) értéknövedéke még ellensúlyozni tudja a gyérítéssel eltávolított fatérfogat-növedék kiesését (Rédei, 2020).

Azokban az akácokban, ahol az elsődleges termelési cél a fatermelés, a véghasználat időpontját Rédei (1984) úgy állapította meg, hogy célválasztékként az I-III. fatermési osztályú faállományokban (várható fatérfogat: $260-330 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) minőségi fűrészrönköt, a III-IV. fatermési osztályokban (várható fatérfogat: $160-210 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) kisebb részben fűrészrönköt, nagyobb részben oszlop- és rúdfát termelhesünk. Az V-VI. fatermési osztályba tartozó akácokból (várható fatérfogatuk $80-120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) tulajdonképpen csak vékony iparifa-választékokat, valamint tűzifát lehet nyerni (Rédei, 2020).

Több kutatómunka is rámutatott arra, hogy nevelővágásokkal, gyérítéssel az állomány fatermése, fatérfogata nem fokozható, a törzsminőség viszont javítható (Rédei et al., 2011, 2019; Rédei és Ábri, 2022).

Az akácfajtákra alkalmazható növőtér-bővítési technológiák jelenleg nem tekinthetők véglegesnek. Az eddigi vizsgálatok és megfigyelések alapján valószínűsíthető, hogy a szelektált fajták faállományainak törzsszámcsökkentése során is valamennyire szerepe kell, hogy legyen az egyedi válogatásnak. A termesztési kísérletek (Keresztesi, 1988; Rédei 1994, 2006, 2008; Rédei et al., 2017; Ábri et al., 2021) alapján az átlagfa-térfogati értékek általában közel megegyezők, a faállomány-minőségre utaló mutatószámok viszont a termesztési kísérletek többségében 8-16 %-os többletet jeleznek a szelektált fajták javára (**3. táblázat**).

3. táblázat Az 'Üllői' akác és a közönséges akác főállományra vonatkozó szerkezeti és az egészállományra vonatkozó minőségi adatai 17 éves korban

(Mikebuda 22D erdőrészlet) (Rédei, 2008 alapján)

Fajta	H	A	D _{1,3}	A	v	A	Faállomány-minőségi jelzőszám*
	m	kontroll %-ában	cm	kontroll %-ában	dm ³ fa ⁻¹	kontroll %-ában	
'Üllői' akác	16,2	102	14,1	98	130	99	1,86
Közönséges akác (kontroll)	16,0	100	14,3	100	131	100	2,17

*Megjegyzés: H = faállomány átlagos magassága; D_{1,3} = faállomány átlagos mellmagassága (1,3 m) átmérője; v = átlagfa-térfogat. *A faállomány-minőségi jelzőszámot a törzsminőség értékek (1-4) törzsszámmal súlyozott számtani átlaga alapján került meghatározásra.*

A szelektált akácfajtákkal létrehozott állományok nevelésének (növéterszabályozásának) irányelvei több szempontból is eltérnek a magcsemetével létesített állományokétól. A tágabb ültetési hálózat miatt lehetőség nyílik a vágások számának csökkentésére, továbbá a faültetvényekhez közelálló kombinált nevelési mód részbeni alkalmazására (az egyedszelekció itt sem hagyható el) (Rédei, 2008).

Szelektált akácfajták termesztése csak kiváló és jó ökológiai (termőhelyi) viszonyok között rentábilis. Gyengébb akáctermőhelyeken, mivel az ültetvényszerű termesztési technológia előnyei nem érvényesíthetők, a gazdálkodás az esetek döntő többségében veszteséges lesz (Rédei, 2009). A kiváló és jó akáctermőhelyeken (I-III. fatermési osztály) fűrészipari alapanyag termelésére, Rédei (2008) által kidolgozott növőtér-bővítési modell alapján, a 2,5 × 2,0 m-es induló hálózatú, ültetvényszerűen nevelendő állományokban (5 m² fa⁻¹ növőtér) összesen két növőtér-bővítést célszerű

végezni (**4. táblázat**). Az elsőt 9-10 éves korban, amikor a beavatkozás során megközelítőleg 50%-os törzsszám-csökkentést végeznek, így a nevelővágás utáni hálózat átlagosan $10 \text{ m}^2 \text{ fa}^{-1}$ növényteret feltételez, a kitermelt faanyag részbeni értékesíthetősége mellett. A második növényter-bővítést (16-17 éves korban) szintén 50%-os törzsszámcsökkentéssel végzik. Ennek során a kitermelt faanyag nagyobb része már ipari felhasználásra is alkalmassá válik, így a vázolt termesztési technológia ökonómiaiilag rentábilisnak tekinthető (Rédei, 2020).

4. táblázat Szelektált akácfajtákkal létesített faültetvények növényter-bővítési modelljei (2,5 m × 2,0 m ültetési hálózatban) (Rédei 2008 alapján)

Termesztési cél: oszlop, illetve fűrészrönk					
Ültetési hálózat: 2,5 × 2,0 m, ültetési csemeszám: 2000 db/ha					
Megnevezés	Kor	Átlagos magasság	Átlagos átmérő	Törzsszám	Várható bruttó fatérfogat
		H	D _{1,3}	N	V
	év	m	cm	db ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹
I. fatermési osztály					
Növényter-bővítés előtt	9–10	14	13	1000	90
Növényter-bővítés után	16–17	20	18	500	130
Véghasználat	30	25	25	450	270
II. fatermési osztály					
Növényter-bővítés	9–10	13	11	1000	90
Növényter-bővítés	16–17	18	16	500	120
Véghasználat	30	23	23	450	220
III. fatermési osztály					
Növényter-bővítés	9–10	12	10	1000	55
Növényter-bővítés	16–17	17	15	500	80
Véghasználat	30	21	21	450	170

Megjegyzés: H = faállomány átlagos magassága; $D_{1,3}$ = faállomány átlagos mellmagassági (1,3 m) átmérője; N = törzsszám; V = fatérfogat.

Az adatok főállományra, vagyis a növényter-bővítések elvégzése utáni állományrészre vonatkoznak. Fatermési tábla: Rédei et al. (2021)

Az **5. táblázatban** közölt, szintén Rédei (2008) által készített modellek szerint nevelendő, minimum $3,0 \times 3,0$ méter induló hálózatú, szelektált akácfajtákkal létesítendő faültetvényekkel is csak kiváló és jó termőhelyeken érdemes foglalkozni. Rövidebb vágásforduló tervezése esetén (20-25 év) a termesztési cél oszlop, illetve alsóbb mérethatárú fűrészipari rönk előállítására lehet (Rédei, 2008). Ennek a termesztési technológiának alkalmazására elsősorban Franciaországban és Olaszországban találunk példát (Nicolescu et al., 2020).

5. táblázat Szelektált akácfajtákkal létesített faültetvények növőtér-bővítési modelljei
(3,0 m × 3,0 m ültetési hálózatban) (Rédei 2008 alapján)

Termesztési cél: oszlop, illetve fűrészrönk					
Ültetési hálózat: 3,0 × 3,0 m, ültetési csemeteség: 1100 db/ha					
Megnevezés	Kor	Átlagos magasság	Átlagos átmérő	Törzsszám	Várható bruttó fatérfogat
		H	D _{1,3}	N	V
	év	m	cm	db ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹
I. modell					
Növőtér-bővítés előtt	10	13	10	1100	60
Növőtér-bővítés után	10	14	11	700	50
Véghasználat	20	20	18	700	180
II. modell					
Növőtér-bővítés előtt	8	10	8	1100	35
Növőtér-bővítés után	8	11	9	750	30
Növőtér-bővítés előtt	15	17	14	750	105
Növőtér-bővítés után	15	18	15	500	85
Véghasználat	25	22	20	500	180

Megjegyzés: H = faállomány átlagos magassága; D_{1,3} = faállomány átlagos mellmagassági (1,3 m) átmérője; N = törzsszám; V = fatérfogat. Az adatok főállományra, vagyis a növőtér-bővítések elvégzése utáni állományrészre vonatkoznak. Fatermési tábla: Rédei et al. (2021)

2.3.5. Véghasználat, rekultiváció

Az akácok fatermésének, növekedésmentének megismeréséhez nagy segítséget nyújtanak a fatermési táblák. A közönséges (mag- és sarjeredetű) akácra (Rédei, 1984), valamint szelektált akácfajtákra (Rédei et al., 2021) is dolgoztak ki ilyen numerikus fatermési táblákat. A faállományok fatermési osztályba sorolása koruk és átlagos magasságuk szerint történik. A fatermési táblák alapján megállapítható, hogy a véghasználatot mag- és sarjeredetű akácokban általában 30-35 éves, szelektált akácfajták esetében 2,5 m × 2,0 m hálózatba ültetett állományonál 25-30 éves, 3,0 m × 3,0 m ültetési hálózatba telepítettél 20-25 éves vágásérettségi korban (tapasztalatok alapján a faállomány állapota ekkor felel meg a termesztési célkitűzéseknek) érdemes végezni. A véghasználat módja: tarvágás, a teljes állomány letermelése (Führer et al., 2008; Rédei, 2009, 2020; Nicolescu et al., 2020).

Véghasználat után, a 135/2017. (VI. 9.) fás szárú ültetvényekről szóló kormányrendelet értelmében, az akácültetvény területét a megszüntetését követően a termőföld védelméről szóló 2007. évi CXXIX. törvényben foglalt talajvédelmi szempontok figyelembevételével, valamint a területen található faegyedek tovább terjedésének megakadályozásával az eredeti művelési ágnak megfelelő állapotba kell hozni. A területen rekultivációt kell végrehajtani. Ez tulajdonképp a tuskók,

gyökérsarjak eltávolítását jelenti (herbicides és mechanikus megoldásokkal). A tuskókiszedés a teljes vágásterületről vagy részlegesen (meghatározott sávokban) történhet. Fontos, hogy a kiemeléskor a tuskóval együtt a vastagabb gyökereket is kihúzzák. A teljes kituskózásra különböző típusú tuskókiemelők használhatók. Másik megoldásként a 30 cm-nél nagyobb átmérőjű tuskókat tuskófúróval (forgácsolóval) távolíthatják el. A kiszedett tuskókat és gyökereket egymástól 50–70 m távolságban pásztaiba tolják össze, vagy tuskóaprító géppel felaprítják azokat. Homokterületeken számításba kell venni, hogy a tuskók letolása esetén a talaj minimális termőrétegét is letolhatjuk (Rédei 2009, 2020).

2.4. Az akác növekedése és fatermése

Ahogy, azt a bevezetésben említettem az akác egy gyorsan növény faj, melynek Európában magassági és vastagsági növekedése – a termőhely függvényében – az első 10-15 évben a legintenzívebb. Az akácfák magassága 5 éves korukra akár a 10 m-t is elérheti, 15 éves kor után lassul a növekedés. 20 éves korban 20 m, 30 éves fáknál 25-30 m prognosztizálható. A legmagasabb európai akácfa Németországban található, 39 m magas. A mellmagassági átmérő 10 éves korban 10,8 cm, 25-30 éves faegyedeknél 20 cm is lehet. A legvastagabb európai akácfa szintén Németországban található, 244 cm-es mellmagassági átmérővel rendelkezik (Nicolescu et al., 2020).

Az akác gyors fiatalkori növekedése miatt viszonylag korán jelentős fatömeget képes produkálni. A legjobb termőhelyi körülmények között 20 éves korban több mint $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, 30 évesen $290 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, és $350 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ 40 évesen (Rédei, 2006; Nicolescu et al., 2020).

A szelektált akácfafták fejlesztését célzó kutatómunkák célja az, hogy mind fatermésben, mind minőségben felülmúlják a közönséges akácot, valamint az, hogy az állomány egyöntetű legyen, illetve marginális termőhelyen, szélsőséges környezeti körülmények között is jobb faanyagot, fatermést biztosítson, mint a „kommersz” akác.

2.5. Az akác fitofiziológiájának áttekintése

2.5.1. A legfontosabb élettani paraméterek jellemzése

Közismert tény, hogy a növények a nap sugárzó energiájának hasznosításával szerves anyagot állítanak elő. A fotoszintézis a növényi élet alapja. Intenzitását számos környezeti tényező (CO_2 koncentráció, hőmérséklet, megvilágítás, víz- és

tápanyagellátottság) befolyásolja. Az asszimiláció (A) során, a beérkező fotonok energiája segítségével a CO₂ redukálódik, szénhidrátok épülnek be, illetve a víz hasításával oxigén szabadul fel. Stressz hatására – legyen az abiotikus, biotikus vagy épp antropogén eredetű – a fotoszintézis intenzitása csökken, ezzel együtt a termelt asszimilátumok mennyisége is csökken, anyagcserezavarok, ún. metabolikus gátlás is bekövetkezik (Farquhar and Sharkey, 1982; Pethő, 1998; Flexas et al., 2004; Chaves et al., 2009; Farooq et al., 2009; Meng et al., 2014). Napjainkban a leggyakoribb stresszfaktorok, amivel az erdő- és mezőgazdászok szembesülnek: a magas hőmérséklet és szárazság.

A növények leghőérzékenyebb fiziológiai mechanizmusa a fotoszintézis, azon belül is a 2-es fotokémiai rendszer (PSII) (Ghouil et al., 2003; Wahid, 2007; Mathur et al., 2014). A hőstressz negatívan befolyásolja a fotoszintetikus folyamatokat, ami a következő hatásokban nyilvánul meg: a CO₂-asszimiláció csökken a RuBisCO aktiváz gátlása miatt, a klorofillmolekulák szétesnek, a tilakoidmembránok fluiditásai növekednek, az enzimek dezorganizálódnak, a D1 és D2 fehérjék denaturálódnak, a reakciócentrumok leválnak a PSII-ről és/vagy az elektrontranszportlánc és az oxigénbontó komplex károsodik (Froux et al. 2004; Godoy et al., 2011; Kalaji et al., 2016; Guha et al., 2018; Húdoková et al., 2022). A PSII állapota egy fontos mutatója a növény stressztűrő képességének. Abban az esetben, ha a növényt több fény éri, mint amennyit hasznosítani vagy valamelyik szabályozó mechanizmusa (pl. a felesleges fény átalakítása, hőként történő kibocsátása) révén közömbösíteni képes fotoinhibíció jelentkezik, továbbá a fotoszintetizáló rendszer károsodásához vezethet. A fotoinhibíció elsősorban a kettes fotokémiai rendszer működését zavarja, mely negatívan hat a többi élettani folyamatra is (Janda, 2023). Vízhiány esetén a sztómák záródnak, a sztómakonduktancia (g_{tc} és g_{sw}) alacsony lesz, aminek következtében az intercelluláris CO₂ koncentráció (C_i), a fotoszintézis intenzitásától függően csökkenni kezd (Cornic, 2000; Chaves et al., 2009).

A nap energiája nem csak a fotoszintézisben hasznosul. A növény által abszorbeált fényenergia jelentősebb része hővé alakul át, ezért a levél hőmérséklete emelkedik. A levegő és a levél hőmérséklete ($T_{\text{levegő}}$ és $T_{\text{levél}}$) csak ritkán azonos. Amíg a növény vízellátása kedvező, a transzspiráció hűtő hatása érvényesül, s a levél hőmérséklete néhány fokkal alacsonyabb is lehet, mint a környező levegőé. Ha azonban a sztómák becsukódnak, a $T_{\text{levél}}$ meghaladhatja a $T_{\text{levegő}}$ értékét. Rendszerint ilyen körülmények között jelentkezik a levelek hőkárosodása (napperzselés). A növényi szervek

hőmérséklete (az anyagcsere-folyamatok intenzitását meghatározó egyik faktor) tehát bizonyos mértékig eltérhet a közvetlen környezet hőmérsékletétől (Pethő, 2002).

A levél vízgőz telítettségi nyomás ($VPD_{\text{levél}}$, VPD_{leaf} – Leaf Vapour Pressure Deficit) a párolgás szempontjából egy jó indikátor, mely a növények szárazságtűrő képességének vizsgálatára is alkalmas. A VPD hatással van a sztómák záródására, így közvetve hat CO_2 felvételre és ezáltal a biomassza produkcióra. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a sztómák VPD-re való érzékenysége nagymértékben fafajfüggő (Kamakura, 2015; Tsuyi et al., 2020).

A transzspiráció (Tr) a hidrológiai ciklus fontos részét képezi, mely során a talajban lévő víz a növényen keresztül a levegőbe kerül. Csakúgy, mint a fotoszintézist (asszimilációt), a növények párologtatását is rengeteg tényező (környezeti és antropogén) befolyásolhatja. Jiao és munkatársai (2016, 2019) Kína északi részén, a Góbi sivatagtól délkeletre található, marginális termőhelyen (szemi-arid), a Kínai löszfennsíkon (Loess Plateau) vizsgálták az akácok transzspirációját. Megállapították, hogy a talaj nedvességtartalmának növekedésével a transzspiráció, ezzel együtt a sztóma konduktancia (g_{tc} és g_{sw}) is növekszik, továbbá vizsgálati eredményeik arra is rámutattak, hogy az idősebb akácok fiziológiai szempontból aktívabbak, mint a fiatalabbak.

Zheng és munkatársai (2011) 'in-situ' módon vizsgálták egy, szintén a löszfennsíkon tenyésző, 18 éves akác fotoszintetikus gázcsere folyamatát (A, Tr, g_{tc} és g_{sw} , C_i), összevetve az arra hatást gyakorló környezeti tényezőkkel. Eredményeik azt mutatják, hogy a fotoszintetikusan aktív sugárzás (Photosynthetically Active Radiation = PAR), a levegő hőmérséklete, valamint páratartalma számít a legfontosabb faktoroknak, melyek az akác fotoszintézisét befolyásolják. Később a gyérítés nettó asszimilációra és szénmegkötő kapacitásra gyakorolt hatását is vizsgálták, mely során megállapították, hogy az állománysűrűség csökkentésével e két paraméterben növekedés figyelhető meg (Zheng et al., 2019). Akácokban az előbbiekhöz hasonló vizsgálatokat, 'in-situ' fitofiziológiai méréseket több kutató, több alkalommal is végzett (Yang et al., 2014; Meng et al., 2014, 2016; Qin et al., 2016), ugyanakkor akácklón összehasonlító kísérletekben még nem történt ilyen jellegű mérés.

Érdemes még megemlíteni, hogy a fentebb tárgyalt fiziológiai paraméterekből (A és Tr) olyan, környezetgazdálkodási szempontból hasznos mutatót lehet kiszámolni, mint például a vízhasznosítás (WUE – Water Use Efficiency), mely kulcsfontosságú paraméter a fenntartható növénytermesztés és –nemesítés végrehajtásához (Tanner és Sinclair, 1983; Sinclair et al., 1984; Flexas et al., 2013).

2.6. Vegetációs indexek (NDVI, GNDVI) irodalmi áttekintése

A távérzékeléses metodikák alkalmazásával foglalkozó kutatók ún. vegetációs indexeket (VI) dolgoztak ki a növények kvalitatív és kvantitatív értékelésére. Ez különböző spektrális mérések segítségével történhet. A növényzettel borított területek spektrális visszaverődési értéke a növényzet, a különböző környezeti hatások, az árnyék, valamint a talaj reflektanciájának, színének és nedvességtartalmának összetett keveréke. A VI-t befolyásolhatja még a légkör térben és időben történő változásai is (Bannari et al., 1995).

Az elmúlt évtizedekben számos vegetációs indexet kifejlesztettek a vegetáció minél pontosabb detektálhatósága és a fent leírt tényezők hatásainak minimalizálása érdekében (Rouse et al., 1974; Bannari et al., 1995; Tsouros et al., 2019; Duarte et al., 2022; Ecke et al., 2022). Ezek közül kutatómunkám során az NDVI-t és a GNDVI-t használtam.

Az NDVI a legszélesebb körben használt vegetációs index, mely egy 0-1-ig terjedő skálán lévő érték, ami megmutatja, hogy a növényzet mennyi fotoszintetikusan hasznos sugárzást nyel el, illetve ver vissza. Minél többet elnyel, annál fejlettebb vagy éppen egészségesebb a vegetáció. Azaz minél zöldebb, annál jobb a fotoszintetikus aktivitás, annál nagyobb az NDVI érték (0,66-1 közötti érték igen jónak számít) (Rouse et al., 1974). A GNDVI az NDVI egyik alternatívája. A kettő között a különbség csupán annyi, hogy míg az NDVI esetében a vörös (red), addig a GNDVI-nál zöld (green) csatornát használjuk, így a szélesebb dinamikataromány miatt, a klorofill tartalomra érzékenyebb felvétel készíthető (Gitelson et al., 1996). Ezek az indexek alkalmasak a növényi vegetáció monitorozására (pl. klorofill koncentráció, fotoszintézis intenzitás, biomassa tömeg, tápanyagellátottság, növény egészségügy) (Gitelson et al., 2003, 2005; Gutierrez-Rodriguez et al., 2006; Wang et al., 2007; Basso et al., 2019).

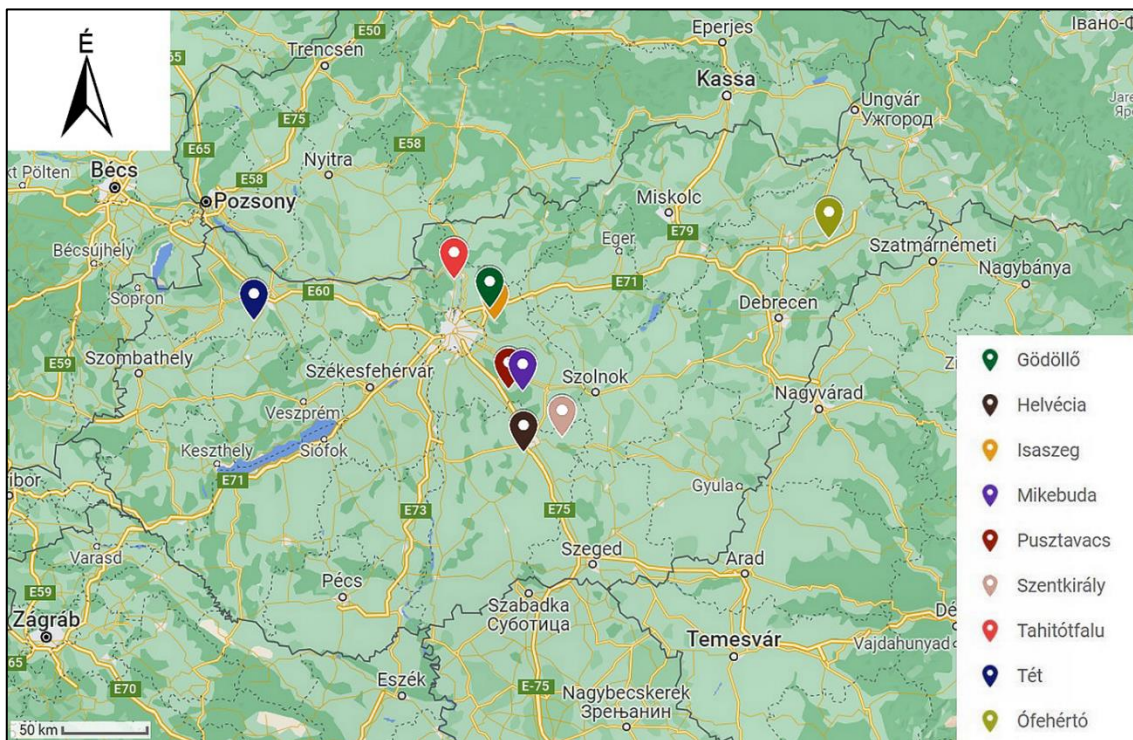
A vegetációs indexek mérése történhet műholdképek, illetve ortofotók (pl. drónfelvételek) alapján, hiper- vagy multispektrális fotókból (Robinson et al., 2017; Xue és Su, 2017; Dainelli et al., 2021), valamint földi mérések, pl. kézi NDVI mérő műszer segítségével (Csajbók et al., 2020, 2022). Kutatómunkám során kézi NDVI műszerrel (Trimble Greenseeker), valamint drón (UAV) által készített multispektrális felvételekkel dolgoztam.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A vizsgált területek jellemzése

3.1.1. A 'Jászkiséri', 'Nyírségi' és 'Üllői' akácfajták kísérleti állományainak területének bemutatása

Kutatásom során 59 (25 'Üllői'; 21 'Nyírségi'; 13 'Jászkiséri') különböző korú (5-35 éves) szelektált akácfajtákkal létesített kísérleti faállomány faállomány-szerkezeti vizsgálatának eredményét – részben szakirodalmi forrásból (Keresztesi, 1988; Rédei, 1994; 2006; 2008; Csiha et al., 2016; Rédei et al., 2020), részben a NÉBIH, illetve saját állományfelvételek adataiból származnak – értékeltem. Ezek Tét, Tahitótfalu, Gödöllő, Isaszeg, Pustavacs, Mikebuda, Helvécia, Szentkirály és Ófehértó települések közelében találhatók (3. ábra).



3. ábra Szelektált akácfajtákkal létesített kísérleti ültetvények elhelyezkedése

A kísérleti területek – a hazai erdő-és termőhelytipológiai besorolás szerint (Járó, 1972; Járó és Lengyel, 1984) – cseres-kocsánytalan tölgyes vagy erdőssztyepp klímában helyezkednek el, döntően többletvízhatástól független hidrológiai viszonyok mellett, humuszos homoktalajon, agyagbemosódásos barna erdőtalajon, illetve rozsdabarna

erdőtalon, melyek változatos termőréteg vastagsággal (sekélytől mélyig) és homok, illetve homokos vályog alapkőzettel rendelkeznek (erdőtervi adatok alapján) (6. táblázat).

6. táblázat Az 'Üllői', 'Nyírségi' és 'Jászkiséri' akác állományok termőhelytípus-változata (Keresztesi, 1988; Rédei, 1994; 2006; 2008; Csiha et al., 2016; Rédei et al. 2020; Ábri et al. 2021; 2022a alapján)

Erdőrészlet, kísérleti parcella	Klíma	Hidrológia	Genetikai talajtípus	Termőréteg vastagsága	Fizikai talajféleség
Gödöllő, Arborétum	KTT-CS	VFLEN	RBE	MÉ	H
Gödöllő 5G/1	KTT-CS	VFLEN	RBE	KMÉ	HV
Gödöllő 5G/2					
Gödöllő 5G/3					
Gödöllő 5G/4					
Gödöllő 5G/5	KTT-CS	VFLEN	RBE	MÉ	H
Gödöllő 5G/6					
Gödöllő 5G/7					
Gödöllő 7B/1					
Gödöllő 7B/2					
Gödöllő 7B/3	ESZTY	VFLEN	HH	SE	H
Gödöllő 7B/4					
Helvécia 22E					
Helvécia 67B (NÉBIH)					
Helvécia 80A	ESZTY	VFLEN	HH	SE	H
Isaszeg	KTT-CS	VFLEN	RBE	MÉ	H
Mikebuda 12H	ESZTY	VFLEN	HH	KMÉ	H

Erdőrészlet, kísérleti parcella	Klíma	Hidrológia	Genetikai talajtípus	Termőréteg vastagsága	Fizikai talajféleség
Mikebuda 22E	ESZTY	VFLEN	HH	KMÉ	H
Ófehértó 13F	KTT-CS	VFLEN	HH	KMÉ	H
Pusztavacs 161A	ESZTY	VFLEN	HH	KMÉ	H
Pusztavacs 212A					
Pusztavacs 213B					
Pusztavacs 213C					
Szentkirály 40F/1	ESZTY	VFLEN	HH	KMÉ	H
Szentkirály 40F/2					
Szentkirály 47H/1					
Szentkirály 47H/2					
Tahitótfalu (ERTI)	KTT-CS	IDŐSZ	RBE	KMÉ	HV
Tét 16K/1	KTT-CS	VFLEN	ABE	SE	H
Tét 16K/2					
Tét 16K/3					
Tét 16K/4					
Tét 16K/5					
Tét 16K/6					
Tét 16L					

Jelmagyarázat: KTT-CS = Kocsánytalan tölgyes, ill. cseres klíma; ESZTY = Erdőszyepp klíma; VFLEN = Többeltvízhatástól független; IDŐSZ = Időszakos vízhatású; HH = Humuszos homok; RBE = Rozsdabarna erdőtalaj; ABE = Agyagbemosódásos barna erdőtalaj; SE = sekély; KMÉ = középmély; MÉ = mély; H = Homok; HV = Homokos vályog

3.1.2. A szentkirályi és a helvéciai kísérleti terület bemutatása

A fentebb felsoroltak közül részletesen foglalkoztam a Szentkirály 47H erdőrésztben található, 2022-ben vágásérettségi kort (35 év) elérő akác fajta-összehasonlító kísérlettel, illetve a Helvécia 22E erdőrésztben található akác klón-összehasonlító kísérlettel is.

A szentkirályi kísérleti terület (Szentkirály 47H erdőrészt, korábban Szentkirály 40F) a Duna-Tisza közti homokhátság keleti, a helvéciai (Helvécia 22E erdőrészt) a

középső részén található. A tájegységen a klímaváltozás negatív hatásainak következményeként fellépő csapadékmennyiség csökkenésével, illetve egyenetlen eloszlásával (szárazodás), talajvízszint süllyedésével, továbbá az átlag hőmérséklet emelkedésével számos tanulmány foglalkozott (Kertész, 2001; Pálfi, 1992; 2003; Kertész és Křeček, 2019; Szabó et al., 2022). 2004-ben az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezete (FAO) a felsivatagos övezetek közé sorolta (UNCCD, 2006).

A szentkirályi kísérleti állomány erdősztyepp klímán, többletvízhatástól független területen, középmély termőrétegű humuszos homoktalajon található. A térségben, az OMSZ kecskeméti meteorológiai állomásának 35 éves adatsorának átlaga (1987-2021 közötti időszak) alapján, az évi átlagos középhőmérséklet 11,1 °C, az éves csapadékmennyiség 533 mm. Az állományvizsgálatot megelőző évben (2021) az évi átlagos középhőmérséklet 0,2 °C-kal volt több, a csapadékmennyiség 68 mm-rel kevesebb a sokéves átlagnál.

A Helvécia 22E erdőrészlet szintén többletvízhatástól független területen, sekély termőrétegű, humuszos homoktalajon található. Az évi átlagos középhőmérséklet 10-11 °C, az éves csapadék mennyisége 500-550 mm, az éves lefolyás 16 mm (Szabó et al., 2022). Az állományvizsgálatot megelőző évben (2020) az évi átlagos középhőmérséklet 11,9 °C volt, a csapadékmennyiség 590 mm (OMSZ, kecskeméti meteorológiai állomás).

3.1.3. A napkori kísérleti terület bemutatása

A napkori kísérleti ipari célú faültetvény, akác-klónösszehasonlító kísérlet az Alföld északkeleti részén, a Nyírség középtáj közepén található (Napkor 0185/5-6-7, 16-17-18 helyrajzi számok) (UTM 563210 E; 5307770 N). Itt az elmúlt 30 év (1991-2020) meteorológiai adatainak (OMSZ Nyíregyháza-Napkor meteorológiai állomás) vizsgálata alapján az évi átlagos középhőmérséklet 10,6 °C, az átlagos éves csapadékmennyiség 537 mm. A mérések évében (2021 és 2022) a hőmérséklet 0,1 illetve 1,1 °C-kal volt magasabb (2021, 10,7 °C; 2022, 11,7 °C), még a csapadék 12, illetve 120 mm-rel volt kevesebb a sokéves átlagnál (2021, 525 mm; 2022, 417 mm). Ugyanakkor, meg kell említeni, hogy a 2023-as év első felében (január-június) 301,8 mm csapadék hullott, ami 43 mm-rel több, mint a 2021-es első félévében mért mennyiség (258,8 mm) és 195,6 mm-rel nagyobb érték, mint amit 2022 azonos időszakában mértünk (106,2 mm).

A 2022-es időjárás szélsőségei leírására Führer et al. (2011) szerinti egyszerűsített erdészeti szárazság indexet (FAI), valamint a hőmérséklet-csapadék faktort (HCSF) használtam.

A hazai erdőgazdálkodási gyakorlat Járó (1972) alapján 4 klímakategóriát különböztet meg, melyeket az adott terület éghajlatát leginkább jellemző fafaj szerint neveztek el: bükkös (továbbiakban: B) (legalacsonyabb átlag hőmérséklet, legnagyobb csapadékmennyiség), gyertyános-tölgyes (továbbiakban: GYT), kocsánytalan tölgyes-cseres (továbbiakban: KTT-CS), erdősztyepp (továbbiakban: ESZTY) (legmelegebb, legszárazabb) klíma. Führer és munkatársai (2011) ennek alapján alkották meg az ún. erdészeti szárazság indexet (FAI). A FAI meghatározása a növények fő növekedési időszakában (május-augusztus) és általános vitalitásukat leginkább meghatározó hónapokban (július, augusztus) mért hőmérséklet (T) és csapadék (P) adatok kiszámításával történik.

$$FAI = \frac{T_{júl+aug}}{P_{máj+jún+(2 \times júl)+aug}} * 100$$

Az adott év fás szárú vegetáció fejlődése, azok egészségi állapota szempontjából legfontosabb időszak (március-augusztus) időjárása az ún. Hőmérséklet Csapadék Faktorról (HCSF) is jellemezhető. A HCSF értéket fák, erdők erdővédelmi vizsgálata során használják a SoE ERTI kutatói (I4).

$$HCSF = \frac{T_{már-aug}}{P_{már-aug}} * 100$$

A 2,66 ha kiterjedésű kísérleti terület két különböző pontján (legmagasabb és legalacsonyabb) termőhely-feltárást végeztünk (**1. kép**), talajmintát vettünk talajvizsgálat céljából, melynek eredménye alapján megállapítható, hogy a termőhely kis humusztartalmú (Hu %=1>), savanyú kémhatású (pH_{KCl} 5,17-5,34) humuszos homoktalaj. A talaj foszforellátottsága alacsony (Al-oldható P₂O₅ 5,21 mg/100g), káliumellátottsága közepes (Al-oldható K₂O 17,15 mg/100g). Talajfizikailag homok kategóriába (K_A=30>) sorolható.



1. kép Talajszelvény a napkori kísérleti területen (Dr. Keserű Zsolt, Napkor, 2019)

3.2. Vizsgált erdőállományok és faültetvények jellemzése

3.2.1. A szentkirályi kísérleti állomány jellemzése

A szentkirályi akác fajta-összehasonlító kísérletet 1988 februárjában hozták létre az ERTI és a KEFAG munkatársai. A 2,72 hektáros erdőrészletben 8, 48×50 méteres parcellát alakítottak ki, melyekben 20×25 méteres mintaparcellákat jelöltek ki. A telepítéshez 1 éves, vegetatív úton, gyökérdugványról szaporított csemetéket használtak, melyek $2,4 \times 1,0$ méteres ültetési hálózatba kerültek (1000 db/parcella). A vizsgált klónok a következők voltak: 'Üllői' (1. és 6. parcella), 'Nyírségi' (2., 5. és 7. parcella), 'Császártöltési' (3. és 8. parcella), 'Zalai' (4. parcella). Ez utóbbi, 4. parcellába kerültek más klónok, ezért ez nem került felvételre, kiértékelésre. Az évek során az egész területen azonos jellegű és erélyű erdészeti beavatkozások történtek.

3.2.2. A helvéciai kísérleti állomány jellemzése

A Helvécia 22E erdőrésztletben található akác klón-összehasonlító kísérlet gyenge adottságú, szárazodó, sekély termőrétegű területen létesült 2006-ban. Az ültetés két ütemben valósult meg (tavasszal és ősszel). A kísérletben államilag elismert fajtát ('Jászkiséri'), szárazságtűrésre szelektált fajtajelölteket ('Vacsi', 'Homoki', 'Oszlopos', 'Bácska'), valamint kecskeméti származású magról szaporított közönséges akácot vizsgáltam, hasonlítottam össze.

Az első ütemben (továbbiakban: Helvécia 22E/1) megvalósult telepítés során vegetatív úton szaporított klónok ('Vacsi', 'Homoki', PV 201E 2/3, PV 210A 2/2, KH 56A 2/2, illetve Kínai-1 jelzésűek), továbbá a 'Jászkiséri' és a közönséges akác került kiültetésre 2,5 × 2,0 méteres ültetési hálózatban. Az akác sorok közé, a klónok elválasztására, pusztaszilt (*Ulmus pumila*) ültettek 2,5 × 0,66 m ültetési hálózatba. A fent megnevezettek közül a 'Homoki' (62 db) és 'Vacsi' (143 db) fajtajelöltek, a 'Jászkiséri' (47 db) és a közönséges akác (59 db) vizsgálata történt.

A második ütemben (továbbiakban: Helvécia 22E/2), 2006 őszén szintén vegetatív úton szaporított klónok ('Bácska', 'Oszlopos', PV 201E 2/6 jelzésű), valamint államilag elismert akác fajták ('Jászkiséri', 'Kiskunsági', 'Appalachia', 'Szajki') kerültek kiültetésre egy tágabb, 2,5 × 3,0 méteres ültetési hálózatba. Ebben az esetben is pusztaszilt ültettek az akácklónok közé, viszont itt 2,5 × 0,75 méteres ültetési hálózatba. A fentebb írt klónok és fajták közül a 'Bácska' (66 db) és 'Oszlopos' (140 db) fajtajelölteket, továbbá a 'Jászkiséri' fajtát (178 db) vizsgáltam. Meg kell említeni, hogy a terület heterogenitásából adódóan az 'Oszlopos' fajtajelölt egy talajhibás részre került, emiatt igen gyenge növekedést produkált.

A szükséges talajmunkákat, ápolásokat gondosan elvégezték. A területet vadvédelmi kerítéssel körbekerítették.

3.2.3. A napkori kísérleti állomány jellemzése

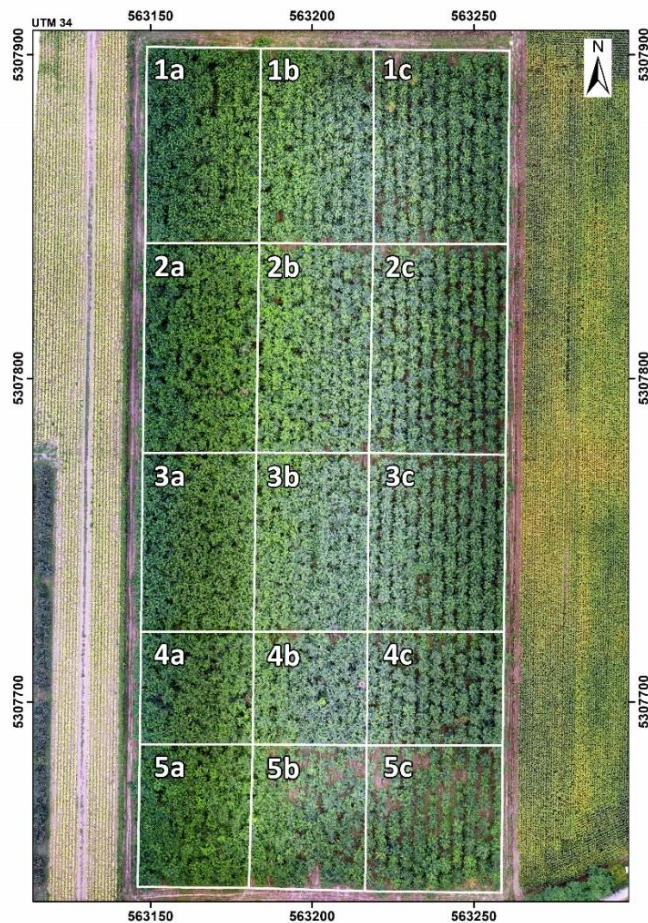
A Napkor település mellett létesült kísérleti ültetvényt a SoE ERTI és a Napkori Erdőgazdák Zrt. munkatársai hozták létre 2020. évben, azzal a céllal, hogy újonnan szelektált akácklónokat vizsgáljanak, hasonlítsanak össze az államilag elismert 'Üllői' akáccal.

A kísérletben felhasznált fajtajelölt klónok a következők: 'Laposi' (nemesítői jel: NK1), 'Napkori' (nemesítői jel: NK2), 'Farkasszigeti' (nemesítői jel: PL040),

'Püspökladányi' (nemesítői jel: PL251). A továbbiakban a nemesítői jelükkel hivatkozom rájuk.

A kísérleti területen, 2020. május elején elvégezték a talajelőkészítést, mely során, mélyszántás és szántás-elmunkálás történt. Ezen kívül előkészítő talajmunkák elvégzésére is sor került a tavaszi mély talajelőkészítés (talajlazítás) érdekében. A létesítendő ültetvényt a vadkár elleni védekezésként kerítéssel körbekerítették.

A vegetatív úton előállított csemetéket – NK1 (n = 728 db), NK2 (n = 356 db), PL040 (n = 595 db), PL251 (n = 728 db), 'Üllői' (n = 478 db) – 3 különböző ültetési hálózatba (2,5 × 2,5 m; 3 × 3 m; 4 × 4 m) telepítették. Az ültetés gödörfúrással valósult meg. Később az ápolási munkákat (sor és sorközök művelése, gyomirtás, „egyszálazás”, nyesési munkák) gondosan elvégezték. A kísérleti terület, illetve a vizsgált klónok elhelyezkedése a **2. kép** látható.



2. kép Ortofotó a napkori kísérleti területről (Dr. Szabó Gergely, Napkor, 2023.08.16.). A számok a vizsgált klónokat (1 – PL251; 2 – NK1; 3 – PL040; 4 – NK2; 5 – 'Üllői'), a betűk az ültetési hálózatokat (a – 2,5 × 2,5 m; b – 3 × 3 m; c – 4 × 4 m) jelölik.

3.3. Állományfelvételek metodikája

3.3.1. Szentkirály

A kísérleti állományban 3 alkalommal történt állományfelvétel. Az első 13, a második 20, a harmadik 35 éves korban. Az első két felvétel során, az összes parcellában történtek mérések. Ugyanakkor az utolsó, 2022 januárjában végzett felvétel során csak az 1. és 6. ('Üllői'), illetve 5. és 7. ('Nyírségi') parcella egyedeit vizsgáltam. A többi parcella a doktori kutatómunkámban irreleváns, továbbá egyesek (2. és 4.) kiértékelhetetlenné váltak.

Az első kettő mérést az ERTI munkatársai végezték, az eredményeket Rédei (2008) publikálta. A harmadik, 2022 januárjában történt állományfelvétel során magasságot és mellmagassági átmérőt, illetve koronaátmérőt (D_{kor}) mértem, továbbá osztályoztam a fákat erdőnevelési és magassági osztályonként. A fák magasságát Vertex IV (Haglőf) (I5) ultrahangos magasságmérő műszerrel, az átmérőt átlaló (Haglőf) (I6) segítségével mértem. Mindezeket a nemzetközi szakirodalom (Van Laar és Akça, 2007; Burkhardt et al., 2018) által is ajánlott módszerekkel végeztem el.

Az egyedenkénti famagassági és erdőnevelési osztályozás Fekete (1951) és Kraft (1884) rendszerezése szerint történt:

Magassági kategóriák (m.o.):

1. magassági osztály (I): Kimagasló fák. A korona felülről teljesen, oldalról részben szabad. Kivételesen erősen fejlett korona, felső része kiemelkedik a faállomány felső szintjéből.

2. magassági osztály (II): Uralkodó fák. A korona felülről teljesen szabad, nagy részét közvetlenül éri a fény. Ebbe az osztályba tartozó fák koronája alkotja a faállomány felső koronaszintjét.

3. magassági osztály (III): Közbeszorult fák. Csak a csúcs szabad, a csúcsot még közvetlenül éri a fény, oldalról a magasabb szomszédos fakoronák erős nyomása alatt áll.

4. magassági osztály (IV): Alászorult fák. A koronacsúcs sem szabad, nem éri közvetlenül a fény. A szomszédos fák koronája alá szorult, de még a felső koronaszinthez tartoznak.

Erdőnevelési kategóriák (n.o.):

1. erdőnevelési osztály (1): Javafa. A véghasználatig álló legjobb adottságú törzsek.

2. erdőnevelési osztály (2): Segítőfa. A főállomány azon törzsei, melyeket a véghasználatig kivágnak.

3. erdőnevelési osztály (3): Kivágandó fa. A soron következő erdőművelési, fatermelési munkák során kitermelésre kerülő egyedek.

4. erdőnevelési osztály (4): Száradék. Két állományfelvétel között kiszáradt egyedek.

A javafák és segítőfák alkotják a főállományt, mely a nevelővágás után megmaradt, az adott cél eléréséhez fenntartandó faállomány-rész. A kivágandó fák alkotják a mellékállományt, ezt a nevelővágás során kitermelik (Fekete, 1951). Esetemben, a szentkirályi kísérleti állományban nevelővágás nem történt.

3.3.2. Helvécia

A kísérleti állományban 2 felvétel történt. Az első 6, illetve 7 éves korban 2013 tavaszán. Ezeket az eredményeket Rédei és munkatársai publikálták (2013a; 2013b). A második 2021 januárjában 14, valamint 15 éves korban. Ez utóbbinál nem történt teljes állományfelvétel: véletlenül kiválasztott egyedeket mértem ('Homoki' 34 db, 'Vacsí' 50 db, közönséges akác 30 db, 'Bácska' és 'Oszlopos' 38-38 db, 'Jászkiséri' 45 db) A magasság és a mellmagassági átmérő mérését, a szentkirályi méréshez hasonlóan végeztem. A fák osztályozására, viszont egy másik, korábban ennek az állománynak a törzsmínőségi vizsgálatára alkalmazott módszert használtam (Rédei et al. 2013a). Az úgynevezett törzsmínőségi-index (TMI) esetében egy 1-től 4-ig terjedő skálát alkalmaztam, ahol 1 = egyenes törzs, 2 = többé-kevésbé egyenes törzs, 3 = görbe törzs, 4 = igen görbe törzs.

3.3.3. Napkor

A napkori kísérleti ültetvényben végeztem a legtöbb vizsgálatot. A magassági és vastagsági növekedésen túl vegetációs indexeket (NDVI, GNDVI), valamint növényfiziológiai paramétereket (A , Tr , g_{tc} és g_{sw} , C_i , WUE , $T_{levél}$, $VPD_{levél}$) is vizsgáltam. Továbbá növényegészségügyi, valamint megmaradási vizsgálatokat is végeztem. Ezek a vizsgálatok hagyományos, illetve „precíziós” (UAV, földi/kézi NDVI mérőműszer, fotoszintézis intenzitását mérő eszköz) módon történtek.

3.3.3.1. Magassági és vastagsági növekedés vizsgálata

A hagyományos vizsgálati módszerek alatt az egyes fák magasságának szintezőléccel, illetve átmérőjének (tő és mellmagassági) Powerfix digitális tolómérővel történő mérését értem. Az első ilyen jellegű állományfelvételre 2021 májusában került sor, melyet az év második felében (novemberben) követett egy másik. 2022 áprilisában csak magasságot mértünk, valamint mortalitást vizsgáltunk. 2022 májusában 30 mintafát jelöltünk ki klónonként, majd ezek mellmagassági átmérőjét és magasságát mértük a 2022. május-augusztus közötti időszakban (a fák fő növekedési időszakában) havi 1 alkalommal, növekedési vizsgálat céljából. A jelölésnél arra is figyeltünk, hogy 1,3 m magasságban tegyünk egy vonalat. Sajnálatos módon bizonyos klónok esetében sok volt a beteg, illetve a koronatörött egyedek száma, mely a növekedési modelleket torzítja. Emiatt csak a 2,5 × 2,5 m ültetési hálózatban található NK1, PL040, PL251, illetve 'Üllői' adatai szolgáltatottak értékelhető eredményt.

A fák magasságát két alkalommal (2022. június és 2023. augusztus) távérzékeléses módszerrel (UAV-val) is mértük. Ehhez három repülésre volt szükség: egy vegetációs időszakon kívüli és egy-egy lombos fenofázisban. Az első mérés lehetőséget biztosított a domborzat lemodellezésére is. Ahhoz, hogy a klónokat a feldolgozás során el tudjuk különíteni RTK-módban használt geodéziai GNSS (Global Navigation Satellite System – globális helymeghatározó műholdrendszer) vevő segítségével bemértük a parcellahatárok koordinátáit, majd az így kapott adatok alapján egyszerűen rá tudtunk szerkeszteni egy „hálót” az ortofotóra. Az UAV mérések metodikáját egy későbbi fejezetben ismertetem részletesen.

3.3.3.2. Fitofiziológiai paraméterek és vegetációs indexek

A fitofiziológiai paramétereket 2021, 2022 és 2023 júniusában mértük LI-6800 (LI-COR) (I7) hordozható fotoszintézis mérőműszer segítségével (**3. kép**). Az eszköz többek között alkalmas a nettó asszimiláció, a transzspiráció, a sztóma konduktancia, az intercelluláris CO₂ koncentráció, a levélhőmérséklet valamint, a levélnél mért levegő vízgőz-telítettségének hiánya (VPD_{levél}) ökológiai (levegő hőmérséklet, CO₂ koncentráció, relatív páratartalom) paraméterek mérésére.



3. kép LI-6800 hordozható fotoszintézis mérőműszer
(Saját fotó, Napkor, 2022.06.29.)

A fényt a műszer mintakamrájában lehet szabályozni, esetemben $1500 \mu\text{mol foton m}^2 \text{ s}^{-1}$ fotoszintetikusán aktív sugárzást (Photosynthetically Active Radiation = PAR) használtunk, 90%-ban vörös (625 nm) és 10%-ban kék (475 nm) fényt. Fényforrásként a Li-6800-01A fluorométerfejet alkalmaztunk, a levél mért területe 2 cm^2 volt. A CO_2 koncentrációját lehet szabályozni ($400 \mu\text{mol mol}^{-1}$) a mintakamrában injektor és CO_2 patronok segítségével. A fényadaptált leveleket mértük, levelenként hatszor, parcellánként három növényen. Az adatok rögzítése a mérési eredmények stabilizálódása (variációs koefficiens $< 1\%$) után történt, de legalább 120 másodperc elteltével. 2023-ban mérési hiba történt, ezért ebben az évben mért adatok csak fényreakció görbe készítéséhez biztosítottak lehetőséget. A legjobb magassági és vastagsági (d_{10} és $d_{1,3}$) értékkel rendelkező PL251 és NK2 klónok, valamint az 'Üllői' akác fényreakciós görbéit 9 lépésben, a megvilágítási szint, vagyis a fotoszintetikus fotonáram-sűrűség (Photosynthetic Photon Flux Density = PPF) csökkenésével ($2000, 1500, 1200, 900, 600, 300, 150, 50, 20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) figyeltem meg.

A vízfelhasználási hatékonyság kiszámításához a Tanner és Sinclair (1983) által javasolt képletet használtam:

$$WUE = (A * 44)/(Tr * 18)$$

WUE: vízfelhasználási hatékonyság (kg m^{-3})

A: asszimilált CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

Tr: elpárologtatott H_2O ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Az NDVI-értékeket 2021. május-szeptember közötti időszakban mértem, havi 1 alkalommal. A méréshez kézi NDVI mérő műszert (Trimble) (I8) használtam. A műszer működési elve röviden a következő. A szenzor látható (VIS) és közeli infravörös (NIR) fényimpulzusokat bocsát ki, majd megméri, hogy a kétféle fényből mennyi verődik vissza a növényről. Klónonként 10–10 mérést végeztem.

Később a klónok fiziológiai tulajdonságait drón által készített multispektrális felvételek segítségével is vizsgáltuk (részletesebben az „UAV-alapú mérés metodikája” c. fejezetben). A különböző vegetációs indexek alkalmasak a növények biomassza mennyiségének becslésére, valamint abiotikus és biotikus károsodásának monitoringozására.

3.3.3.3. UAV-alapú mérés metodikája

A terület felszínének felmérésére 2022 telén került sor, távérzékeléses módszerrel. A mérés során a területről egy DJI Phantom 4 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) reptetésével (DJI) (I9) 248 db képet készítettünk, 60 méter magasságból, 1,6 cm/pixel felszíni felbontással (GSD – Ground Sampling Distance). A képeket Agisoft Metashape 1.7 szoftverrel dolgoztuk fel, és előállítottuk a felszín pontfelhőjét, mely a földfelszín pontjai mellett tartalmazza a felszínen elhelyezkedő objektumok (fák) pontjait is. Mivel ennél az adatgyűjtésnél számunkra a felszín magassága volt a lényeges (azaz domborzatmodellt akartunk előállítani), ezért leszűrtük a fákhöz tartozó pontokat a Metashape szoftver automata pontfelhő-osztályozó eljárásával. A megmaradt pontok kizárólag a felszínhez tartoznak, így ebből az adatbázisból el tudtuk készíteni a terület digitális domborzatmodelljét (DTM – Digital Terrain Model). Vetületi rendszernek az UTM-34-et választottuk. A vetületi illesztéshez földi illesztőpontokat (GCPs – Ground

Control Points) használtunk a terepen, melyeket nagy pontosságú, RTK (Real-Time Kinematic)-módban használt SL300 geodéziai GNSS vevővel (SatLab Geosolutions) mértünk be, majd ezekkel a koordinátákkal georeferáltuk a fotogrammetriai modellt.

A következőkben a fenti UAV felhasználásával lombos fenofázisban végeztük a légifényképezést, 2022. júniusában a többi magasságmérő eszközzel történő összevetés céljából és 2023. augusztusában a fajtajelölt klónok magassági értékük szerinti összehasonlításuk miatt. A légifényképezés a fentiekhez hasonlóan 60 méteres magasságból történt, és összesen 882 db képet használtunk fel. Az előző repüléshez képest azért volt szükség lényegesen több képre, mert a fák lombja jelentősen takarta a felszínt, valamint a szomszédos lombokat is. A GSD ismét 1,6 cm/pixel lett. A felvételek alapján elkészítettük a felszínmodellt (DSM – Digital Surface Model), melyben a lombos fák jól detektálhatók voltak. A vetületi rendszerbe transzformáláshoz a már alkalmazott módszert használtuk. A DSM-ből kivontuk a februári DTM-et, így megkaptuk tisztán a felszínen elhelyezkedő objektumok, azaz a fák, magasságait (nDSM – Normalized Digital Surface Model). A vetületi transzformációk átlagos hibája mindkét esetben körülbelül 1 cm volt (február: 0,7 cm, június: 1,3 cm).

Az nDSM adatbázisban ArcMAP szoftverben megkerestük a lokális maximumokat, így automata módszerrel detektáltuk az egyes fákat. Mivel a fák lombkoronájának legmagasabb pontja nem minden esetben pontosan közepén helyezkedik el, ezért ezek a részletek nem szabályos alakúak lettek. A foltokat vektorizáltuk, majd minden folt centroidjára helyeztünk egy 80 cm átmérőjű kört, ezzel biztosítva azt, hogy biztosan a körön belül legyen minden fa legmagasabb részlete. Az egyes körök területéről zonal statistics (ArcGIS) eljárással lekérdeztük a legmagasabb értékeket, így megkaptuk minden fa legnagyobb magasságát. Ezek közül a 2,5 m × 2,5 m hálózat fáiból random kiválasztottunk 30 db-ot klónonként, azaz összesen 150 fát.

2022. június hónapban – az első drónos magasságméréssel egyidőben – 30 véletlenszerűen kiválasztott mintafát megmértünk az erdőzetben gyakran használt eszközökkel – szintezőléc, Forestry PRO II (NIKON) (I10), Vertex IV (Haglöff) – is, a távérzékeléses – UAV-alapú – méréssel történő összevetés céljából.

A területről egy alkalommal (2023. augusztus 16.) készítettünk multispektrális ortofotót. Az adatgyűjtést egy DJI M200 UAV-val végeztük, melyre egy Micasense RedEdge-Mx RED szenzort rögzítettünk. A repüléseken alkalmanként 330 felvétel készült, felvételenként 5 hullámtartományban (kék – Blue=B, zöld – Green=G, vörös – Red=R, vörös tartomány felső határa – Red Edge=RE, közeli infravörös – Near-

InfraRed=NIR). A felvételek feldolgozását, úgy ahogy a magasságmérés esetében, szintén Agisoft Metashape 1.7 szoftverben végeztük. Az adatokból különböző VI-ket (NDVI és GNDVI) számoltunk az alábbi képletek segítségével (Rouse et al., 1974; Gitelson et al., 1996), majd ezeket MS Excel fájlba exportáltuk további statisztikai feldolgozás céljából. Úgy, ahogy a magasságmérésnél, ebben az esetben is 30 mintafa/klón VI értékeit vizsgáltuk. Mivel az adatsor nem parametrikus, Games-Howell tesztet alkalmaztam a páronkénti összehasonlításra.

NDVI (Rouse et al., 1974 alapján) = $(\text{NIR}-R)/(\text{NIR}+R)$

GNDVI (Gitelson et al., 1996 alapján) = $(\text{NIR}-G)/(\text{NIR}+G)$

3.3.3.4. Növényegészségügyi vizsgálat

A klónok növényegészségügyi vizsgálatát a SoE ERTI Erdővédelmi Osztályánál munkatársaival végeztük el, 2022 szeptemberében. A felvételezések során klónonként véletlenszerűen kiválasztott 30 egyedet vizsgáltunk, melynek során egyedenként megbecsültük az átlagos lombvesztést, valamint a koronában (lombozaton), ágakon és a törzsön előforduló károsodások mértékét és a kiváltó okokat.

A vizsgálatok során a lombkárok esetében feljegyeztük az előfordulási gyakoriságot (a levelek hány %-án fordul elő az adott kárkép) valamint a károsodás intenzitását (átlagosan a levélfelület hány %-át érinti a károsodás). A két adat csak egymást kiegészítve ad pontos képet egy kárforma fontosságáról. Extrém esetet tekintve pl. valamennyi levélen előfordul gombafertőzési tünet (gyakoriság 100%), de a levélfelület mindössze 1%-át érinti a károsodás akkor az intenzitás 1%.

Az átlagos levélvesztés értéke a teljes lombfelülethez viszonyítva a tényleges, fizikai lombhiányt jelenti, nem tartalmazza pl. az aknázók okozta asszimilációs levélfelület veszteséget, vagy a koronatörés miatti lombhiányt.

Az abiotikus levélvesztés a szárazság (aszály), valamint a szélverés okozta lombhiányt takarja. Nincs benne a koronatörésekből származó lombhiány. Ez utóbbi külön kategóriában szerepel, %-os értékkel, ami mutatja a koronatörés intenzitását, azaz a letört koronarész hány %-a teljes koronának.

A törzsön megjelenő kórokozó (*Phomopsis oncostoma* Thüm.) gyakoriságát és intenzitását szintén %-ban határoztuk meg. A gyakoriság értéke azt mutatja, hogy a

vizsgált egyedek hány %-án észleltünk gombafertőzést a törzsön, míg az intenzitás % azt mutatja, hogy a törzs kerületének hány %-án mutatkozik a gomba okozta kéregnekrózis. A vizsgálatok és az adatok kiértékelése szempontjából nagyobb jelentősége a fertőzés gyakoriságának van, azaz hány egyeden jelent meg a fertőzés. Ez utóbbi jelzi az adott klón fogékonyságát a gombafertőzéssel szemben. Az intenzitás kérdése ebben az esetben másodlagos, mivel a gomba megtelepedését követően a nekrózis kiterjedése csak idő kérdése.

3.4. Az adatfeldolgozás és értékelés metodikája

A törzsenkénti felvételek alapján az egészállomány átlagos magasságát (H), mellmagassági átmérőjét ($D_{1,3}$), átlagos körlapját (g), átlagfa-térfogatát (v), hektáronkénti körlapösszeget (G), fatérfogatot (V) és törzsszámot (N) határoztam meg, illetve számítottam ki (Van Laar és Akça, 2007; Burkhart et al., 2018).

Az egyes fák v értékeinek kiszámítása az alábbi képlettel történt (Sopp és Kolozs, 2013):

$$v = 10^{-8} d^2 h^1 [h/(h - 1,3)]^4 (- 0,6326 dh + 20,23 d + 3034), \text{ ahol}$$

v = átlagfa-térfogat (m^3)

h = magasság (m)

d = mellmagassági átmérő (cm)

A hektáronkénti törzsszámot (N) a kísérleti területen lévő törzsszám 1 hektárra történő felszorzásával kaptam. A hektáronkénti fatérfogatot (V), vagyis az összes fatermést a v N-nel történő szorzásával számítottam. A hektáronkénti körlapösszeget (G) a(z) N és a faállomány átlagos törzsátmérőjéből számított körlapja (g) szorzata adta. A fatermési osztályokat (I.-V.) a Lessényi és Rédei (1986) által szelektált akácfaajtákra kidolgozott, majd Rédei és munkatársai (2021) által angol nyelven is publikált fatermési tábla alapján határoztam meg.

A kísérleti állományokat a magasság-kor, átmérő-kor, törzsszám-kor, törzsszám-átmérő, valamint átlagfa-térfogat és átmérő függvényében (másodfokú és exponenciális függvények alkalmazásával) vizsgáltam.

3.4.1. Szentkirály

A szentkirályi eredmények kiértékelése rávilágított arra a tényre, hogy csak az 1. parcella ('Üllői') faállomány-szerkezeti vizsgálata alkalmas részletes analízisre. Az egyes fák magassági és átmérő értékeiből kiszámítottam az átlag magasságot, illetve átmérőt (Van Laar és Akça, 2007). Sopp és Kolozs (2013) képletével meghatároztam az átlagfa-térfogatot (v). A hektáronkénti törzsszámot (N) a mintaparcellában lévő törzsszám (n) 1 hektárra történő felszorzásával kaptam.

A faállomány-szerkezeti tényezőket ($d_{1,3}$, d_{kor} , h , g , N , V , v) magassági és erdőnevelési osztályozás szerint is táblázatba rendeztem. Továbbá elemeztem a különböző faállomány-szerkezeti tényezőket, illetve a koronaszerkezetet következő képletekkel (Van Laar és Akça, 2007; Rédei et al., 2018):

$$V = (v_1 \dots v_{53}) * 20$$

$$\text{Koronavetület (CPA) (m}^2\text{)} = (d_{kor}^2 * \pi) / 4$$

$$\text{Korona szétterülés} = d_{kor} / h * 100$$

$$\text{lineáris korona index} = d_{kor} / d_{1,3}$$

(a H , $D_{1,3}$, G , v , N értékeket a fentebb leírtak szerint számoltam)

A PAI (H), PAI ($D_{1,3}$) és PAI (V) értékeket Burkhart et al. (2018) alapján számítottam az egészállományra a következő képlettel: $PAI = (Y_2 - Y_1) / (T_2 - T_1)$, ahol az Y a fatermés (H , $D_{1,3}$, V), a T pedig a mérés ideje. Esetemben 13 és 20 éves, valamint 20 és 35 éves korban vizsgáltam, vagyis az alsóindexben lévő 2-es szám előbbi esetben a 20 éves, utóbbinál 35 éves korra utal, az 1-es pedig ez alapján, előbbinél a 13 éves, utóbbinál a 20 éves korra értendő.

A faállomány-szerkezeti tényezők közötti összefüggések során a h és $d_{1,3}$ értékek közötti logaritmikus, a koronaátmérő (d_{kor}) és a $d_{1,3}$ adatok esetében lineáris, az átlagfa-térfogat és koronaátmérő vizsgálatánál másodfokú egyenleteket alkalmaztam MS Excel program segítségével.

3.4.2. Helvécia

A helvéciai kísérlet adatsorát IBM SPSS ver. 25.0 statisztikai szoftverrel elemeztem. A fajtajelöltek közti különbségeket egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA), LSD teszttel igazoltam ($p = 0,05$). Az átlagfa-térfogat származtatott adat, így ANOVA-t ebben az esetben nem tudtam használni, ezért a Helvécia 22E/1 klónok esetében a kontrollhoz, a Helvécia 22E/2 egyedeit az államilag elismert 'Jászkiséri' akáchoz viszonyítottam, százalékos formában. A 'Homoki' és a 'Bácska' fajtajelöltek adatsorából a szegélyhatás torzítása miatt a felső 10%-ot eltávolítottam.

3.4.3. Napkor

A napkori kísérlet adatsorát szintén IBM SPSS ver. 25.0 statisztikai szoftverrel elemeztem. A fajtajelöltek közti különbségeket egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA), LSD (parametrikus adatsor esetén), Games-Howell, illetve Kruskal-Wallis tesztek (nem parametrikus adatoknál) segítségével igazoltam ($p = 0,05$).

A fitofiziológiai paraméterek, valamint a magasságmérő műszerek közötti összefüggést Spearman-féle korrelációval vizsgáltam szintén IBM SPSS ver. 25.0 programmal.

A 2021-es magassági és tőátmérő adatokat MS Excel program segítségével ábrázoltam, a két paraméter közötti összefüggést lineáris függvénnyel igazoltam. 2022-ben a magassági és vastagsági növekedés esetében is ezt a programot használtam. A vizsgált 4 hónapban (május, június, július, augusztus) mért adatokra regressziós függvényt illesztettem a meredekség vizsgálatának céljából.

Az adatok normális eloszlásának vizsgálatára minden esetben Kolmogorov-Smirnov tesztet és Shapiro-Wilk próbát ($p < 0,05$) alkalmaztam.

4. EREDMÉNYEK

4.1. Szelektált akácfajták ('Jászkiséri', 'Nyírségi', 'Üllői') termesztési kísérleteinek értékelése

Az 1960-as évek óta telepített és az ERTI, valamint a NÉBIH munkatársai által vizsgált 'Jászkiséri', 'Nyírségi', 'Üllői' kísérleti akác faültetvények legfontosabb dendrometriai jellemzőit a **7. táblázatban** foglaltam össze.

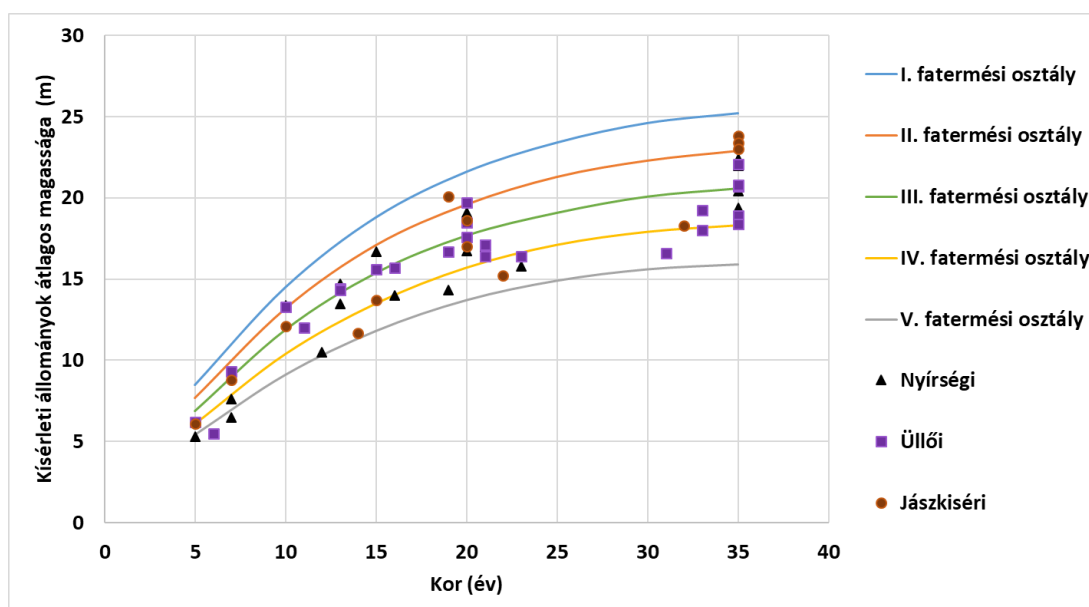
7. táblázat Az 'Üllői', 'Nyírségi' és 'Jászkiséri' akác állományok fontosabb dendrometriai jellemzői (Keresztesi, 1988; Rédei, 1994; 2006; 2008; Csiha et al., 2016; Rédei et al. 2020; Ábri et al. 2021; 2022a alapján)

Erdőrészlet, kísérleti parcella	Kor (év)	Átlag magasság H (m)	Átlagos átmérő D _{1,3} (cm)	D _{1,3} /H*100 (%)	Fatérfogat V (m ³ ha ⁻¹)	Törzszám N (fő ha ⁻¹)	Körlapösszeg G (m ² ha ⁻¹)	Átlagfa-térfogat v (dm ³)	Fatermési osztály
'Üllői' akác állományok									
Helvécia 80A	5	6,2	4,9	79,03	65,20	6667	12,57	9,78	IV.
Isaszeg	6	5,5	4,9	89,09	23,00	2555	4,82	9,00	V.
Helvécia 80A	7	9,3	6,4	68,82	110,70	5014	16,13	22,08	II.
Gödöllő, Arborétum	10	13,3	10,4	78,20	100,73	1672	14,08	60,25	II.
Mikebuda 22E	11	12,0	7,5	62,50	68,8	2046	9,05	33,63	III.
Szentkirály 40F/1	13	14,4	10,3	71,53	159,02	2280	19,00	69,75	III.
Szentkirály 40F/2	13	14,3	10,7	74,83	158,50	2120	19,06	74,76	III.
Gödöllő, Arborétum	15	15,6	12,7	81,41	171,18	1672	21,14	102,38	III.
Tahitótfalu (ERTI)	16	15,7	15,0	95,54	176,00	1136	20,00	154,93	III.
Ófehértó 13F	19	16,7	16,0	95,81	156,40	853	17,10	183,35	III.
Gödöllő, Arborétum	20	19,7	15,1	76,65	182,34	1095	19,64	166,52	II.
Szentkirály 47H/1	20	17,6	15,5	88,07	218,30	1220	23,00	178,93	III.
Szentkirály 47H/2	20	18,5	15,5	83,78	210,50	1140	21,50	184,65	III.

Erdőrészlet, kísérleti parcella	Kor (év)	Átlag magasság H (m)	Átlagos átmérő D _{1,3} (cm)	D _{1,3} /H*100 (%)	Fatérfogat V (m ³ ha ⁻¹)	Törzsszám N (tő ha ⁻¹)	Körlapösszeg G (m ² ha ⁻¹)	Átlaga-térfogat v (dm ³)	Fatermési osztály
Tét 16K/1	21	16,4	15,3	93,29	192,80	1164	21,30	165,64	IV.
Tét 16K/2	21	17,1	15,2	88,89	176,90	1050	19,00	168,48	III.
Tét 16K/3	21	17,1	16,8	98,25	183,70	885	19,70	207,57	III.
Helvécia 67B (NÉBIH)	23	16,4	16,6	101,22	292,80	1300	28,14	225,23	IV.
Pusztavacs 212A	31	16,6	16,8	101,20	169,02	930	20,62	181,74	V.
Pusztavacs 213B	33	19,3	21,4	110,96	196,95	540	19,35	364,72	IV.
Pusztavacs 213C	33	18,0	18,2	100,89	164,99	620	16,04	266,11	IV.
Gödöllő 7B/1	35	18,9	21,5	113,76	227,00	625	22,70	363,20	IV.
Gödöllő 7B/2	35	20,7	22,1	106,76	232,90	567	21,80	410,76	III.
Gödöllő 7B/3	35	20,8	22,2	106,73	186,10	451	17,40	412,64	III.
Gödöllő 7B/4	35	18,4	22,3	121,2	228,00	596	23,20	382,55	IV.
Szentkirály 47H/1	35	22,1	21,9	99,30	325,49	760	28,66	428,28	II.
'Nyírségi' akác állományok									
Helvécia 80A	5	5,3	4,2	79,25	43,50	6667	9,24	6,52	V.
Helvécia 80A	7	7,6	5,1	67,11	70,80	5396	11,02	13,12	III.
Mikebuda 12H	7	6,5	5,6	86,15	32,90	2103	5,13	15,60	IV.
Gödöllő, Arborétum	10	13,4	9,3	69,40	95,43	2018	13,71	47,28	II.
Mikebuda 12H	12	10,5	8,9	84,76	90,00	2023	12,50	44,50	IV.
Szentkirály 40F/1	13	14,7	10,9	74,41	155,45	1960	18,40	79,31	III.
Szentkirály 40F/2	13	13,5	10,8	80,17	124,70	1700	15,50	73,35	III.
Gödöllő, Arborétum	15	16,7	12,1	72,46	151,34	1579	18,16	95,83	II.
Tahitótfalu (ERTI)	16	14,0	12,1	86,43	145,10	1540	17,60	94,22	IV.

Erdőrészlet, kísérleti parcella	Kor (év)	Átlag magasság H (m)	Átlagos átmérő D _{1,3} (cm)	D _{1,3} /H*100 (%)	Fatérfogat V (m ³ ha ⁻¹)	Törzszám N (tő ha ⁻¹)	Körlopószeg G (m ² ha ⁻¹)	Átlagfa-térfogat v (dm ³)	Fatermési osztály
Ófehértó 13F	19	14,3	13,4	93,71	131,80	1120	15,90	117,68	IV.
Gödöllő, Arborétum	20	19,1	15,0	78,53	188,73	1101	19,46	171,38	II.
Szentkirály 47H/1	20	18,5	16,2	87,80	219,22	1080	22,37	202,98	III.
Szentkirály 47H/2	20	16,7	16,1	96,08	178,92	960	19,50	186,38	IV.
Tét 16K/4	21	17,0	14,7	86,47	172,00	1091	18,52	157,65	III.
Tét 16K/5	21	17,0	15,1	88,82	187,10	1127	20,18	166,02	III.
Tét 16K/6	21	16,8	15,8	94,05	207,70	1145	22,45	181,40	III.
Helvécia 67B (NÉBIH)	23	15,8	15,7	99,37	255,40	1300	25,17	196,46	IV.
Gödöllő 5G/1	35	22,0	21,6	98,18	199,80	448	17,90	445,98	II.
Gödöllő 5G/2	35	19,4	20,6	106,19	229,80	674	22,50	340,95	IV.
Gödöllő 5G/3	35	22,4	23,4	104,46	335,40	690	29,60	486,09	II.
Gödöllő 5G/4	35	20,4	22,0	107,84	218,90	546	20,70	400,92	III.
'Jászkiséri' akác állományok									
Helvécia 80A	5	6,1	4,7	77,05	61,10	6667	11,57	9,16	III.
Helvécia 80A	7	8,8	6,2	70,45	90,20	4484	13,54	20,12	II.
Gödöllő, Arborétum	10	12,1	9,1	75,21	72,89	1711	11,06	42,60	III.
Helvécia 22E	14	11,7	9,9	84,48	82,15	1333	10,15	61,63	V.
Gödöllő, Arborétum	15	13,7	11,7	85,40	148,53	1681	18,24	88,36	IV.
Ófehértó 13F	19	20,1	18,5	92,04	298,60	1067	28,70	279,85	II.
Gödöllő, Arborétum	20	18,6	15,9	85,48	203,65	1052	21,08	193,58	II.
Tét 16L	20	17,0	16,2	95,00	216,80	1154	23,40	187,95	III.
Pusztavacs 161A	22	15,2	13,4	75,57	138,82	1000	14,05	138,82	III.

Erdőrészlet, kísérleti parcella	Kor (év)	Átlag magasság H (m)	Átlagos átmérő $D_{1,3}$ (cm)	$D_{1,3}/H \cdot 100$ (%)	Fatérfogat V ($m^3 ha^{-1}$)	Törzsszám N (tő ha^{-1})	Körlopósszeg G ($m^2 ha^{-1}$)	Átlagfa-térfogat v (dm^3)	Fatermési osztály
Pusztavacs 161A	32	18,3	17,3	94,54	221,20	940	22,10	235,32	IV.
Gödöllő 5G/5	35	23,8	26,7	112,18	228,30	342	19,10	667,54	II.
Gödöllő 5G/6	35	23,4	26,8	114,53	309,85	466	26,40	664,91	II.
Gödöllő 5G/7	35	23,0	26,9	116,96	391,40	590	33,70	663,39	II.



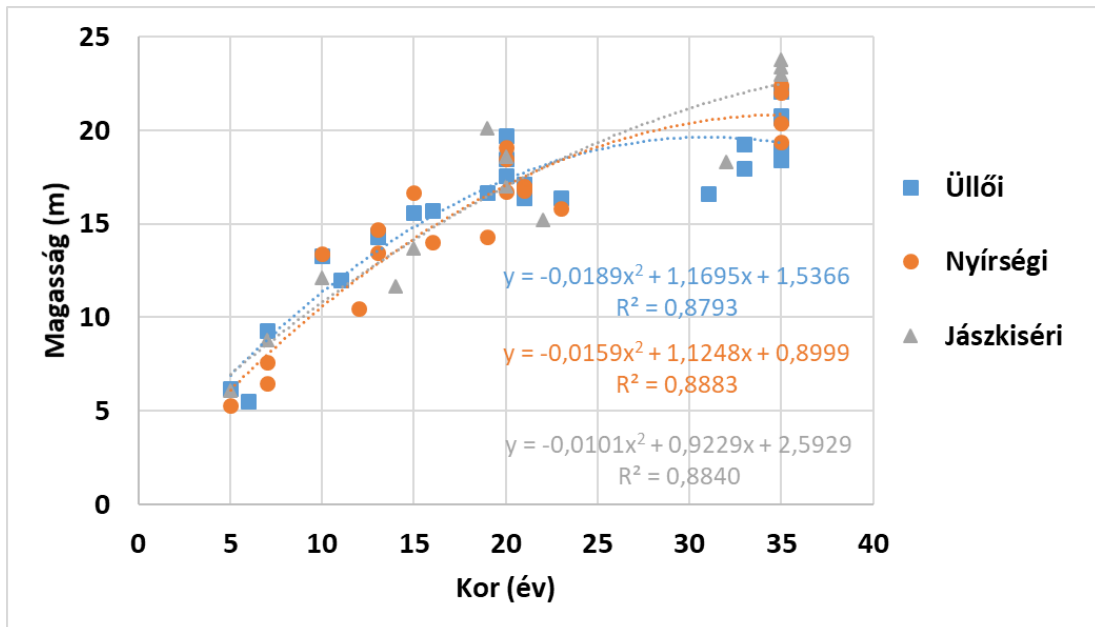
4. ábra A 'Nyírségi', 'Üllői' és 'Jászkiséri' kísérleti faállományok megoszlása az egészállomány magassága és a kor függvényében, a szelektált akácfaajtákra kidolgozott fatermési tábla (Rédei et al., 2021 alapján) magassági görbéin

Megállapítható, hogy a vizsgált 'Nyírségi', 'Üllői' és 'Jászkiséri' kísérleti akác állományok döntő többsége a II. és IV. fatermési osztály között helyezkednek el, ami azt jelenti, hogy a számukra kedvező termőhelyeken viszonylag magas, illetve közepes fatermést érhetnek el (**4. ábra**).

A következőkben a különböző faállomány-szerkezeti tényezők (magasság, átmérő, kor, törzsszám, átlagfa-térfogat) közötti összefüggéseket mutatom be. Az **5. ábra**,

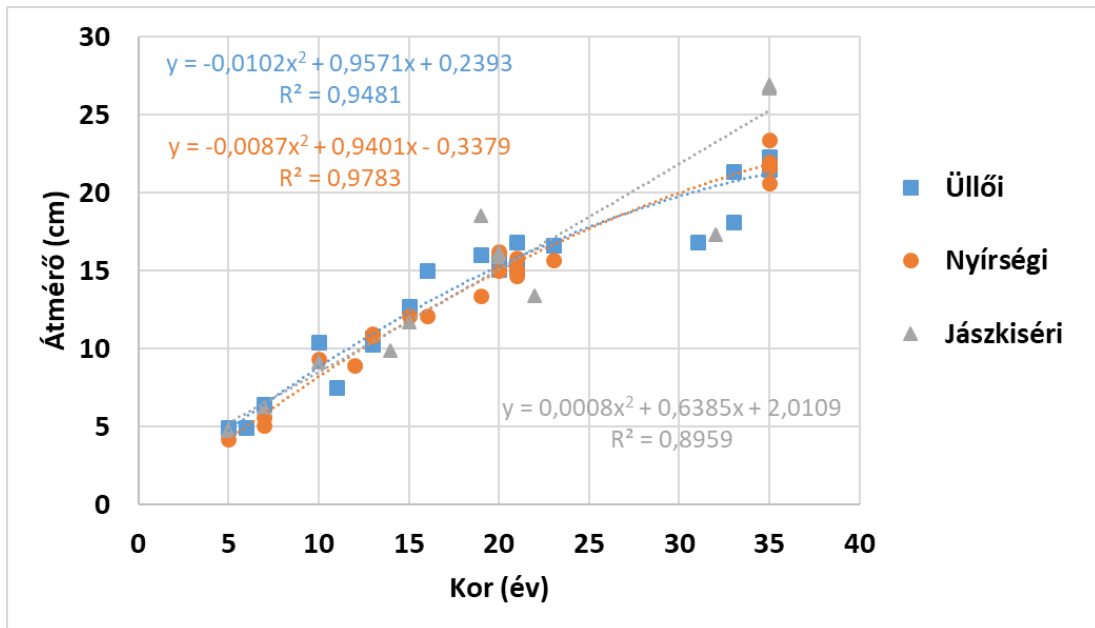
6. ábra. és 9. ábra látható összefüggéseket másodfokú függvénnyel, a 7. ábra és 8. ábra levőket pedig exponenciális regresszió segítségével határoztam meg.

Az 5. ábra a vizsgált akácfajták magassága és kora közötti összefüggést mutatja. Az R^2 értékek az 'Üllői' esetében 0,8793 'Jászkiséri' akácnál 0,8840, a 'Nyírségi' fajtánál 0,8883.



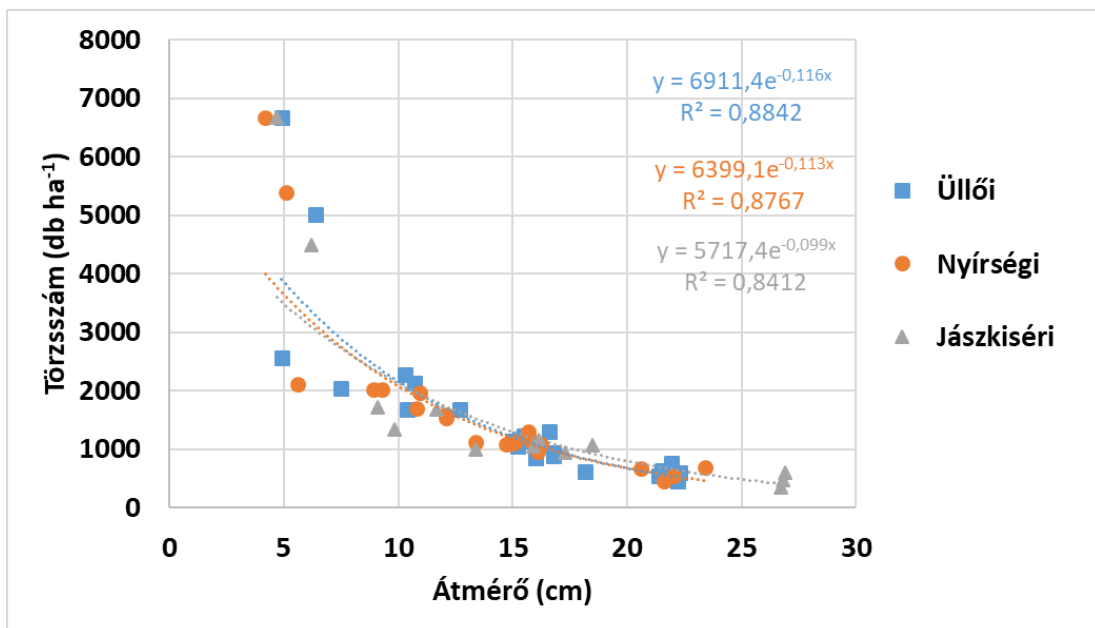
5. ábra Az 'Üllői', a 'Nyírségi' és a 'Jászkiséri' kísérleti faállományok magassága és kora közötti összefüggés

A 6. ábra a mellmagassági átmérő és a kor közötti összefüggés látható. Az R^2 értékek a következőképp alakultak: 'Üllői' ($R^2 = 0,9481$), 'Nyírségi' ($R^2 = 0,9783$), 'Jászkiséri' ($R^2 = 0,8959$).

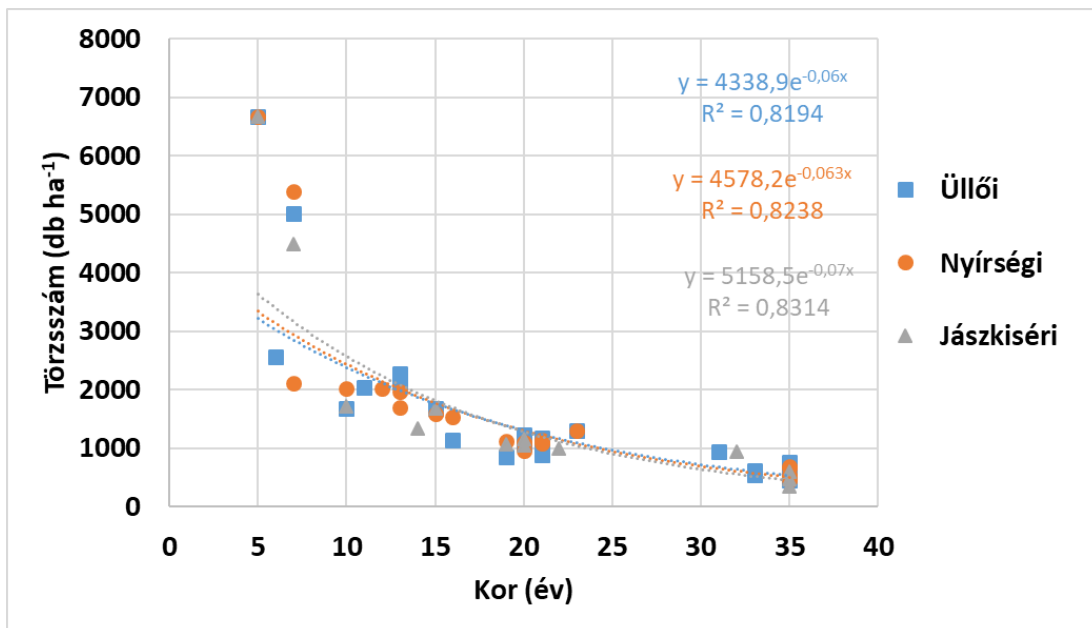


6. ábra Az 'Üllői', a 'Nyírségi' és a 'Jászkiséri' kísérleti faállományok mellmagassági átmérője és kora közötti összefüggés

A 7. ábra a törzsszám és az átmérő, a 8. ábra pedig a törzsszám és a kor közötti összefüggés látható. Előbbinél az 'Üllői' esetében tapasztaltam a legnagyobb ($R^2 = 0,8842$) és a 'Jászkiséri'-nél a legkisebb R^2 értéket (0,8412), még utóbbinál pont fordítva: a 'Jászkiséri' állományoknál volt a legnagyobb ($R^2 = 0,8314$) és az 'Üllői'-nél a legkisebb ($R^2 = 0,8194$).



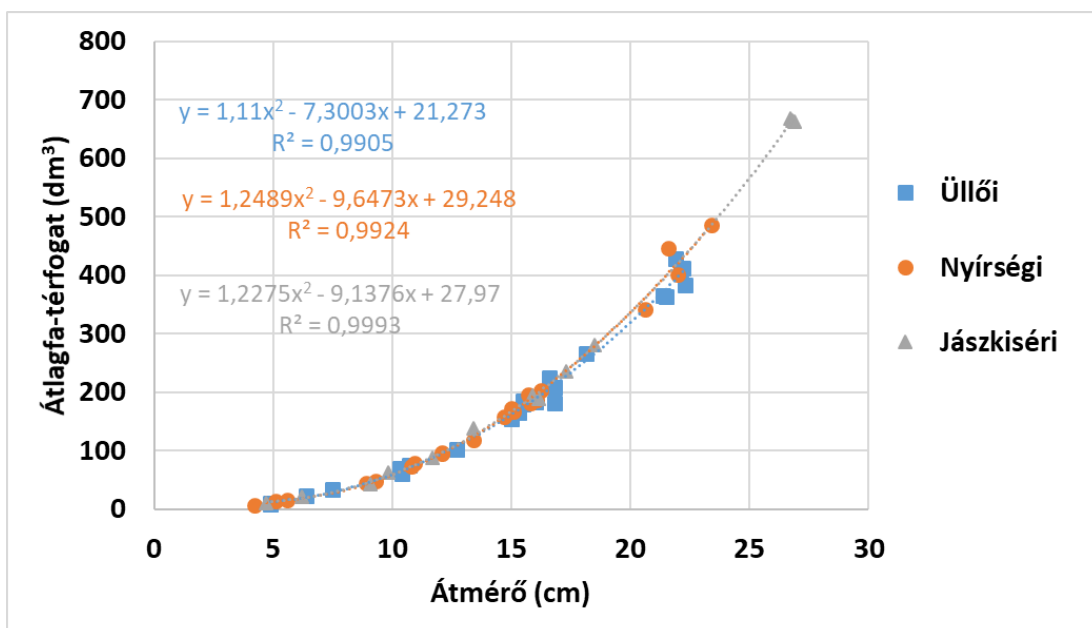
7. ábra Az 'Üllői', a 'Nyírségi' és a 'Jászkiséri' kísérleti faállományok törzsszáma és mellmagassági átmérője közötti összefüggés



8. ábra Az 'Üllői', a 'Nyírségi' és a 'Jászkiséri' kísérleti faállományok törzsszáma és kora közötti összefüggés

A törzsszám-átmérő összefüggés lehetővé teszi egy bizonyos célátmérő eléréséhez szükségesnek tekintett növőter hozzávetőleges meghatározását. Ez különösen fontos az iparifa célú akácfajták esetében, mivel az átmérő növekedésének maximalizálása a fő termesztési cél 10 éves kor felett.

Az átlagfa-térfogat vizsgálatánál még az eddigeknél is magasabb R^2 értékeket kaptam, amely mindhárom fajta esetében 0,99 volt (9. ábra).



9. ábra Az 'Üllői', a 'Nyírségi' és a 'Jászkiséri' kísérleti faállományok átlagfa-térfogata és mellmagassági átmérője közötti összefüggés

Összességében megállapítható, hogy az összes (magasság-kor; átmérő-kor; törzsszám-átmérő; törzsszám-kor és átlagfa-térfogat-átmérő) eredmény igen szoros összefüggést mutat a vizsgált paraméterek között a kísérleti faállományok esetében. A faállomány-szerkezeti tényezők közötti összefüggések lehetőséget biztosítanak különböző fatermesztési modellek összeállítására, továbbá a várható fatermés – a termőhely minőségétől függően – is prognosztizálható.

4.2. Az 'Üllői' akác faállomány-szerkezeti vizsgálatának eredménye (Szentkirály 47H erdőrészlet mintaparcellája alapján)

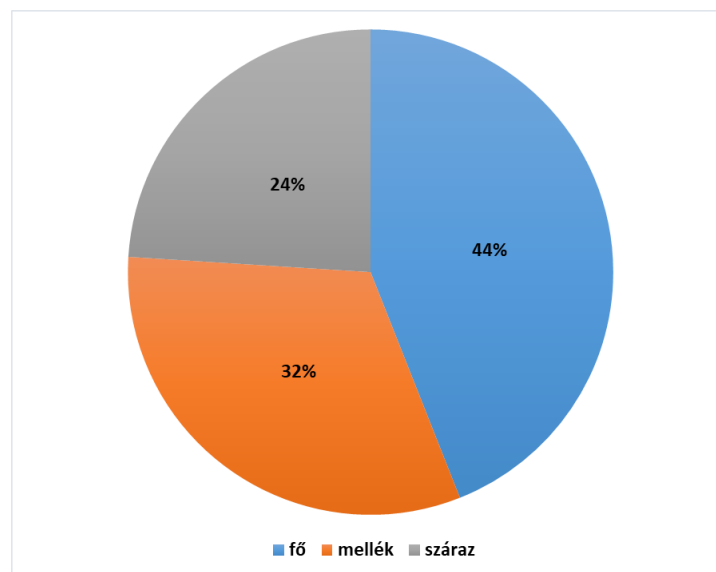
A szentkirályi 'Üllői' akácállomány legfontosabb dendrometriai mutatóit a **8. táblázat** foglaltam össze. Az állományban történt 3 felvétel közül az első kettő (13 és 20 éves korban történt) eredményét Rédei (2008) alapján közlöm.

8. táblázat A szentkirályi 'Üllői' akácállomány legfontosabb dendrometriai paraméterei 13, 20 (Rédei 2008 alapján) és 35 éves korban (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)

Főállomány					
Kor	H	D_{1,3}	N	G	V
év	m	cm	fa ha⁻¹	m² ha⁻¹	m³ ha⁻¹
13	15,0	11,75	1340	14,52	123,74
20	17,7	15,62	1160	22,22	210,86
35	23,6	24,19	440	20,22	241,19
Mellékállomány					
Kor	H	D_{1,3}	N	G	V
év	m	cm	fa ha⁻¹	m² ha⁻¹	m³ ha⁻¹
13	12,6	7,88	940	4,58	35,53
20	17,2	13,01	60	0,80	7,41
35	18,3	18,32	320	8,43	84,30
Egészállomány					
Kor	H	D_{1,3}	N	G	V
év	m	cm	fa ha⁻¹	m² ha⁻¹	m³ ha⁻¹
13	14,4	10,33	2280	19,10	159,27
20	17,6	15,50	1220	23,01	218,26
35	22,1	21,91	760	28,66	325,49
Száradék					
Kor	H	D_{1,3}	N	G	V
év	m	cm	fa ha⁻¹	m² ha⁻¹	m³ ha⁻¹
13	8,8	4,78	100	0,18	1,20
20	13,8	11,56	80	0,84	6,81
35	17,4	16,06	240	4,86	46,85

Jelmagyarázat: H = faállomány átlagos magassága; D_{1,3} = faállomány átlagos mellmagassági (1,3 m) átmérője; N = törzsszám egy hektárra vonatkoztatva; G = faállomány átlagos körlapja egy hektárra vonatkoztatva; V = faállomány összes fatérfogata egy hektárra vonatkoztatva

Az állomány paramétereit vizsgálva megállapítható, hogy vágásérett korban (35 évesen) az egészállomány átlagos magassága (H) 22,1 m, átlagos, mellmagasságban mért törzsátmérője ($D_{1,3}$) 21,91 cm, a fatermés (V) pedig $325,49 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Megfigyelhető az is, hogy a javafák (1. n.o.) és segítőfák (2. n.o.) alkotta főállomány aránya drasztikusan visszaesik, a száradéké (4. n.o.) pedig nő. 35 éves korban az állomány csupán 44 %-a számít főállománynak. A mellékállomány 32 %-ot, a száradék 24 %-ot tesz ki (**10. ábra**). A főbb faállomány-szerkezeti tényezők nevelési osztályozás szerinti paramétereit az **9. táblázat** látható.



10. ábra A szentkirályi 'Üllői' akácos megoszlása erdőnevelési osztályozás szerint (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)

9. táblázat Faállomány-szerkezeti tényezők nevelési osztály szerinti (35 éves korban) (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)

Nevelési osztály	n	%	V
	fa		$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$
1	10	20	114,96
2	12	24	126,23
3	16	32	84,30
4	12	24	46,85

Jelmagyarázat: n = a vizsgált mintaparcella faegyedeinek száma; V = hektáronkénti összes fatermés

A főállomány arányának csökkenése a korszaki átlagnövedék (PAI) értékekben is tapasztalható (**10. táblázat**). Látható, hogy a kor előrehaladtával a növekedés üteme

lelassul: 20 éves kor utáni 15 évben kevesebb növedék (H, $D_{1,3}$, V) keletkezett, mint az ezt megelőző 13 és 20 év közötti, 7 éves intervallumban.

10. táblázat PAI (H, $D_{1,3}$, V) változása 13 és 20, valamint 20 és 35 év között
(Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)

	PAI (H) m ha⁻¹ év⁻¹	PAI (D_{1,3}) cm ha⁻¹ év⁻¹	PAI (V) m³ ha⁻¹ év⁻¹
2001-2007 (13-20 éves korban, 7 év)	0,46	0,74	8,43
2007-2022 (20-35 éves korban, 15 év)	0,29	0,43	7,15

Jelmagyarázat: PAI (H) = magassági korszaki átlagnövedék; PAI (D_{1,3}) = mellmagassági átmérő átlagnövedéke; PAI (V) = összes fatermési átlagnövedék

A 35 éves kísérleti állomány magassági osztályozása alapján a fák 18 %-a az I. m.o.-ba tartozik, azaz kimagaslók, 16 % a II. m.o.-ba, azaz uralkodó fák közé sorolható. Az 'Üllői' akácos igen nagy hányada (44 %) közbeszorult (III. m.o.) fák, 22 % pedig alászorult (IV. m.o.) egyed. A magassági osztályok magasság és átmérő értékei jól elkülönülnek, lefelé haladva (I-től IV-ig) az értékek csökkenek. Ugyanakkor, az összes fatermés esetében, ennek jelentős részét a közbeszorult (140,19 m³) fák adják (38 %-a az összes fatermésnek). Ha az 1. m.o.-ba tartozó fák átlagfa-térfogát 100 %-nak vesszük, akkor a 2. m.o. fái ennek a 64 %-a, a 3. m.o.-ba tartozó, közbeszorult fák 47 %-a, a 4. m.o. fáinak ezen értéke, a kimagasló fák 27 %-a (**11. táblázat**).

11. táblázat Faállomány szerkezeti tényezők magassági osztályonként (35 éves korban) (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)

Magassági osztály	n	N	N	H	D_{1,3}	G	V		v
	fa	fa ha⁻¹	%	m	cm	m² ha⁻¹	m³ ha⁻¹	%	m³
I	9	180	18	25,1	25,84	9,69	122,15	32,8	0,679
II	8	160	16	22,0	21,77	6,07	69,68	18,7	0,436
III	22	440	44	19,2	19,46	13,41	140,19	37,6	0,319
IV	11	220	22	16,3	15,70	4,34	40,33	10,8	0,183
Összes	50	1000	100%			33,52	372,34		
Átlag				20,6	20,69				0,404

Jelmagyarázat: n = a vizsgált mintaparcella faegyedeinek száma; N = törzsszám egy hektárra vonatkoztatva; H = faállomány átlagos magassága; D_{1,3} = faállomány átlagos mellmagassági (1,3 m) átmérője; G = faállomány átlagos körlapja egy hektárra vonatkoztatva; V = faállomány összes fatér fogata egy hektárra vonatkoztatva; v = a vizsgált mintaparcella faegyedeinek átlagos átlagfa-tér fogata

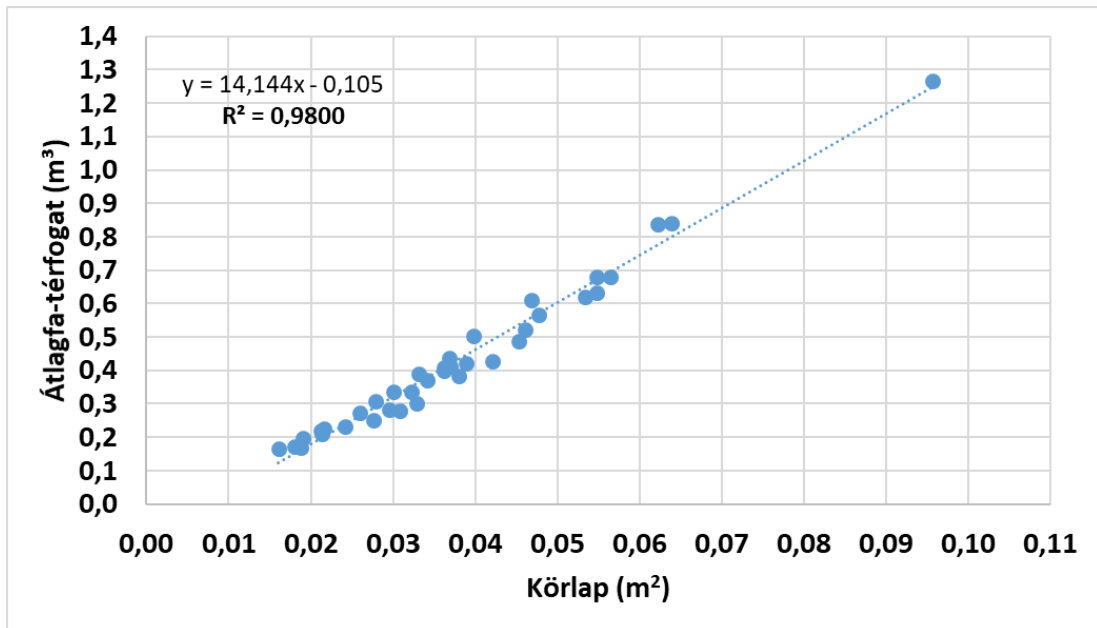
A koronaszerkezet főbb jellemzőit a **12. táblázat** foglaltam össze. A kimagasló fák (I. m.o.) rendelkeznek a legnagyobb koronaátmérővel, koronaszétterüléssel és koronavetülettel. Az uralkodó (II. m.o.) és közbeszorult (III. m.o.) fák koronaátmérőjében, valamint koronavetületében nincs nagy különbség. Továbbá a koronaátmérő és koronavetület értékek magassági osztályról magassági osztályra csökkennek. A lineáris korona index a legalacsonyabb magassági osztályban (IV. m.o.) a legnagyobb.

12. táblázat Koronaszerkezet jellemzői magassági osztályonként (35 éves korban)
(Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)

Magassági osztály	Koronaátmérő	Korona szétterülés	Lineáris korona index	Koronavetület
	m	%		m ²
I	5,82	23,18	22,51	26,57
II	4,06	18,43	18,63	12,92
III	3,96	20,58	20,34	12,31
IV	3,63	22,34	23,14	10,37
Átlag	4,37	21,13	21,15	15,54

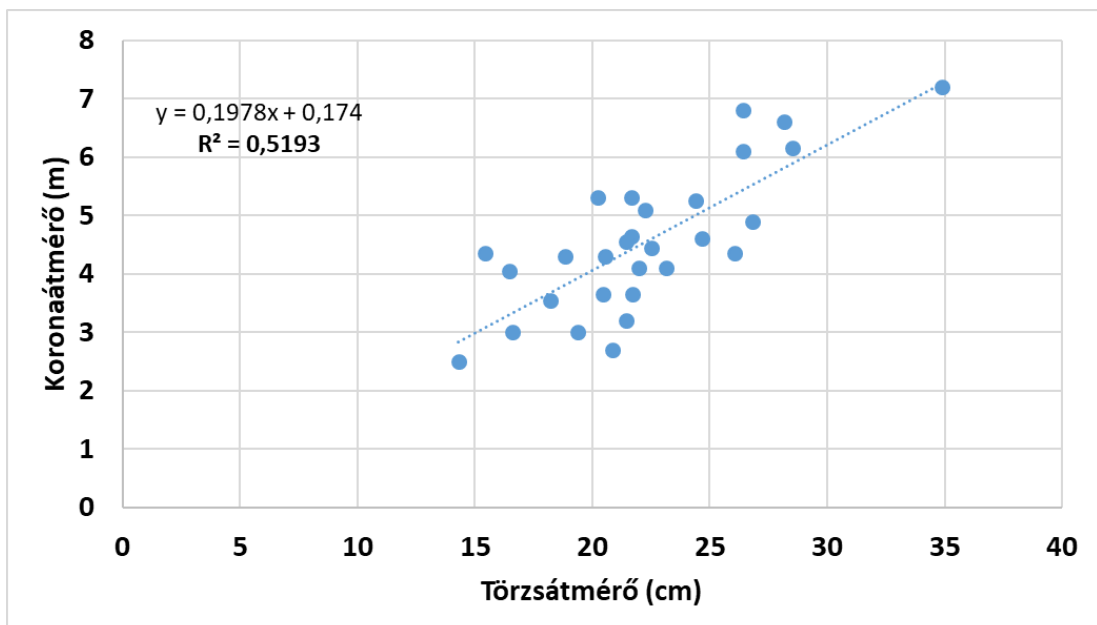
Annak érdekében, hogy az elemzések minél teljesebbek legyenek, a lineáris regresszió becsléséhez egyenest illesztettem az egészállomány fainak átlagfa-térfogat (v) és körlap (g) (**11. ábra**), valamint mellmagassági átmérő ($d_{1,3}$) és koronaátmérő (d_{kor}) értékei között (**12. ábra**). Továbbá, a nem lineáris regresszió evalvációjához, logaritmikus regressziós függvényt illesztettem a magasság és mellmagassági átmérő értékekre (**13. ábra**), illetve másodfokú regressziós függvényt alkalmaztam az átlagfa-térfogat és koronaátmérő értékekre (**14. ábra**).

Az egészállomány egyes fainak átlagfa-térfogat és mellmagassági körlap értékei között igen szoros összefüggés mutatkozott ($R^2 = 0,9800$) (**11. ábra**).



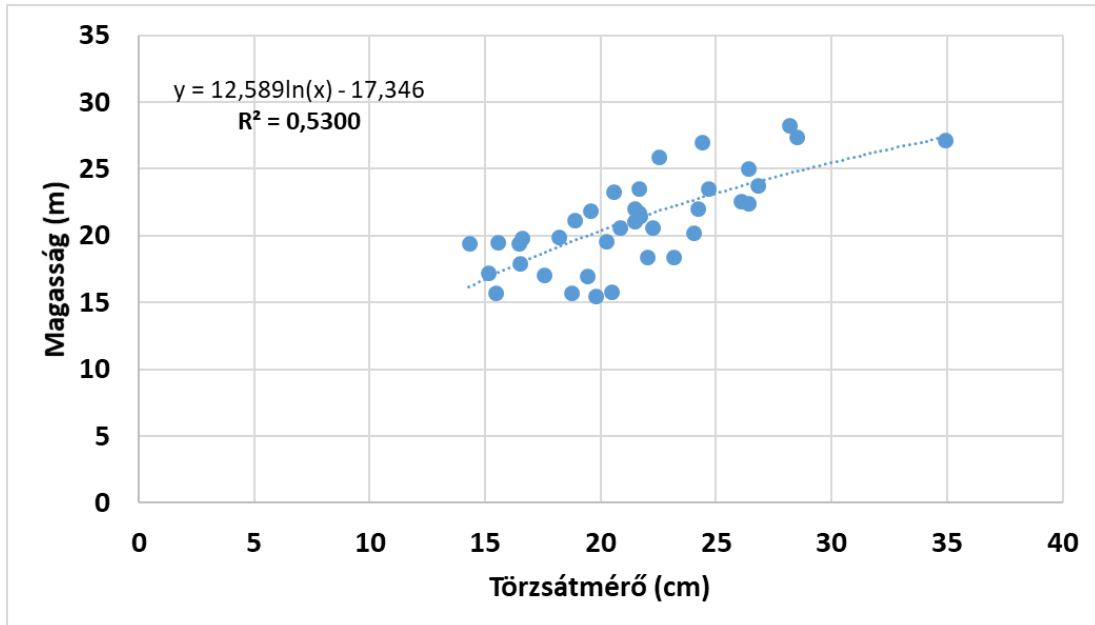
11. ábra 35 éves 'Üllői' akác egészállomány egyes fáinak (n = 38) átlagfa-térfogat és mellmagassági körlap értékei közötti lineáris összefüggés
(Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)

A korona- és törzsátmérő értékekre az egyenes jól illeszkedik ($R^2 = 0,5193$), mely szoros összefüggést ($r = 0,72$) mutat a két vizsgált paraméter között (**12. ábra**).



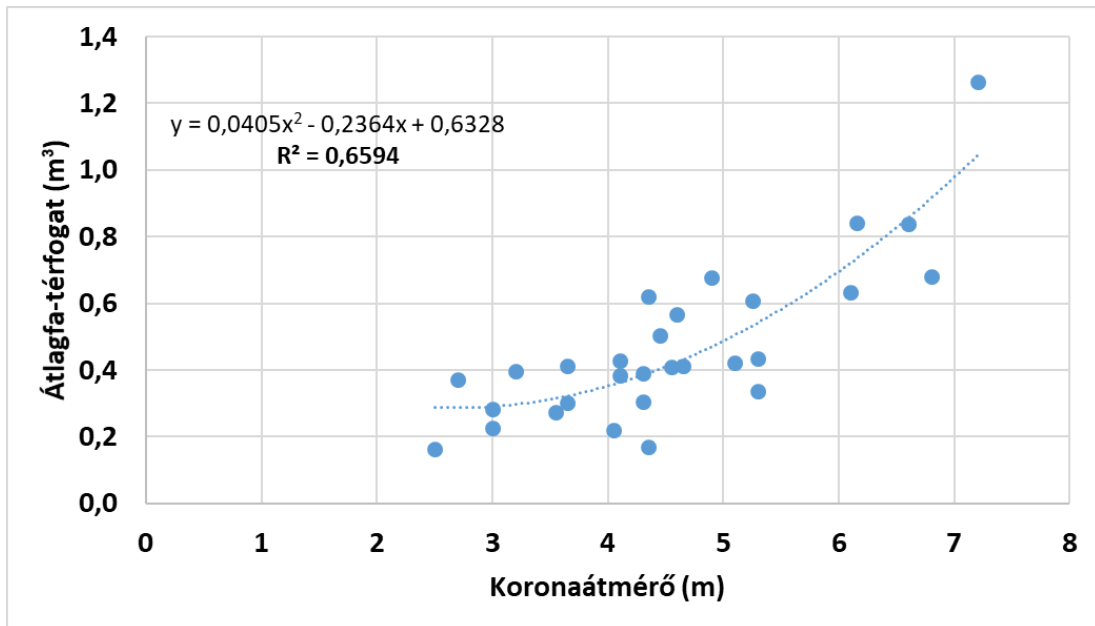
12. ábra 35 éves 'Üllői' akác egészállomány egyes fáinak (n = 29) koronaátmérő és mellmagassági törzsátmérő értékei közötti lineáris összefüggés
(Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)

A magasság és mellmagassági törzsátmérő értékek közötti vizsgálat eredménye ($R^2 = 0,5300$) azt mutatja, hogy az egyik adatsorból a másik igen jól modellezhető (**13. ábra**).



13. ábra 35 éves 'Üllői' akác egészállomány egyes fáinak ($n = 38$) magasság és mellmagassági törzsátmérő értékei közötti összefüggés
(Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)

A koronaátmérő és átlagfa-térfogat, értékek között is szoros összefüggést tapasztaltam (**14. ábra**). Az R^2 érték 0,6594 volt, ami azt jelenti, hogy jól illeszkedik a regressziós függvény a mért értékekre.



14. ábra 35 éves 'Üllői' akác egészállomány egyes fainak (n = 29) átlagfa-térfogat és koronaátmérő értékei közötti összefüggés (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)

A fentiekből kitűnik a koronaméret fatermésre gyakorolt matematikailag igazolt hatása, vagyis a koronaméret értékek alkalmasak nemcsak a „kommersz” (Rédei, 2006), hanem az 'Üllői' akácok várható fatermésének modellezésére is.

A koronavetület (CPA) értékéből az ajánlott hektáronkénti törzsszám (N) is kiszámítható. Esetünkben, véghasználati korban (35 év) mért, 22 cm-es mellmagassági törzsmérőnél az ajánlott hektáronkénti törzsszám 644, melyet a következő képlettel számítottam ki:

$N = 10\,000/CPA$, azaz $10\,000/15,54$, ami 644.

4.3. A 'Bácska', 'Homoki', 'Oszlopos' és 'Vacsi' akác fajtajelöltek növekedésének értékelése szélsőségesen száraz (marginális) termőhelyen

A Helvécia 22E erdőrészletben található fajta-klónösszehasonlító kísérletek eredményét, a legfontosabb dendrometriai jellemzőket (kor, n, H, $D_{1,3}$, v, TMI) a Helvécia 22E/1 esetében a **13. táblázatban**, a Helvécia 22E/2-nél a **14. táblázatban** foglaltam össze.

13. táblázat 'Vacsi', 'Homoki' fajtajelöltek legfontosabb dendrometriai jellemzői 15 éves korban, összevetve a közönséges akáccal (kontroll) a Helvécia 22E/1 erdőrészletben (2021.01.07.) (átlag±szórás)

Klón neve	Kor (év)	n	H (m)	D _{1,3} (cm)	v (dm ³)	TMI
Vacsi	15	50	9,04 ± 1,25 bc	7,70 ± 1,34 b	32,7	1,66
Homoki	15	34	10,51 ± 2,46 ab	9,48 ± 3,15 a	62,6	2,32
Kontroll	15	30	9,77 ± 2,05 b	7,56 ± 1,98 b	34,3	2,37

Jelmagyarázat: n = a vizsgált mintafák száma; H = mintafák átlagos magassága; D_{1,3} = mintafák átlagos mellmagassági (1,3 m) átmérője; v = a mintafák átlagos átlagfa-térfogata; TMI = a mintafák törzsmínőség-indexe. A H és D_{1,3} értékek esetében a betűk a klónok közti szignifikáns (p = 0,05) különbséget jelölik

A Helvécia 22E/1 kísérleti területen a 'Vacsi' és 'Homoki' fajtajelölteket vizsgáltam, összevetve a közönséges akáccal (kontroll). A 15 éves klónok között H, D_{1,3} és v tekintetében is szignifikáns (p = 0,05) különbségek mutatkoztak. A 'Homoki' bizonyult a legjobbnak. H esetében (10,51 m) jelentősen felülmúlta a 'Vacsi' fajtajelöltet (9,04 m), ugyanakkor a két fajtajelölt és a kontroll magasság értéke (9,77 m) jelentéktelen mértékben különbözött. Az átmérő esetében a 'Homoki' szignifikánsan nagyobb értéket (9,48 cm) produkált, mint a másik két vizsgált klón ('Vacsi': 7,70 cm, kontroll: 7,56 cm), melyek között jelentős különbséget nem tapasztaltam. A v értékekben is a 'Homoki' bizonyult a legjobbnak (62,6 dm³). A 'Vacsi' átlagfa-térfogata 32,7 dm³, a kontrollé 34,3 dm³. Törzsmínőség-index (TMI) vizsgálat eredménye alapján a 'Vacsi' bizonyult a legjobbnak. A 'Homoki' (2,32) és kontroll (2,37) között minimális különbség mutatkozott. A két utóbbi paraméter alapján megállapítható, hogy a 'Homoki' fajtajelölt átlagfa-térfogata 82,5 %-kal meghaladta a kontrollét, viszont a 'Vacsi' esetében -5 %-os eltérés mutatkozott e tekintetben. Ez utóbbi fajtajelölt ugyanakkor 43 %-kal jobb TMI-vel rendelkezett, mint a kontroll. A 'Homoki' törzsmínősége minimálisan (2 %) volt jobb a közönséges akácénál.

14. táblázat 'Bácska', 'Oszlopos' fajtajelöltek legfontosabb dendrometriai jellemzői 14 éves korban, összevetve a 'Jászkiséri' akáccal a Helvécia 22E/2 erdőrészletben (2021.01.07.) (átlag±szórás)

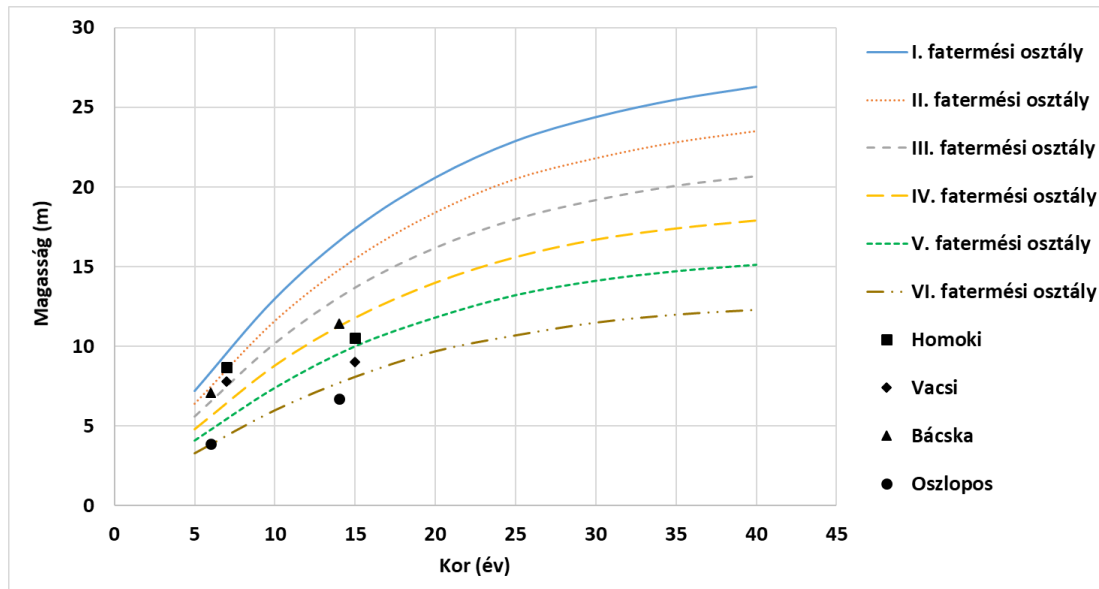
Klón neve	Kor (év)	n	H (m)	D _{1,3} (cm)	v (dm ³)	TMI
Bácska	14	38	11,44 ± 1,87 a	11,17 ± 2,79 a	79,0	2,50
Oszlopos	14	38	6,67 ± 1,32 b	7,60 ± 1,78 c	31,2	2,32
Jászkiséri	14	45	11,66 ± 1,35 a	9,85 ± 2,58 b	61,6	1,96

Jelmagyarázat: n = a vizsgált mintafák száma; H = mintafák átlagos magassága; D_{1,3} = mintafák átlagos mellmagassági (1,3 m) átmérője; v = a mintafák átlagos átlagfa-térfogata; TMI = a mintafák törzsmínőség-indexe. A H és D_{1,3} értékek esetében a betűk a klónok közti szignifikáns (p = 0,05) különbséget jelölik

A Helvécia 22E/2 erdőrészletben a 'Bácska' és az 'Oszlopos' fajtajelölteket vizsgáltam, összevetve az államilag elismert 'Jászkiséri' akáccal. A 14 éves klónok között H tekintetében a 'Jászkiséri' bizonyult a legjobbnak (11,66 m), ugyanakkor a 'Bácska' szignifikánsan nem különbözött tőle (11,44 m). Az D_{1,3} esetében viszont a 'Bácska' jelentősen nagyobb értéket (11,17 cm) produkált, mint a másik két vizsgált klón. A 'Jászkiséri' átmérője 9,85 cm volt. Az 'Oszlopos' rendkívül gyengének bizonyult úgy a H (6,67 m), mint a D_{1,3} (7,60 cm) tekintetében. Az eredmények p = 0,05 szinten szignifikánsak. A v értékekben is a 'Bácska' bizonyult a legjobbnak (79,0 dm³). A 'Jászkiséri' átlagfa-térfogata 61,6 dm³, az 'Oszlopos' akác fajtajelölté 32,7 dm³. A TMI vizsgálat eredménye alapján a 'Jászkiséri' bizonyult a legjobbnak (1,96). A 'Bácska' (2,50) és az 'Oszlopos' (2,32) között minimális különbség mutatkozott. A két utóbbi paraméter alapján megállapítható, hogy a 'Bácska' fajtajelölt átlagfa-térfogata 28 %-kal meghaladta az államilag elismert 'Jászkiséri' akácét. Az 'Oszlopos' viszont 49 %-kal alulmaradt a 'Jászkiséri' akáchoz képest. Törzsmínőségben mindkét fajtajelölt rosszabbul teljesített, mint a 'Jászkiséri'.

A **15. ábra** 6 és 7 (Rédei et al., 2013a, 2013b adatai alapján), illetve 14 és 15 éves fajtajelöltek ('Bácska', 'Homoki', 'Oszlopos', 'Vacsi') mért egyedeinek átlagos magasságának szóródása látható a kor függvényében a Rédei (1984) által közönséges akácra kidolgozott fatermési tábla fatermési osztályainak görbehalmazában. Megállapítható, hogy a vizsgált akáklónok – az 'Oszlopos' kivételével – 6-7 évesen a II. és III., idősebb (14-15 éves) korban IV. és VI. fatermési osztály között helyezkednek el, ami azt jelenti, hogy ilyen termőhelyi körülmények között gyenge-közepes fatermés

prognosztizálható. A 'Bácska' és 'Homoki' fajtajelöltek az ültetvényszerű fatermesztés kívánalmainak alsó határát (IV. fatermési osztály) éri el. Az 'Oszlopos' rendkívül gyenge növekedést mutatott (VI. fatermési osztály).



15. ábra 'Homoki', 'Vacsi', 'Bácska' és 'Oszlopos' fajtajelöltek magasság értékei a kor függvényében a közönséges akácra kidolgozott fatermési tábla (Rédei, 1984) magassági görbéin

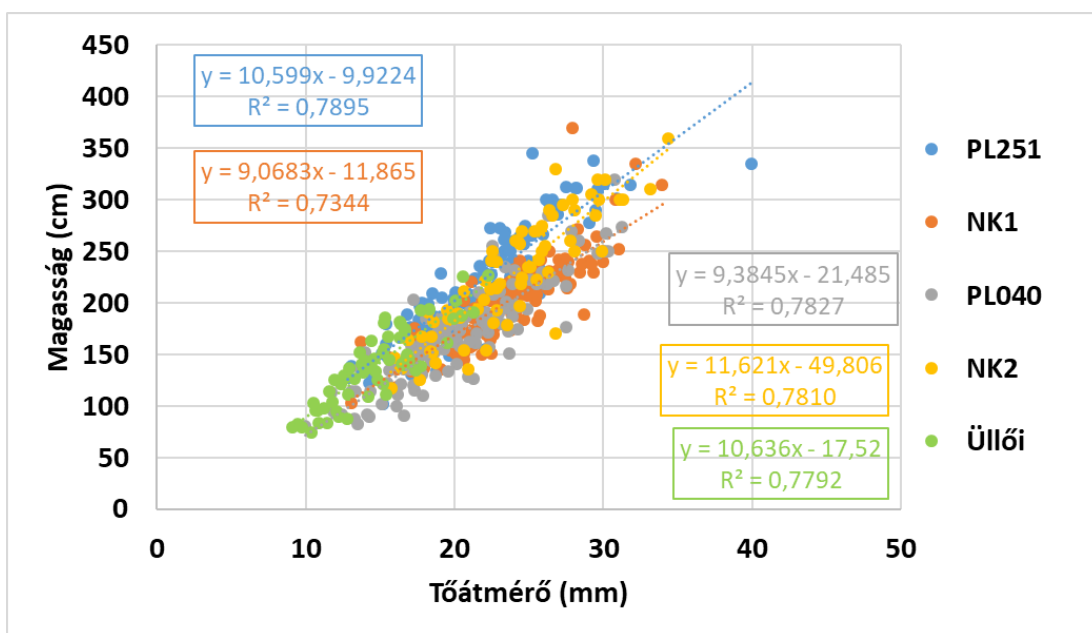
4.4. A 'Laposi', 'Napkori', 'Farkasszigeti' és 'Püspökladányi' akácklónok növekedési vizsgálatának értékelése, összevetve az 'Üllői' akáccal (Napkor)

4.4.1. 2021. májusi és novemberi állományvizsgálatok eredménye

A 2021. májusi magassági mérés eredményei az **15. táblázat** láthatók. Az egytényezős varianciaanalízis (LSD teszt) során megállapítottam, hogy magasság tekintetében, mindhárom ültetési hálózatban szignifikáns ($p = 0,05$) különbségek mutatkoznak a klónok között. Az NK2 ($2,5 \times 2,5$ m-es hálózatban 184,7 cm; 3×3 m-esben 227,8 cm; 4×4 m-esben 226,8 cm) és PL251 ($2,5 \times 2,5$ m-es hálózatban 176,9 cm; 3×3 m-esben 219,1 cm; 4×4 m-esben 226,3 cm) elnevezésű klónok bizonyultak a legjobbnak, még a leggyengébbnek az Üllői ($2,5 \times 2,5$ m-es hálózatban 117,7 cm; 3×3 m-esben 137,5 cm; 4×4 m-esben 138,3 cm). A tőátmérő tekintetében a 4 új klón között nem mutatkozott akkora jelentős eltérés, mint a magasság esetében. A tőátmérő mérések eredményei alapján az NK2 ($2,5 \times 2,5$ m-es hálózatban 19,98 mm; 3×3 m-esben 23,44 mm; 4×4 m-esben 23,80 mm) és az NK1 ($2,5 \times 2,5$ m-es hálózatban 18,65 mm;

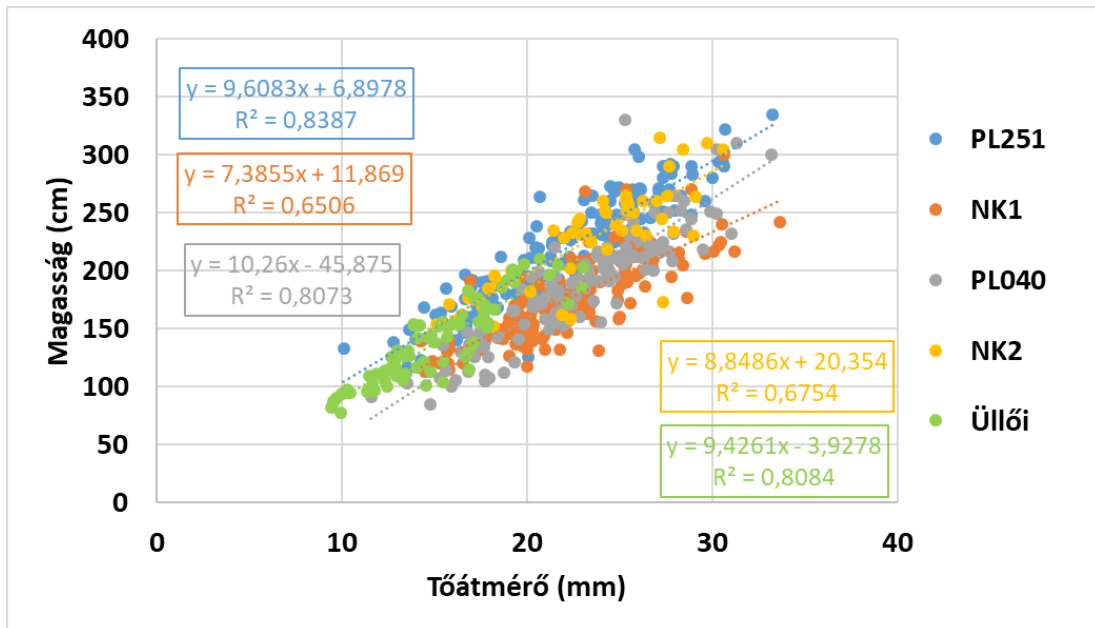
3 × 3 m-esben 22,36 mm; a 4 × 4 m-esben 23,30 mm) bizonyult a legjobbnak, míg az Üllői (2,5 × 2,5 m-es hálózatban 12,86 mm; 3 × 3 m-esben 15,01 mm; a 4 × 4 m-esben 14,65 mm) jelentősen a leggyengébbnek.

A májusi magasság és tőátmérő értékeket pontdiagrammokon is ábrázoltam, továbbá a két paraméter közötti kapcsolatot lineáris regresszióval igazoltam. Ez a következőképp alakult a 4 × 4 m ültetési hálózatban a PL251 klón esetében az R^2 0,7895, az NK1 klónnál kicsivel kevesebb ($R^2 = 0,7344$), még a többi klónnál közel megegyező (PL040 R^2 értéke 0,7827, NK2 R^2 értéke 0,7810, az Üllői R^2 értéke 0,7792) (**16. ábra**).

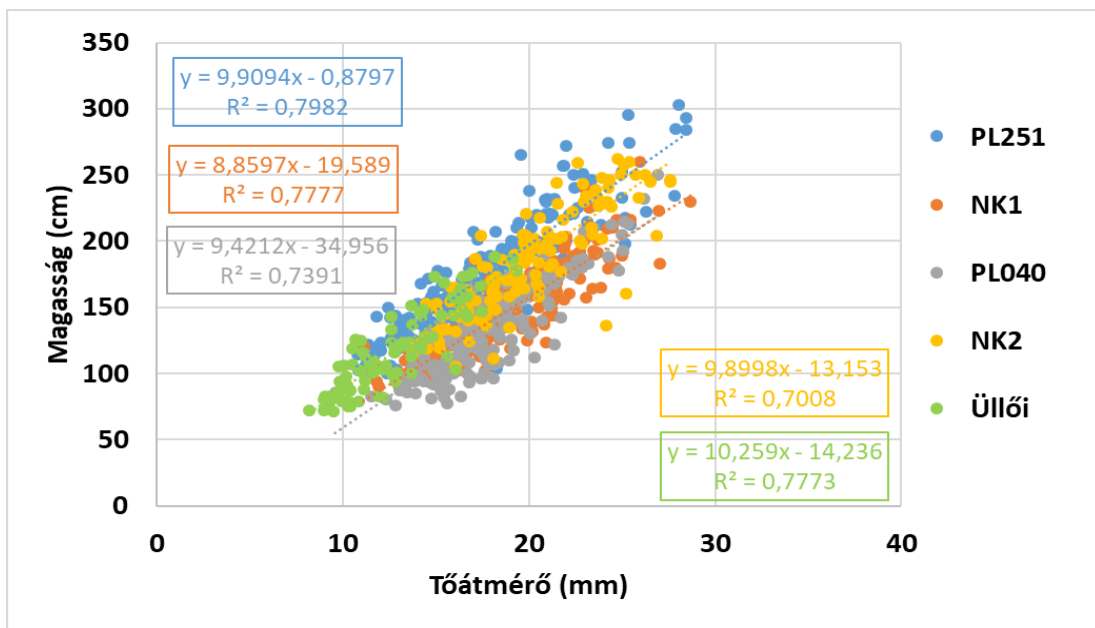


16. ábra A 4 × 4 m-es ültetési hálózatban vizsgált klónok magasság (cm) és tőátmérő (mm) értékei, valamint a két paraméter közötti lineáris kapcsolat (Napkor, 2021.05.06.)

A 3 × 3 m-es ültetési hálózatban a következő eredmények születtek: $R^2 = 0,8387$ (PL251), $R^2 = 0,6506$ (NK1), $R^2 = 0,8073$ (PL040), $R^2 = 0,6754$ (NK2), $R^2 = 0,8084$ (Üllői) (**17. ábra**). A 2,5 × 2,5 m ültetési hálózatban $R^2 = 0,7982$ (PL251), $R^2 = 0,7777$ (NK1), $R^2 = 0,7391$ (PL040), $R^2 = 0,7008$ (NK2), $R^2 = 0,7773$ (Üllői) (**18. ábra**). A magas R^2 értékek a magassági és tőátmérő adatok közötti szoros összefüggésre utalnak.



17. ábra A 3 × 3 m-es ültetési hálózatban vizsgált klónok magasság (cm) és tőátmérő (mm) értékei, valamint a két paraméter közötti lineáris kapcsolat (Napkor, 2021.05.06.)



18. ábra A 2,5 × 2,5 m-es ültetési hálózatban vizsgált klónok magasság (cm) és tőátmérő (mm) értékei, valamint a két paraméter közötti lineáris kapcsolat (Napkor, 2021.05.06.)

Magasság tekintetében ősszel (2021. november) is az NK2 (2,5 × 2,5 m-es hálózatban 485,7 cm; 3 × 3 m-esben 489 cm; a 4 × 4 m-esben 476,4 cm) és PL251 (2,5 × 2,5 m-es hálózatban 424,8 cm; 3 × 3 m-esben 474,2 cm; a 4 × 4 m-esben 470,7 cm) klónok

bizonyultak a legjobbnak, és az Üllői ($2,5 \times 2,5$ m-es hálózatban 293 cm; 3×3 m-esben 313,7 cm; a 4×4 m-esben 317,6 cm) a leggyengébbnek. A novemberi tőátmérő eredmények esetében a $2,5 \times 2,5$ m-es hálózatban az NK2 (55,58 mm), PL251 (54,46 mm), NK1 (53,12 mm) bizonyult a legjobbnak. A 3×3 m-es ültetési hálózatban minimális különbség mutatkozott a 4 új klón között, legjobban a PL040 (65,29 mm) teljesített. A 4×4 m-es hálózatban az NK1 (71,05 mm) és a PL251 (69,32 mm) klónok produkálták a legjobb eredményt. Mindhárom hálózatban az Üllői mutatta a legkisebb tőátmérő értékeket, 44,56 mm ($2,5 \times 2,5$ m), 53,92 mm (3×3 m), 55,37 mm (4×4 m) **(15. táblázat)**.

A két állományfelvétel lehetőséget biztosított a magassági és vastagsági növekedés vizsgálatára. A 2021. május-november közötti időszakban mindegyik ültetési hálózatban az NK2 klón produkálta a legjobb magassági növekedést. A $2,5 \times 2,5$ m hálózatban 301,1 cm, a 3×3 m-esben 261,2 cm, a 4×4 m-esben 249,6 cm magassági növekedést mértünk a vizsgált időszakban. A tőátmérő növekedés már változatosabb képet mutatott. A $2,5 \times 2,5$ m-es ültetési hálózatban a PL251 (36,53 mm), a 3×3 m-esben a PL040 (42,42 mm), a 4×4 m-esben az NK1 (47,74 mm) és PL251 (47,04 mm) klónok teljesítettek a legjobban. Leggyengébbnek az Üllői bizonyult, mind magassági, mind tőátmérő növekedésben. A tőátmérő mérés eredményeiből megállapítható, hogy az ültetési hálózat nagymértékben befolyásolja a vastagsági növekedést: minél tágabb a hálózat, annál nagyobb a tőátmérő értéke, illetve a vastagsági növekedés **(15. táblázat)**.

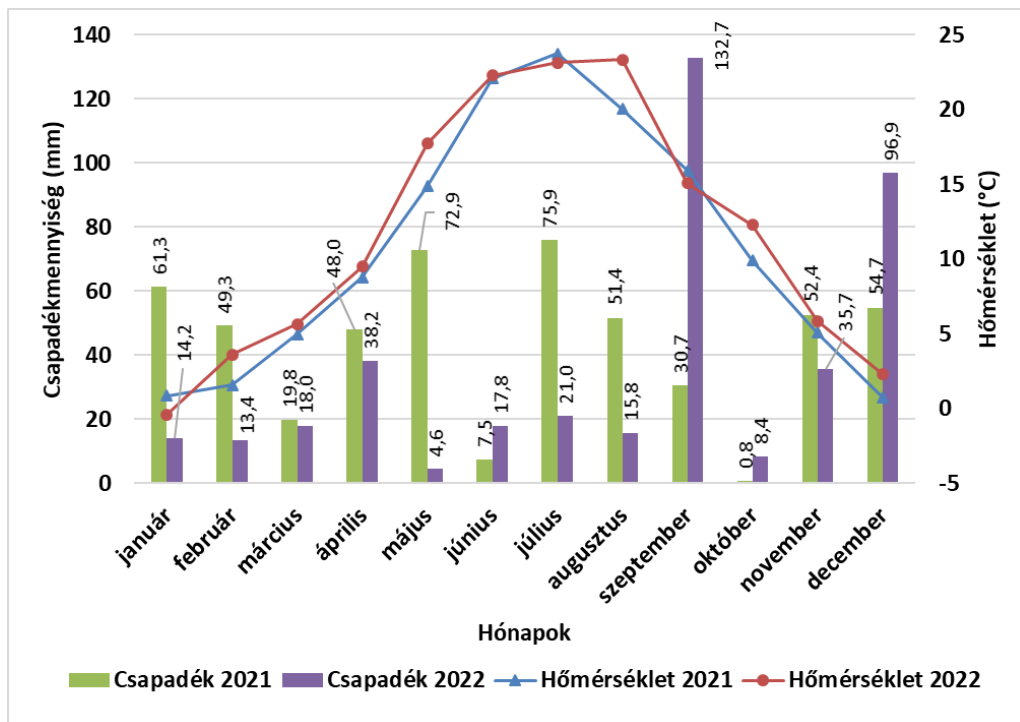
15. táblázat A klónok magassága (H) és tőátmérője ($D_{t\bar{o}}$) (átlag \pm szórás), valamint magassági ($H_{n\bar{o}v}$) és vastagsági ($D_{t\bar{o}n\bar{o}v}$) növekedése a vizsgált időszak (2021. május és november) alatt. Az n1 a májusi, az n2 a novemberi állományfelvételek során mért egyedek számára utal. A kis (2021. májusi mérés) és nagy (2021. novemberi mérés) betűk a vizsgált paraméterek közötti szignifikáns különbségeket ($p = 0,05$) jelölik (Napkor, 2021)

Ültetési hálózat: 2,5 × 2,5 m							
Klónok	Mérés ideje		n (db)	H (cm)	$H_{n\bar{o}v}$ (Máj-Nov) (cm)	$D_{t\bar{o}}$ (mm)	$D_{t\bar{o}n\bar{o}v}$ (Máj- Nov) (mm)
PL251	Május	n1	216	176,9 \pm 42,31 a	248,0	17,94 \pm 3,82 c	36,53
	November	n2	224	424,8 \pm 39,44 B		54,46 \pm 7,21 AB	
NK1	Május	n1	204	145,6 \pm 33,80 b	174,2	18,65 \pm 3,36 b	34,48
	November	n2	201	319,9 \pm 42,34 D		53,12 \pm 9,76 B	
PL040	Május	n1	178	131,8 \pm 33,83 c	215,5	17,70 \pm 3,09 c	28,61
	November	n2	200	347,3 \pm 57,09 C		46,31 \pm 8,07 C	
NK2	Május	n1	124	184,7 \pm 38,83 a	301,1	19,98 \pm 3,28 a	35,60
	November	n2	120	485,7 \pm 43,06 A		55,58 \pm 5,84 A	
Üllői	Május	n1	87	117,7 \pm 31,70 d	175,3	12,86 \pm 2,72 d	31,70
	November	n2	81	293,0 \pm 44,73 E		44,56 \pm 8,60 C	
Ültetési hálózat: 3,0 × 3,0 m							
Klónok	Mérés ideje		n (db)	H (cm)	$H_{n\bar{o}v}$ (Máj-Nov) (cm)	$D_{t\bar{o}}$ (mm)	$D_{t\bar{o}n\bar{o}v}$ (Máj- Nov) (mm)
PL251	Május	n1	137	219,1 \pm 48,45 a	255,1	22,08 \pm 4,62 b	40,86
	November	n2	146	474,2 \pm 48,48 B		62,95 \pm 8,98 B	
NK1	Május	n1	157	177,0 \pm 35,02 c	193,7	22,36 \pm 3,83 ab	40,81
	November	n2	174	370,7 \pm 43,96 D		63,17 \pm 8,55 B	
PL040	Május	n1	124	188,7 \pm 48,17 b	236,1	22,87 \pm 4,22 ab	42,42
	November	n2	126	424,9 \pm 44,52 C		65,29 \pm 7,85 A	
NK2	Május	n1	50	227,8 \pm 44,36 a	261,2	23,44 \pm 4,12 a	40,86
	November	n2	97	489,0 \pm 40,29 A		64,30 \pm 5,79 AB	
Üllői	Május	n1	81	137,5 \pm 34,74 d	176,2	15,01 \pm 3,31 c	38,91
	November	n2	84	313,7 \pm 50,75 E		53,92 \pm 10,15 C	
Ültetési hálózat: 4,0 × 4,0 m							
Klónok	Mérés ideje		n (db)	H (cm)	$H_{n\bar{o}v}$ (Máj-Nov) (cm)	$D_{t\bar{o}}$ (mm)	$D_{t\bar{o}n\bar{o}v}$ (Máj- Nov) (mm)
PL251	Május	n1	94	226,3 \pm 55,48 a	244,4	22,29 \pm 4,65 b	47,04
	November	n2	93	470,7 \pm 45,27 A		69,32 \pm 9,01 A	
NK1	Május	n1	133	199,5 \pm 41,29 b	193,6	23,30 \pm 3,90 ab	47,74
	November	n2	123	393,0 \pm 49,90 B		71,05 \pm 9,09 A	
PL040	Május	n1	108	170,9 \pm 49,87 c	224,5	20,50 \pm 4,70 c	41,62
	November	n2	93	395,4 \pm 68,04 B		62,12 \pm 9,90 B	
NK2	Május	n1	70	226,8 \pm 57,16 a	249,6	23,80 \pm 4,35 a	40,98
	November	n2	65	476,4 \pm 53,81 A		64,78 \pm 7,31 B	
Üllői	Május	n1	64	138,3 \pm 37,56 d	179,3	14,65 \pm 3,12 d	40,72
	November	n2	49	317,6 \pm 36,95 C		55,37 \pm 8,63 C	

4.4.2. A 2022-es év meteorológiai adatainak elemzése

2022-ben rendkívüli hőség (az elmúlt 100 év legmelegebb nyara volt) és aszály sújtotta hazánkat, melynek kialakulásához jelentősen hozzájárult, hogy már a 2021-es évet is általánosságban a szárazság jellemezte. A hosszabb ideig tartó csapadékmentes időszak a nyári időszak elején (júniusban) kezdődött, de már a tavaszi időszak is szárazabb volt a sokéves átlaghoz képest. A 2021-es év nemcsak szárazabb, de melegebb is volt a korábbi évekkal összevetve (Szentés, 2023).

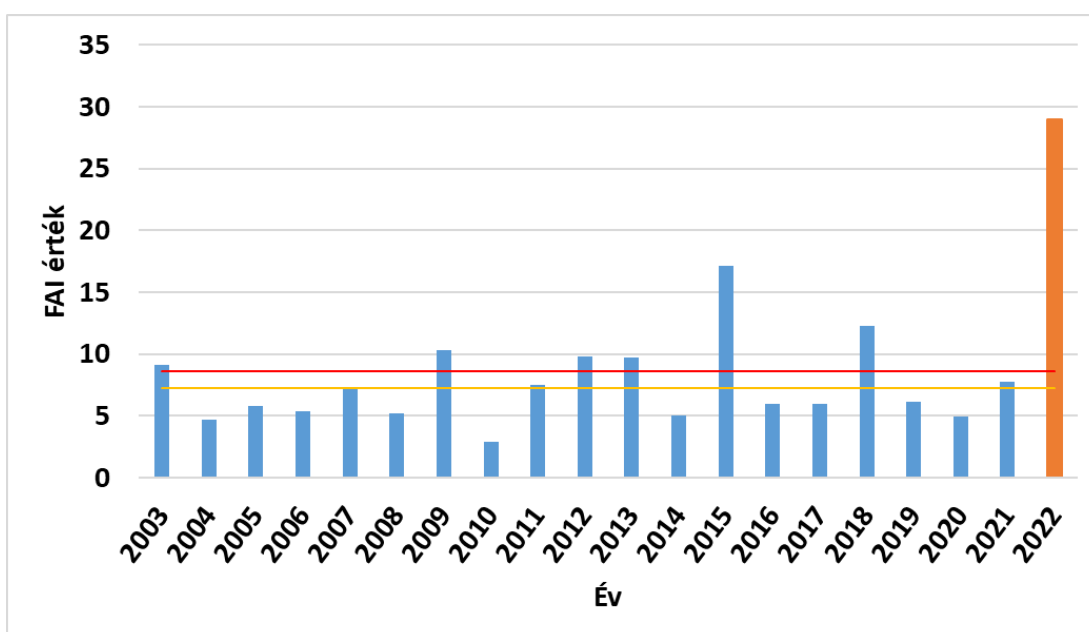
A Nyíregyháza-Napkor meteorológiai állomás adatait vizsgálva, azt tapasztaltam, hogy 2022-ben a fák fő növekedési időszakában (május-augusztus) csupán 59,2 mm csapadék hullott, ami jelentősen elmarad a térség sok éves (2002–2021) átlagától (253,3 mm). Továbbá a júniusi (22,3 °C), júliusi (23,2 °C) és augusztusi (23,4 °C) havi középhőmérséklet magasabb volt a szokásos átlagoknál – 20,2, 21,7, illetve 21,3 °C (Ábri és Csajbók, 2023). A 2022-es év havi átlag hőmérsékletének és csapadékmennyiségének alakulása, a 2021-es évvel összevetve a **19. ábra** látható.



19. ábra A 2022-es év havi átlag hőmérsékletének és csapadékmennyiségének alakulása, összevetve a 2021-es évvel (az OMSZ Nyíregyháza-Napkor meteorológiai állomásának adatai alapján)

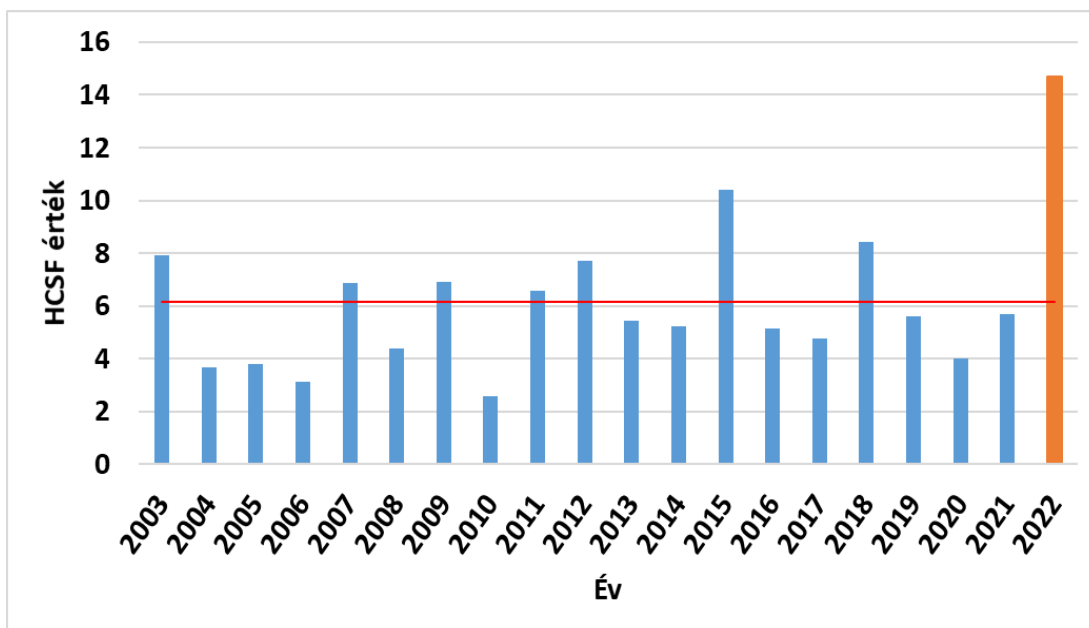
A kísérleti terület éghajlatáról átfogó képet ad a fák számára kritikus időszaknak számító július és augusztusi hőmérséklet és csapadék adatokat felhasználó FAI, valamint a vegetációs időszak (márciustól augusztusig) ezen adatait alkalmazó HCSF.

A FAI 2003 és 2022 között viszonylag alacsony ingadozást mutatott ($8,61 \pm 5,78$). Az ESZTY és KTT-CS klímaosztályok határát jelentő 7,25-ös FAI-érték feletti évek aránya 50% volt, és 2003-ban, 2007-ben, 2009-ben, 2011-ben, 2012-ben, 2013-ban, 2015-ben, 2018-ban, 2021-ben és 2022-ben fordult elő, átlagosan 3,40-es eltéréssel. A 20 év alatt nem mutatkozott semmilyen tendencia. 2022-ben a FAI eltérése a 2003-2022 közötti időszak átlagától 20,38 volt, 237 %-kal magasabb (**20. ábra**).



20. ábra Az erdészeti aszályossági index (FAI) alakulása 2003-2022 közötti időszakban az OMSZ Nyíregyháza-Napkor meteorológiai állomásának adatai alapján, a sárga vonal az erdőszytepp klíma alsó határát, még a piros vonal a vizsgált időszak átlagos FAI értékét jelöli

A HCSF hasonló mintázatot mutatott a 2003 és 2022 közötti időszakban: $6,15 \pm 2,80$, és hasonlóan nem mutatott tendenciát. Az átlag feletti évek 2003-ban, 2007-ben, 2009-ben, 2011-ben, 2012-ben, 2015-ben, 2018-ban és 2022-ben fordultak elő, az átlagtól való átlagos eltérés 2,03 volt. 2022-ben a HCSF eltérése a 20 év (2003-2022) átlagától 8,53 volt, ami 139%-kal magasabb (**21. ábra**).



21. ábra A Hőmérséklet-Csapadék Faktor (HCSF) alakulása 2003-2022 közötti időszakban az OMSZ Nyíregyháza-Napkor meteorológiai állomásának adatai alapján, a piros vonal a vizsgált időszak átlagos HCSF értékét jelöli

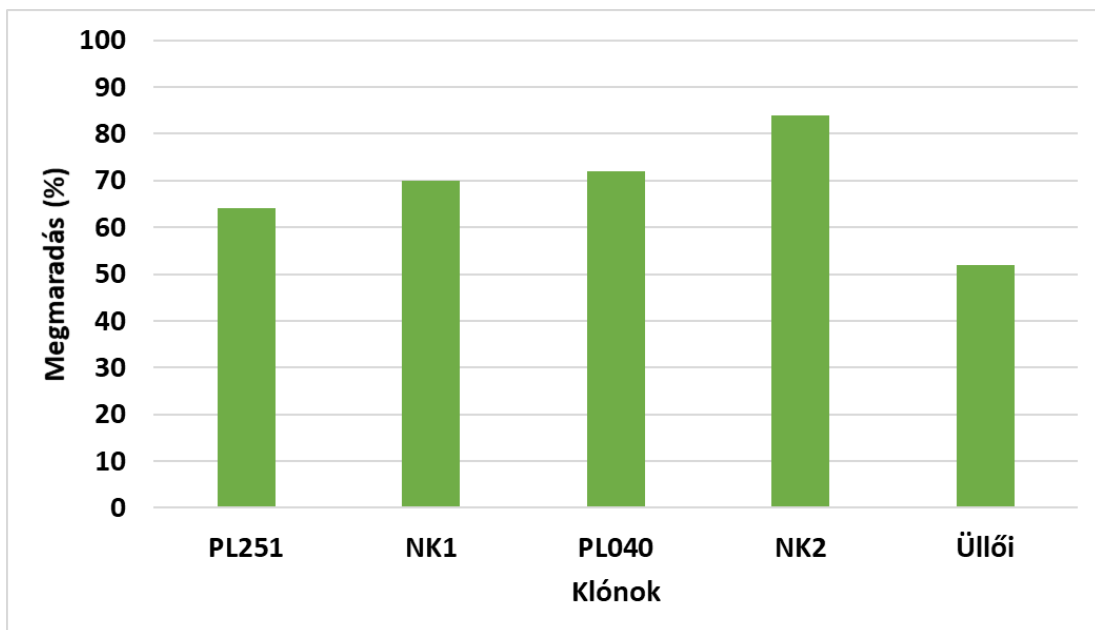
Általánosságban elmondható, hogy a növények különböző morfológiai, fiziológiai, biokémiai és molekuláris változásokat produkálnak, amelyek szárazság- vagy hőstressz, illetve ezek kombinációja esetén stressztűrő képességet eredményeznek. 2022-ben az ültetvények elsősorban súlyos nyári hőségnek és szárazságnak voltak kitéve. A vizsgált területen az akácklónok rendkívüli stressztűrése jelentős szerepet játszott a kismértékű mortalitásban és a viszonylag jó biomassza-termelésben.

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület által 2020-ban közzétett A1B kibocsátási forgatókönyv figyelembevételével a magyarországi erdőterületnek 2050-ben várhatóan mintegy 10%-a, 2070-ben pedig 60%-a fog ESZTY erdészeti klímakategóriába tartozni (Gálos és Führer, 2018; Mátyás et al., 2018), ami még nagyobb kihívás elé állítja az erdők fenntarthatóságának megőrzését célzó erdészeket.

4.4.3. Megmaradás, magassági és vastagsági növekedés vizsgálatának eredménye (2022. április, valamint a 2022. május és augusztus hónapok közötti időszakban)

A klónok megmaradását 2022 áprilisában vizsgáltuk. A vizsgálat során a pótlásokat nem számoltuk. A megmaradás a következőképpen alakult. A PL251 és NK1

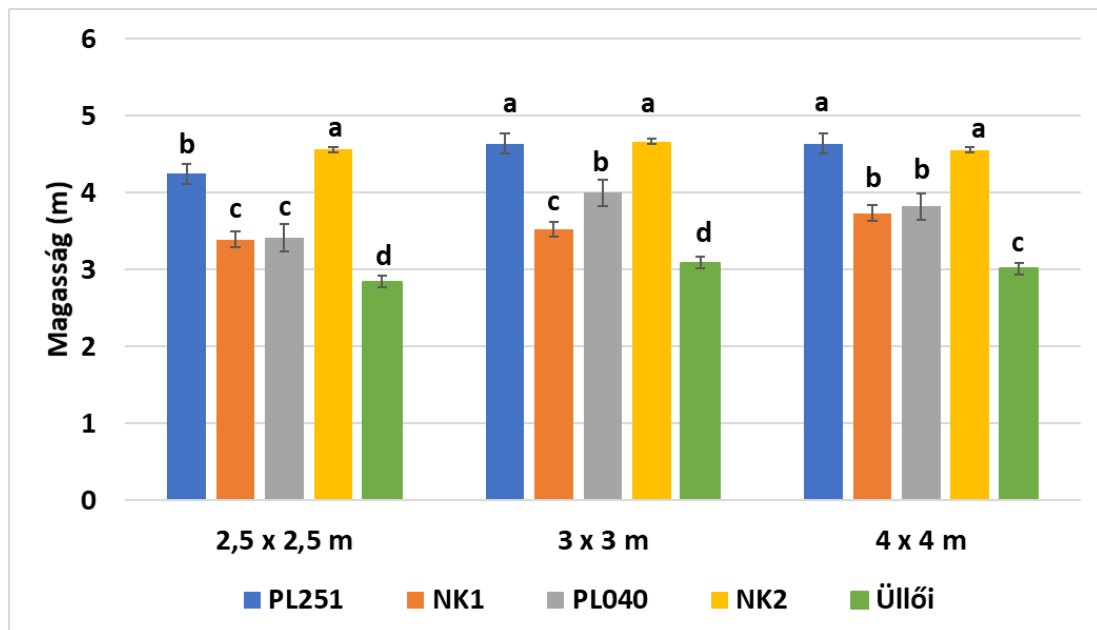
klónok esetében 728 db csemete került kiültetésre, amiből 463 és 508 db maradt. Ez a PL251 esetében 64%-os, az NK1-nél 70%-os megmaradást jelent, ami igen jónak mondható. A PL040-es klónból 595 db-ot ültettünk el 2020-ban, 2022-ben 431 db (72%) maradt. Az NK2 elnevezésű klónból 356 db csemetét ültettünk, a vizsgálat évében 299 db-ot számoltunk belőle, ami 84%-os megmaradást jelent. A klónokat összehasonlítva ennek a klónnak volt a legjobb a megmaradása. Az 'Üllői' esetében – a többi klónhoz képest – igen nagy volt a mortalitás, 478 db-ból 248 maradt meg (**22. ábra**).



22. ábra A vizsgált klónok megmaradása (%) (Napkor, 2022.04.11.)

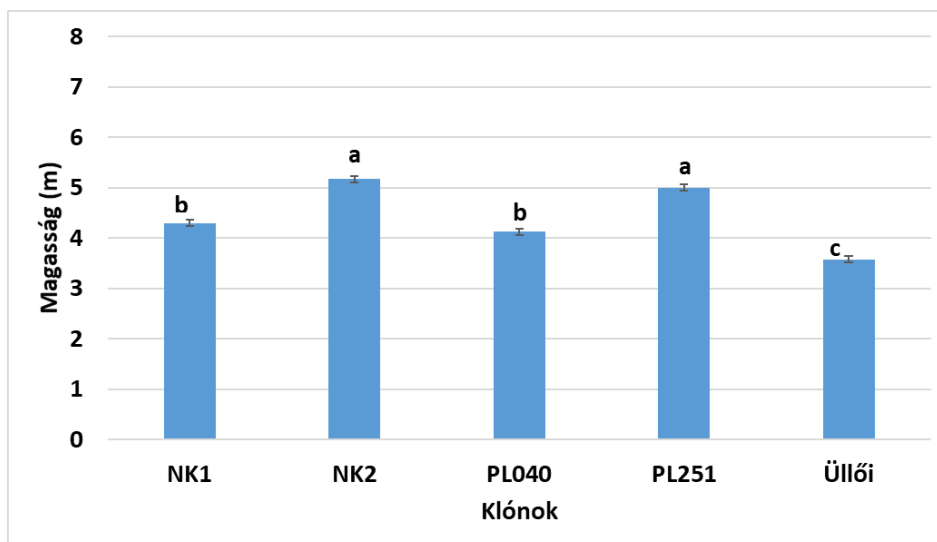
A megmaradás vizsgálata mellett az egyes fák magasságát is mértük. Az eredményeket a **23. ábra** összegeztem. Az egytényezős varianciaanalízis (Games-Howell teszt) vizsgálata után a klónok között mindhárom ültetési hálózatban szignifikáns ($p = 0,05$) különbség mutatkozott. A $2,5 \times 2,5$ m-es hálózatban az NK2 klón produkálta a legnagyobb átlag magassági értéket (4,56 m), szignifikánsan különbözött a többi klóntól. A második legjobb értéket a PL251-es klón esetében mértük (4,24 m). Az NK1 és PL040 klónok között szignifikáns különbség nem mutatkozott, előbbi magassága 3,39 m, utóbbié 3,41 m volt. A 3×3 m-es hálózatban hasonló tendencia mutatkozott, azzal a megjegyzéssel, hogy a PL251-es klón átlag magasság értéke (4,63 m) ebben az ültetési hálózatban nem különbözött jelentős mértékben az NK2 klón vonatkozó értékétől (4,66 m), valamint itt a PL040 klón (4,00 m) szignifikánsan különbözött az NK1-estől (3,52 m). A 4×4 m-es ültetési hálózatban ugyancsak a PL251 és NK2 klónok bizonyultak a

legjobb. Átlagos magassági értékük 4,63 m és 4,55 m volt, szignifikáns különbséget nem tapasztaltunk, szintén nem mutatkozott jelentős különbség a PL040 (3,82 m) és NK1 (3,73 m) jelzésű klónok között. Legalacsonyabbnak az 'Üllői' bizonyult mindhárom ültetési hálózatban: 2,84 m (2.5 × 2.5 m); 3,09 m (3 × 3 m); 3,01 m (4 × 4 m). Összefoglalva mindegyik hálózatban a PL251 és NK2 klónok a legmagasabbak, míg az 'Üllői' a legalacsonyabb.



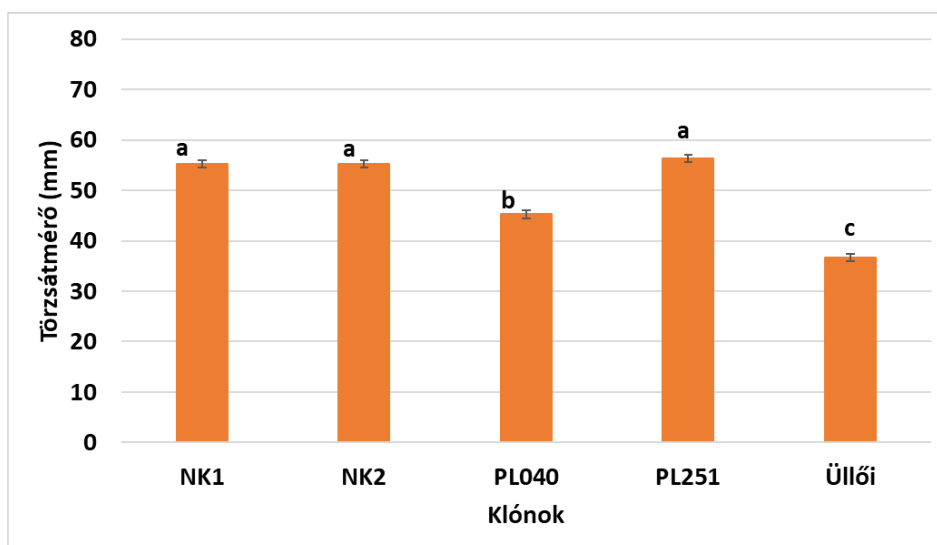
23. ábra A vizsgált klónok összehasonlítása magasság (m) szerint a 3 ültetési hálózatban, ±standard hiba, a betűk a klónok közti szignifikáns különbséget jelölik $p = 5\%$ szinten (Napkor, 2022.04.11.)

A júniusi vizsgálat során a korábban kijelölt mintafák magasságát és átmérőjét mértük. A klónok között szignifikáns különbségek mutatkoztak ($p = 0,05$ szinten) mindkét vizsgált paraméter tekintetében, melyeket Games-Howell teszttel igazoltam. A magasság mérés eredményeinek kiértékelése során megállapítottam, hogy az NK2 (5,17 m) és PL251 (4,99 m) klónok jelentősen felülmúlták a többieket (**24. ábra**), ugyanakkor e két klón között szignifikáns különbséget nem találtam.



24. ábra A vizsgált klónok összehasonlítása magasság (m) szerint 30 mintafa alapján ($n = 30$) a $2,5 \times 2,5$ m ültetési hálózatban, \pm standard hiba, a betűk a klónok közti szignifikáns különbséget jelölik $p = 5\%$ szinten (Napkor, 2022.06.20.)

A mellmagassági átmérő esetében a PL251 (56,30 mm), az NK1 (55,23 mm) és NK2 (55,19 mm) klónok bizonyultak legjobbnak, közöttük minimális – nem szignifikáns – különbség mutatkozott (**25. ábra**). Az 'Üllői' mindkét vizsgált paraméterben a leggyengébbnek bizonyult, 3,58 m átlagos magassággal és 36,67 mm átlagos átmérővel (**24. ábra** és **25. ábra**).



25. ábra A vizsgált klónok összehasonlítása mellmagasságban (1,3 m) mért törzsátmérő (mm) szerint 30 mintafa alapján a $2,5 \times 2,5$ m ültetési hálózatban, \pm standard hiba, a betűk a klónok közti szignifikáns különbséget jelölik $p = 5\%$ szinten (Napkor, 2022.06.20.)

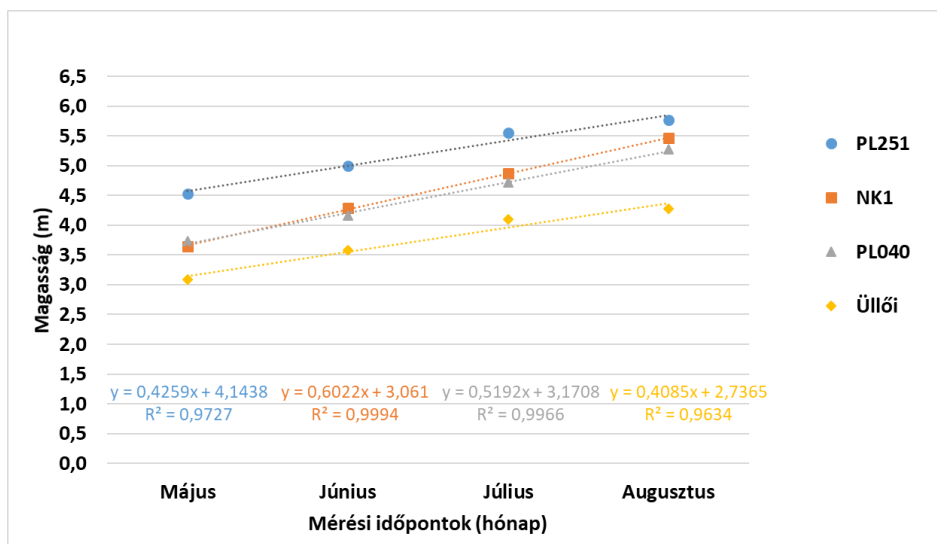
A vizsgált időszakban (2022. május – 2022. augusztus) mért magassági és átmérő értékekből számított növedék tekintetében is szignifikáns ($p = 0,05$) különbség mutatkozott a klónok és a kontroll 'Üllői' akác között, melyet szintén Games-Howell teszttel igazoltam. Az eredményeket a **16. táblázat** foglaltam össze.

16. táblázat A klónok ($n =$ vizsgált mintafák száma) magassági ($H_{növ}$) és vastagsági (1,3 m magasságban mért törzsátmérő) ($D_{növ}$) növekedése a vizsgált időszak (2022. május-augusztus) alatt. Átlag (\bar{x}), szórás (SD), standard hiba (S.E.). A kis betűk a klónok közti szignifikáns különbséget jelölik $p = 5\%$ szinten (Napkor, 2022)

Klónok	n (db)	$H_{növ}$ (máj-aug) (m)			$D_{növ}$ (máj-aug) (mm)		
		\bar{x}	SD	S.E.	\bar{x}	SD	S.E.
NK1	20	1,81 a	0,42	0,044	21,35 ab	5,34	0,526
PL040	25	1,54 b	0,31	0,044	23,76 a	5,27	0,526
PL251	16	1,23 c	0,27	0,044	19,97 b	3,09	0,526
Üllői	26	1,19 c	0,31	0,044	18,73 b	3,87	0,526

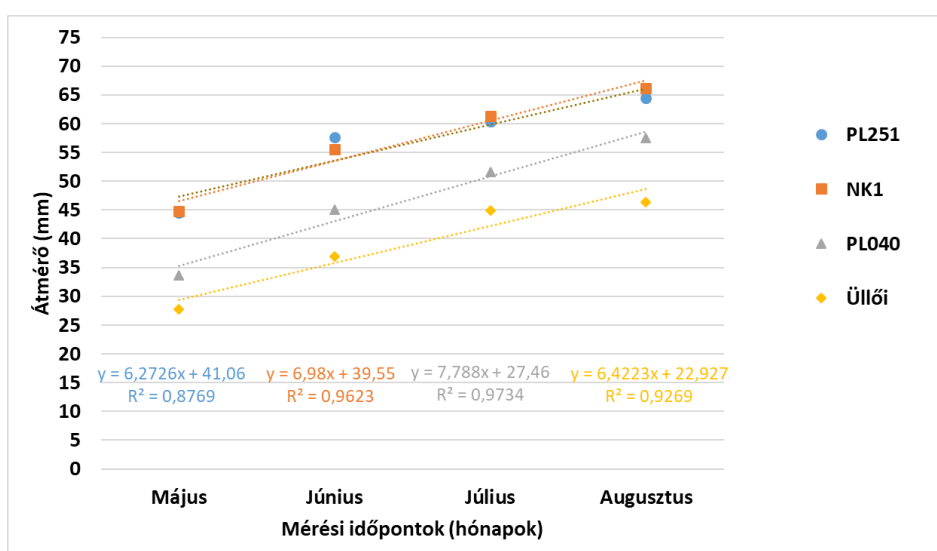
Az NK1 jelzésű klón produkálta a legnagyobb magassági növedéket (1,81 m), szignifikánsan különbözött a másik három vizsgált klóntól, a második legjobbnak a PL040-es klón bizonyult (1,54 m). A PL251-es klón 1,23 m-t, még az Üllői 1,19 m-t nőtt, e kettő között szignifikáns különbség nem volt. A vastagsági növekedés elemzése során megállapítottuk, hogy a PL040 jelzésű klón bizonyult a legjobbnak (23,76 mm), szignifikáns különbség a PL251 klón (19,97 mm) és az 'Üllői' akáccal (18,73 mm) szemben volt. Az NK1-es klón átmérő növedéke (21,35 mm) szignifikáns nem különbözött a másik három vizsgált klóntól.

A vizsgált klónok és az Üllői akác magassági és vastagsági növekedését a **26. ábra** és **27. ábra** segítségével mutatom be.



26. ábra A vizsgált klónok összehasonlítása magassági (m) növekedésük alapján alapján a $2,5 \times 2,5$ m ültetési hálózatban (Napkor, 2022. május-augusztus)

A vizsgált időszakban, a klónok magassági és vastagsági növekedése közötti eltéréseket jól mutatják az egyenletben lévő x értékek, vagyis a meredekség, mely alapján igazolható, hogy magasság esetében az NK1-es klón produkálta a legjobb ($y = 0,6022x + 3,061$), az Üllői pedig a leggyengébb ($y = 0,4085x + 2,7365$) eredményt (26. ábra), még a vastagsági növekedésnél a PL040 klón bizonyult a legjobbnak ($y = 7,788x + 27,46$), a PL251-es a legrosszabbnak ($y = 6,2726x + 41,06$) (27. ábra).



27. ábra A vizsgált klónok összehasonlítása vastagsági (mellmagassági átmérő, mm) növekedésük alapján a $2,5 \times 2,5$ m ültetési hálózatban (Napkor, 2022. május-augusztus)

4.4.4. Ökofiziológiai vizsgálat eredménye

A vizsgált akác fajtajelöltek (akácklónok) növényélettani folyamatainak megértéséhez elengedhetetlenek a terepi kísérletekben végzett, fotoszintézisre és növényi vízgazdálkodási folyamatokra irányuló vizsgálatok. A növényi fiziológiával számos tanulmány foglalkozik, de viszonylag kevés olyan publikáció jelent meg, mely a szabadföldi körülmények között végzett in situ mérések eredményeiről számol be.

A vizsgált klónok között, mindegyik fiziológiai paraméter esetében, szignifikáns ($p = 0,05$) különbség mutatkozott, melyet a 2021-es eredmények (parametrikus adatsor) esetében LSD, még a 2022. (nem parametrikus adatsor) évinél Games-Howell teszttel igazoltam. A páronkénti összehasonlítások eredményeit a **17. táblázat** és **18. táblázat** foglaltam össze.

17. táblázat NK1, NK2, PL040 és PL251 fajtajelöltek, valamint az 'Üllői' akác fitofiziológiai paramétereinek ($T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$, A, Tr, g_{tc} , C_i , $VPD_{\text{levél}}$, WUE) mérési eredményei, 18 mérés átlaga \pm szórás, a betűk a klónok közötti szignifikáns ($p = 0,05$) különbséget jelölik (Napkor, 2021.06.29.)

Klón	$T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$	A	Tr	g_{tc}	C_i	$VPD_{\text{levél}}$	WUE
	°C	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol mol}^{-1}$	kPa	kg m^{-3}
NK1	0,01 $\pm 0,24$ bc	9,62 $\pm 4,85$ d	5,12 $\pm 1,01$ c	0,16 $\pm 0,04$ b	321,19 $\pm 18,63$ a	1,95 $\pm 0,10$ c	4,32 $\pm 1,33$ c
NK2	0,35 $\pm 0,18$ a	18,44 $\pm 2,85$ a	6,53 $\pm 0,73$ a	0,20 $\pm 0,03$ a	273,09 $\pm 3,67$ b	2,05 $\pm 0,15$ bc	6,88 $\pm 0,45$ a
PL040	0,17 $\pm 0,32$ b	12,96 $\pm 4,50$ c	4,42 $\pm 1,15$ d	0,13 $\pm 0,05$ c	271,35 $\pm 2,79$ b	2,17 $\pm 0,23$ ab	7,02 $\pm 0,62$ a
PL251	-0,14 $\pm 0,10$ c	13,34 $\pm 1,62$ c	5,34 $\pm 0,68$ c	0,20 $\pm 0,05$ a	307,04 $\pm 9,66$ a	1,66 $\pm 0,19$ d	6,13 $\pm 0,44$ b
Üllői	0,32 $\pm 0,11$ a	15,17 $\pm 2,20$ b	5,98 $\pm 0,49$ b	0,16 $\pm 0,02$ b	276,64 $\pm 13,44$ b	2,24 $\pm 0,10$ a	6,21 $\pm 0,87$ b

Jelmagyarázat: $T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$ = levegő- és levélhőmérséklet különbsége; A = nettó asszimiláció; Tr = transzspiráció; g_{tc} = sztómakonduktancia; C_i = intercelluláris szén-dioxid koncentráció; $VPD_{\text{levél}}$ = levélnél mért vízgőz telítettségi mutató; WUE = Water Use Efficiency (vízhasznosítás)

18. táblázat NK1, NK2, PL040 és PL251 fajtajelöltek, valamint az 'Üllői' akác fitofiziológiai paramétereinek ($T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$, A, Tr, g_{tc} , C_i , $VPD_{\text{levél}}$, WUE) mérési eredményei, 18 mérés átlaga \pm szórás, a kis betűk a klónok közötti szignifikáns ($p = 0,05$) különbséget jelölik (Napkor, 2022.06.29.)

Klón	$T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$	A	Tr	g_{tc}	C_i	$VPD_{\text{levél}}$	WUE
	°C	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol mol}^{-1}$	kPa	kg m^{-3}
NK1	-0,29 $\pm 0,56$ b	9,83 $\pm 4,36$ c	6,95 $\pm 1,69$ bc	0,12 $\pm 0,03$ c	286,15 $\pm 22,45$ a	3,70 $\pm 0,31$ a	3,27 $\pm 0,87$ b
NK2	0,84 $\pm 0,44$ a	20,25 $\pm 1,43$ a	10,08 $\pm 0,92$ a	0,20 $\pm 0,02$ a	260,74 $\pm 4,22$ b	2,99 $\pm 0,14$ c	4,92 $\pm 0,24$ a
PL040	1,03 $\pm 1,30$ a	15,02 $\pm 1,42$ b	10,01 $\pm 1,13$ a	0,21 $\pm 0,06$ a	287,38 $\pm 16,93$ a	3,08 $\pm 0,55$ c	3,68 $\pm 0,15$ b
PL251	-0,44 $\pm 0,65$ b	12,94 $\pm 3,62$ bc	8,00 $\pm 0,67$ b	0,14 $\pm 0,02$ b	277,20 $\pm 20,67$ a	3,39 $\pm 0,20$ b	3,89 $\pm 0,85$ b
Üllői	-0,06 $\pm 0,45$ b	11,30 $\pm 1,34$ c	5,81 $\pm 0,87$ c	0,10 $\pm 0,02$ c	248,30 $\pm 8,18$ c	3,65 $\pm 0,21$ a	4,78 $\pm 0,18$ a

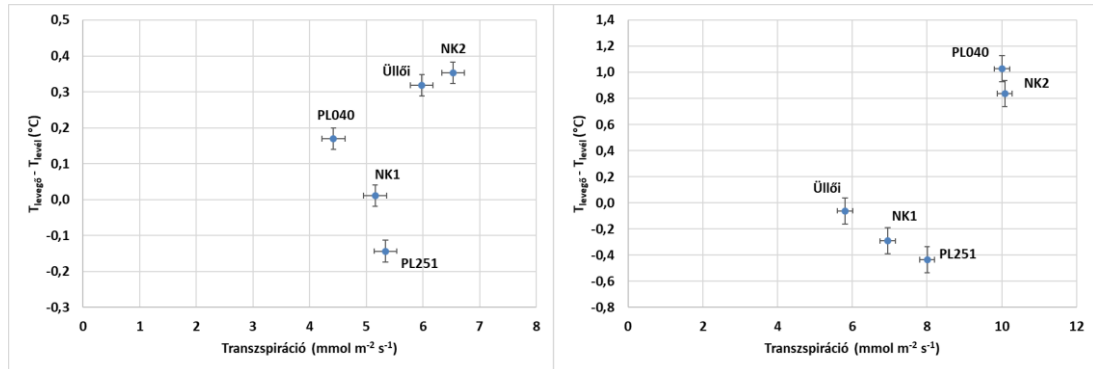
Jelmagyarázat: $T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$ = levegő- és levélhőmérséklet különbsége; A = nettó asszimiláció; Tr = transzspiráció; g_{tc} = sztómakonduktancia; C_i = intercelluláris szén-dioxid koncentráció; $VPD_{\text{levél}}$ = levélnél mért vízgőz telítettségi mutató; WUE = Water Use Efficiency (vízhasznosítás)

A $T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$ értékek esetében 2021-ben az NK2 klón bizonyult a legjobbnak (0,35 °C), kevéssel maradt el tőle az Üllői akác (0,32 °C), a kettő között szignifikáns különbség nem mutatkozott (**17. táblázat**). 2022-ben a PL040 klón produkálta a legjobb eredményt (1,03 °C), az NK2 kivételével (0,84 °C), jelentősen felülmúlta a többi klónt (**18. táblázat**). Mindkét évben a PL251 teljesített a leggyengébben (2021: -0,14 °C, 2022: -0,44 °C). A negatív értékek azt jelentik, hogy vízhiányban az adott klón nem tudta magát rendesen hűteni, hőstresszben volt.

A transzspirációs értékek a következők szerint alakultak. 2021-ben az NK2 klón bizonyult a legjobbnak, ennek a klónnak volt a legnagyobb a transzspirációs értéke (6,53 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). 2022-ben is ez a klón bizonyult legjobbnak (10,08 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ugyanakkor ebben az évben nem mutatkozott közte és a második legjobb PL040-es között szignifikáns különbség. Leggyengébbnek 2021-ben a PL040-es klón (4,42 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 2022-ben az 'Üllői' (5,81 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) bizonyult, bár ez utóbbi esetében nem mutatkozott szignifikáns eltérés közte és az NK1-es klón (6,95 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) között (**17. táblázat** és **18. táblázat**).

Ahogy az a **28. ábra** látható a klónok között eltérés mutatkozik a $T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$ és Tr értékeiben. Kutasy és munkatársai (2022) szintén kimutatták, hogy a levegő- és a

levélhőmérséklet különbségei hasznos információt adnak a növények vízgazdálkodásáról, és a nagyobb különbség a transzspiráció jobb hűtőhatását jelenti. Mivel a levél sztómái vízstressz esetén záródnak, a hűtési hatások csökkennek.

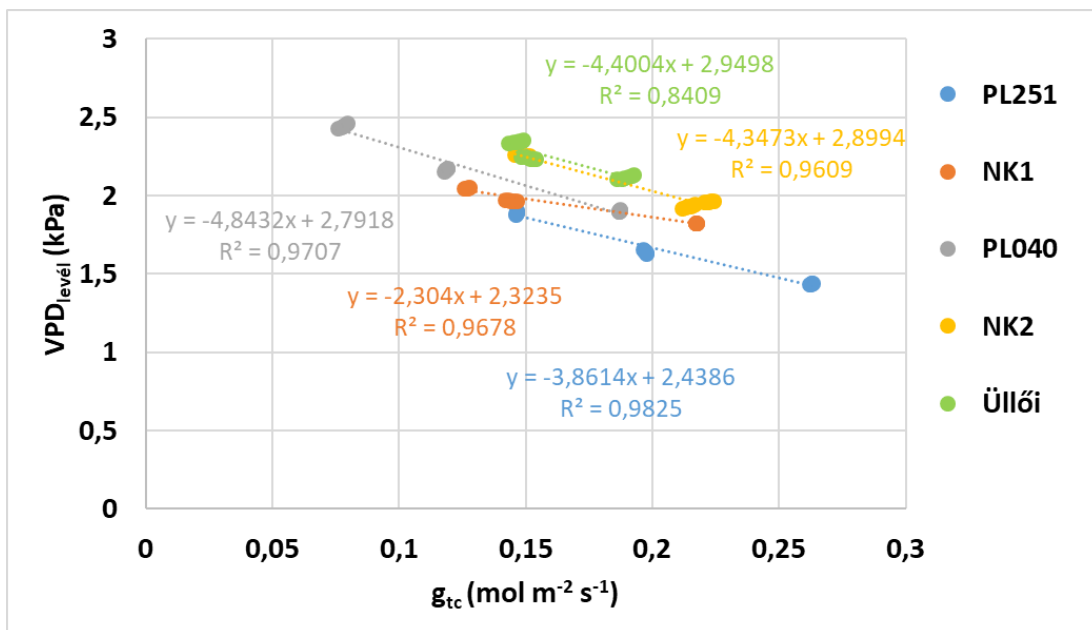


28. ábra A vizsgált akácklónok levegő- és levélhőmérsékletének ($T_{\text{levegő}} - T_{\text{levél}}$) különbsége a transzspiráció függvényében (2021. június 29. és 2022. június 29.); klónonként 18 mérés átlaga, \pm standard hiba (Napkor)

A $VPD_{\text{levél}}$ -értékek szignifikáns különbséget mutatnak a klónok között. 2021-ben a következőképpen alakultak. Legalacsonyabbat (1,66 kPa) a PL251-es klónnál, legmagasabbat (2,24 kPa) az Üllői akác esetében figyeltem meg. Viszonylag alacsony érték mutatkozott az NK1 és NK2 klónoknál is (1,95 és 2,05 kPa), ugyanakkor ezek szignifikánsan különböztek a PL251 levelén mért értéktől (**17. táblázat**). A 2022-es mérés eredményei (**18. táblázat**) relatíve magasak voltak (3,0-3,7 kPa), ami arra utal, hogy a növényeket körülvevő nagyon száraz levegő nagy vízstresszt idézett elő. Érdeemes megemlíteni, hogy szakirodalmi adatok (Kamakura, 2015) alapján a trópusokon szokott ilyen magas, vagy még ennél is magasabb a VPD lenni. Az NK2 és a PL040 klónok $VPD_{\text{levél}}$ -értékei (2,99 és 3,08 kPa) jelentősen alacsonyabbak voltak, mint a többi klóné, ami jobb stressztűrésre utal. A PL251 esetében ebben az évben viszonylag magas értéket (3,39 kPa) mértem, szignifikánsan magasabb volt a két legjobb (NK2 és PL040) klónnál, viszont jelentősen alacsonyabb az e paraméter tekintetében gyengén teljesítő NK1 (3,70 kPa) és Üllői (3,65 kPa) klónoknál, melyeknél jelentős különbség nem mutatkozott.

A g_{tc} mérés eredménye alapján, mindkét évben jelentős különbségek mutatkoztak a vizsgált klónok között. 2021-ben (**17. táblázat**) a legmagasabb értékeket az NK2 és PL251 ($0,20 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), 2022-ben (**18. táblázat**) az NK2 ($0,20 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) és a PL040 ($0,21 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) klónok mutatták, melyek egymástól szignifikánsan egyik évben sem

különböztek. A legalacsonyabbakat 2021-ben a PL040 ($0,13 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), 2022-ben az NK1 és az 'Üllői' klónok mutatták $0,12 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, illetve $0,10 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ értékekkel. A g_{tc} értékek arra utalnak, a PL251 (2021-ben), valamint az NK2 és a PL040 (2022-ben) klónok sztómái nyitottabbak voltak, ami összefügg az alacsonyabb VPD értékekkel. A $VPD_{\text{levél}}$ és g_{tc} értékek közötti összefüggést lineáris regresszióval igazoltam, mely alapján megállapítható, hogy mindegyik vizsgált klón esetében a $VPD_{\text{levél}}$ érték növekedésével a g_{tc} csökken (**29. ábra**).



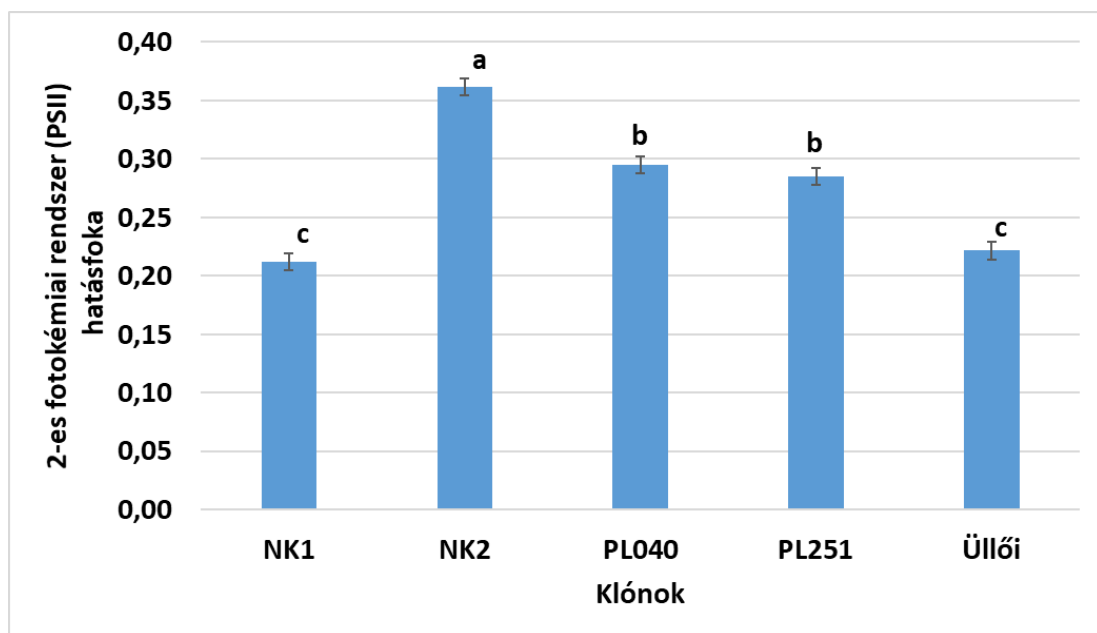
29. ábra A klónok összehasonlítása $VPD_{\text{levél}}$ és sztómakonduktancia (g_{tc}) értékeik alapján, valamint a két vizsgált paraméter közötti lineáris kapcsolat (Napkor, 2021.06.29.)

A klónok asszimilációs rátájában is szignifikáns különbségek mutatkoztak ($p = 0,05$). Mindkét vizsgálati évben a legmagasabb asszimilációs ráta ($18,44 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ és $20,25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) az NK2, a legalacsonyabb ($9,62 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ és $9,83 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) az NK1 klónnál volt megfigyelhető. A páronkénti összehasonlításban a PL251 és a PL040 klónok között nem tapasztaltam jelentős különbséget, az értékek $13,34 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, illetve $12,96 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ voltak 2021-ben, valamint $12,94 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ és $15,02 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 2022-ben. Az Üllői 2021-ben a második legjobb, 2022-ben a második leggyengébb volt $15,17 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ és $11,30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ értékekkel (**17. táblázat** és **18. táblázat**).

A klónok között szignifikáns különbségeket találtam leveleik intercelluláris CO_2 koncentrációjában (C_i) ($p = 0,05$) szinten. 2021-ben az NK1 ($321,19 \mu\text{mol mol}^{-1}$) és

PL251 ($307,04 \mu\text{mol mol}^{-1}$) klónoknál mértem a legmagasabb C_i értékeket, legalacsonyabb a PL040 klónnál volt ($271,35 \mu\text{mol mol}^{-1}$), de ez szignifikánsan csak az előbb említett két klóntól tért el. 2022-ben a legmagasabb értéket az NK1 ($286,15 \mu\text{mol mol}^{-1}$), a PL040 ($287,37 \mu\text{mol mol}^{-1}$) és a PL251 ($277,20 \mu\text{mol mol}^{-1}$) klónok produkálták. Az 'Üllői' esetében volt a legalacsonyabb $248,30 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (**17. táblázat** és **18. táblázat**) A C_i értékre számos tényező van hatással. Nem tekinthető egyértelmű indikátornak a növény stresszállapotának vagy a fotoszintetikus rendszer működésének értékelésére.

A klónokat összehasonlítottam 2-es fotokémiai rendszerük (PSII) hatásfoka alapján. Games-Howell teszttel szignifikáns ($p = 0,05$) különbséget állapítottam meg közöttük. Legjobban ebben a mutatóban is az NK2 klón, leggyengébb eredményt az NK1 produkálta (**30. ábra**).



30. ábra A klónok összehasonlítása 2. fotokémiai rendszerük (PSII) hatásfoka (%) alapján, \pm standard hiba, a betűk a klónok közti szignifikáns különbséget jelölik $p = 5\%$ szinten (Napkor, 2022.06.29.)

Az asszimilációs ráta és a transzspirációs adatok felhasználásával minden klón esetében kiszámoltam a vízfelhasználás hatékonyságát (kg CO_2 per $\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}$). A különbségek $p = 0,05$ szinten szignifikánsak voltak. A legjobb vízhasznosítást 2021-ben a PL040, 2022-ben az NK2 klónnál ($7,02 \text{ kg m}^{-3}$ és $4,92 \text{ kg m}^{-3}$), míg a legalacsonyabb értékeket ($4,32$ és $3,27 \text{ kg m}^{-3}$), mindkét évben, az NK1-esnél tapasztaltam. Ugyanakkor

a páronkénti összehasonlítás nem mutatott szignifikáns ($p = 0,05$) különbséget 2021-ben a PL040 és NK2 ($6,88 \text{ kg m}^{-3}$), valamint 2022-ben az Üllői ($4,78 \text{ kg m}^{-3}$) és NK2 klónok között (**17. táblázat** és **18. táblázat**).

A 2021 és 2022-ben mért fitofiziológiai paraméterekre korreláció-analízist is végeztem, melyet klónonként, Spearman módszerével hajtottam végre. Az eredmények a **19. táblázat** és **20. táblázat** láthatók.

2021-ben a $T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$ és Tr értékek között szoros összefüggés mutatkozott az NK1 ($r = 0,804$), az NK2 ($r = 0,895$), a PL040 ($r = 0,989$) és a PL251 klónoknál, ez utóbbinál negatív ($r = -0,750$). Az 'Üllői' esetében közepes erősségű pozitív korrelációt találtam ($r = 0,668$). Az eredmények $p = 0,01$ szinten voltak szignifikánsak.

A g_{sw} és Tr értékek között szoros pozitív összefüggést találtam, mely $p = 0,01$ szinten szignifikáns: PL251 ($r = 0,928$), NK1 ($r = 0,948$), PL040 ($r = 0,999$), NK2 ($r = 0,992$), Üllői ($r = 0,983$). A g_{sw} és A között is összefüggés figyelhető meg, mely a PL251 ($r = 0,610$), NK1 ($r = 0,878$), NK2 ($r = 0,968$) és PL040 ($r = 0,999$) klónoknál $p = 0,01$ szinten, az 'Üllői'-nél ($0,571$) $p = 0,05$ szinten szignifikáns. Ez az összefüggés a PL040, NK1 és NK2 klónok esetében igen szorosnak, a többinél közepesnek tekinthető. Az A és Tr közötti is kapcsolat mutatkozott a vizsgált klónoknál, ugyanakkor az 'Üllői' akácánál nem. Az NK2 ($r = 0,934$), NK1 ($r = 0,886$), PL040 ($r = 0,998$) és PL251 ($r = 0,734$) esetében igen szoros kapcsolat mutatható ki e két paraméter vizsgálatkor, mely $p = 0,01$ szinten szignifikáns. A g_{sw} és $T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$ között is korreláció volt, mely a PL251 ($r = -0,641$) esetében negatív, a többi klónnál pozitív volt: NK1 ($r = 0,856$), NK2 ($r = 0,942$) és PL040 ($r = 0,989$) klónoknál és az Üllői akácánál ($r = 0,788$) igen erős. Az eredmény minden esetben $p = 0,01$ szinten szignifikáns. A $T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$ és WUE értékek között mind a négy klónnál pozitív összefüggést, mely $p = 0,01$ szinten volt szignifikáns: PL251 ($r = 0,633$), NK1 ($r = 0,880$), PL040 ($r = 0,972$), NK2 ($r = 0,835$). A g_{sw} és WUE között is pozitív korreláció mutatkozott az PL040 ($r = 0,995$), valamint az NK1 ($r = 0,868$) és NK2 ($r = 0,662$) klónoknál, előbbi kettőnél igen szoros, utóbbinál közepes erősségű az összefüggés, mely $p = 0,01$ szinten szignifikáns.

Igen szoros negatív korreláció mutatkozott a g_{sw} és $VPD_{\text{levél}}$ értékek között, mely $p = 0,01$ szinten szignifikáns: PL251 ($r = -0,856$), NK1 ($r = -0,928$), PL040 ($r = -0,984$), NK2 ($r = -0,980$), Üllői ($r = -0,917$). A PL040, NK1 és NK2 klónoknál erős negatív korreláció ($p = 0,01$ szinten szignifikáns) volt a $VPD_{\text{levél}}$ és a WUE értékek között (r értékek: $-0,973$; $-0,940$ és $-0,790$). A PL251-nél e két paraméter között közepes pozitív összefüggést ($r = 0,531$) találtam, mely $p = 0,05$ szinten szignifikáns. A C_i és WUE

értékek között negatív korreláció mutatkozott mindegyik vizsgált klón és az 'Üllői' akác esetében is. A PL040 ($r = -0,629$) és NK2 ($r = -0,652$) közepes erősségű, a PL251 ($r = -0,820$), NK1 ($r = -0,992$) és 'Üllői' ($r = -0,979$) klónoknál igen erős kapcsolat volt. A korreláció mindegyik vizsgált klónnál $p = 0,01$ szinten szignifikáns. Az A és C_i között negatív kapcsolat volt az NK1 ($r = -0,988$), PL040 ($r = -0,595$) klónoknál és az 'Üllői' akácánál ($r = -0,712$), mely $p = 0,01$ szignifikáns. A Tr és C_i értékek a PL251 klónnál pozitívan, még az NK1 és PL040 klónoknál negatívan korreláltak: PL251 ($r = -0,515$; $p = 0,05$), NK1 ($r = -0,893$; $p = 0,01$), PL040 ($r = -0,557$; $p = 0,01$). Az A és $VPD_{levél}$ értékek közötti összefüggés vizsgálata során a PL251 klónon kívül mindegyik esetben erős negatív korreláció volt, mely $p = 0,01$ szignifikáns: NK1 ($r = -0,942$), NK2 ($r = -0,994$), PL040 ($r = -0,979$), 'Üllői' ($r = -0,817$).

19. táblázat A vizsgált fajtajelöltek, valamint az 'Üllői' akác fitofiziológiai paramétereit (A, C_i , g_{sw} , Tr, $T_{levegő} - T_{levél}$, $VPD_{levél}$, WUE) közötti összefüggés (Napkor, 2021.06.29.)

PL251	A	C_i	g_{sw}	Tr	$T_{levegő} - T_{levél}$	$VPD_{levél}$	WUE
A	1,000	-0,057	0,610**	0,734**	-0,267	-0,430	0,340
C_i	-0,057	1,000	0,643**	0,515*	-0,455	-0,847**	-0,820**
g_{sw}	0,610**	0,643**	1,000	0,928**	-0,641**	-0,856**	-0,404
Tr	0,734**	0,515*	0,928**	1,000	-0,750**	-0,783**	-0,360
$T_{levegő} - T_{levél}$	-0,267	-0,455	-0,641**	-0,750**	1,000	0,538*	0,633**
$VPD_{levél}$	-0,430	-0,847**	-0,856**	-0,783**	0,538*	1,000	0,531*
WUE	0,340	-0,820**	-0,404	-0,360	0,633**	0,531*	1,000

NK1	A	C_i	g_{sw}	Tr	$T_{levegő} - T_{levél}$	$VPD_{levél}$	WUE
A	1,000	-0,988**	0,878**	0,886**	0,870**	-0,942**	0,990**
C_i	-0,988**	1,000	-0,862**	-0,893**	-0,866**	0,934**	-0,992**
g_{sw}	0,878**	-0,862**	1,000	0,948**	0,856**	-0,928**	0,868**
Tr	0,886**	-0,893**	0,948**	1,000	0,804**	-0,876**	0,876**
$T_{levegő} - T_{levél}$	0,870**	-0,866**	0,856**	0,804**	1,000	-0,928**	0,880**
$VPD_{levél}$	-0,942**	0,934**	-0,928**	-0,876**	-0,928**	1,000	-0,940**
WUE	0,990**	-0,992**	0,868**	0,876**	0,880**	-0,940**	1,000

PL040	A	C _i	g _{sw}	Tr	T _{levegő} - T _{levél}	VPD _{levél}	WUE
A	1,000	-0,595**	0,999**	0,998**	0,983**	-0,979**	0,998**
C _i	-0,595**	1,000	-0,566*	-0,557*	-0,445	0,432	-0,629**
g _{sw}	0,999**	-0,566*	1,000	0,999**	0,989**	-0,984**	0,995**
Tr	0,998**	-0,557*	0,999**	1,000	0,989**	-0,989**	0,995**
T _{levegő} - T _{levél}	0,983**	-0,445	0,989**	0,989**	1,000	-0,993**	0,972**
VPD _{levél}	-0,979**	0,432	-0,984**	-0,989**	-0,993**	1,000	-0,973**
WUE	0,998**	-0,629**	0,995**	0,995**	0,972**	-0,973**	1,000

NK2	A	C _i	g _{sw}	Tr	T _{levegő} - T _{levél}	VPD _{levél}	WUE
A	1,000	-0,130	0,968**	0,934**	0,976**	-0,994**	0,827**
C _i	-0,130	1,000	0,122	0,227	-0,131	0,055	-0,652**
g _{sw}	0,968**	0,122	1,000	0,992**	0,942**	-0,980**	0,662**
Tr	0,934**	0,227	0,992**	1,000	0,895**	-0,948**	0,570*
T _{levegő} - T _{levél}	0,976**	-0,131	0,942**	0,895**	1,000	-0,988**	0,835**
VPD _{levél}	-0,994**	0,055	-0,980**	-0,948**	-0,988**	1,000	-0,790**
WUE	0,827**	-0,652**	0,662**	0,570*	0,835**	-0,790**	1,000

Üllői	A	C _i	g _{sw}	Tr	T _{levegő} - T _{levél}	VPD _{levél}	WUE
A	1,000	-0,712**	0,571*	0,432	0,766**	-0,817**	0,833**
C _i	-0,712**	1,000	0,170	0,322	-0,243	0,196	-0,979**
g _{sw}	0,571*	0,170	1,000	0,983**	0,788**	-0,917**	0,023
Tr	0,432	0,322	0,983**	1,000	0,668**	-0,827**	-0,140
T _{levegő} - T _{levél}	0,766**	-0,243	0,788**	0,668**	1,000	-0,944**	0,428
VPD _{levél}	-0,817**	0,196	-0,917**	-0,827**	-0,944**	1,000	-0,388
WUE	0,833**	-0,979**	0,023	-0,140	0,428	-0,388	1,000

Jelmagyarázat: $T_{levegő}-T_{levél}$ = levegő- és levélhőmérséklet különbsége; A = nettó asszimiláció; Tr = transzspiráció, g_{sw} = sztómakonduktancia a vízgőzzel szemben; C_i = intercelluláris széndioxid koncentráció; VPD_{levél} = levélnél mért vízgőz telítettségi mutató; WUE = Water Use Efficiency (vízhasznosítás). * p=5%-on szignifikáns, ** p=1%-on szignifikáns. A különböző színek a korreláció erősségét jelölik (piros = erős; zöld = közepes)

2022-ben a T_{levegő}-T_{levél} és Tr értékek között szoros összefüggés csak a PL040 és NK2 klónoknál mutatkozott, előbbinél r = 0,716, utóbbinál r = -0,758 (p = 0,01). Vagyis

a PL040 esetében pozitív, az NK2-nél negatív összefüggést tapasztaltam. A többi klónnál nem találtam (szignifikáns) kapcsolatot e két paraméter között.

A g_{sw} és Tr értékek között pozitív összefüggés volt az összes vizsgált fajtajelölt klónnál és az 'Üllői' akácnál: PL251 ($r = 0,622$; $p = 0,01$), NK1 ($r = 0,476$; $p = 0,05$), PL040 ($r = 0,876$; $p = 0,01$), NK2 ($r = 0,695$; $p = 0,01$), Üllői ($r = 0,703$; $p = 0,01$). A g_{sw} és A között is szoros összefüggés figyelhető meg, mely $p = 0,01$ szinten szignifikáns: PL251 ($r = 0,710$), PL040 ($r = 0,843$), NK2 ($r = 0,859$), Üllői ($r = 0,731$). Az NK1-es klón esetében e két paraméter között nem mutatott korrelációt a vizsgálat. Az A és Tr közötti kapcsolat is szorosnak tekinthető: PL251 ($r = 0,843$), NK1 ($r = 0,992$), PL040 ($r = 0,994$), NK2 ($r = 0,899$), Üllői ($r = 0,890$), mely $p = 0,01$ szinten szignifikáns. A g_{sw} és $T_{levégő}-T_{levél}$ között is pozitív korreláció volt, mely a PL251 ($r = 0,864$), NK1 ($r = 0,758$) és PL040 ($r = 0,890$) klónoknál igen erős, az Üllői ($r = 0,474$) esetében gyenge, előbbi három $p = 0,01$, még utóbbi $p = 0,05$ szinten volt szignifikáns. $T_{levégő}-T_{levél}$ és WUE értékek között két klónnál – a két legmagasabb és legvastagabb – találtam szoros pozitív összefüggést, az r értéke a PL251 esetében 0,777, az NK2-nél 0,796 volt, melyek $p = 0,01$ szinten szignifikánsak.

Negatív korreláció mutatkozott ($p = 0,01$) a g_{sw} és $VPD_{levél}$ értékek között, mely a következők szerint alakult: PL251 ($r = -0,816$), NK1 ($r = -0,924$), PL040 ($r = -0,918$), Üllői ($r = -0,647$). Az NK2-nél nem volt összefüggés. A g_{sw} és WUE között is negatív korreláció ($p = 0,05$) mutatkozott a PL040 ($r = -0,498$) és Üllői ($r = -0,560$) esetében, ugyanakkor a PL251 ($r = 0,709$; $p = 0,01$) klónnál szoros pozitív összefüggést állapítottam meg. Az NK2-es klónnál e két paraméterében sem volt összefüggés. A PL251 és NK2 klónoknál közepes negatív korreláció ($p = 0,01$) volt a $VPD_{levél}$ és a WUE értékek között ($r = -0,593$ és $-0,661$). A C_i és WUE értékek között is csak két klónnál volt (negatív) összefüggés: a PL251 esetében közepes, az NK1-nél igen erős. Az r értékek $-0,554$ és $-0,950$ voltak, előbbi $p = 0,05$, utóbbi $p = 0,01$ szinten volt szignifikáns. Az A és C_i között a PL251 ($r = -0,690$) és NK1 ($r = -0,975$) esetében szoros negatív, még a PL040 klónnál ($r = 0,769$) pozitív összefüggés volt ($p = 0,01$). A Tr és C_i értékek is ennél a 3 klónnál mutattak összefüggést: PL251 ($r = -0,818$), NK1 ($r = -0,962$), PL040 ($r = 0,810$). Mindhárom klón esetében igen erős kapcsolat mutatkozott e két paraméter között ($p = 0,01$). Az A és $VPD_{levél}$ értékek közötti összefüggés vizsgálata során csak a PL040 esetében találtam negatív korrelációt ($r = -0,747$), mely $p = 0,01$ szignifikáns. Itt érdemes megemlíteni, hogy ennél a klónnál a $VPD_{levél}$ érték az összes vizsgált ökoфизиologiai

paraméterrel szoros negatív korrelációban volt. Kivételt képez a $VPD_{levél}$ és WUE értékek, melyek között nem volt korreláció.

20. táblázat A vizsgált fajtajelöltek, valamint az 'Üllői' akác fitofiziológiai paraméterei (A, C_i , g_{sw} , Tr, $T_{levegő}-T_{levél}$, $VPD_{levél}$, WUE) közötti összefüggés (Napkor, 2022.06.29.)

PL251	A	C_i	g_{sw}	Tr	$T_{levegő}-T_{levél}$	$VPD_{levél}$	WUE
A	1,000	-0,690**	0,710**	0,843**	0,493*	-0,398	0,634**
C_i	-0,690**	1,000	-0,391	-0,818**	-0,214	0,009	-0,554*
g_{sw}	0,710**	-0,391	1,000	0,622**	0,864**	-0,816**	0,709**
Tr	0,843**	-0,818**	0,622**	1,000	0,290	-0,176	0,424
$T_{levegő}-T_{levél}$	0,493*	-0,214	0,864**	0,290	1,000	-0,953**	0,777**
$VPD_{levél}$	-0,398	0,009	-0,816**	-0,176	-0,953**	1,000	-0,593**
WUE	0,634**	-0,554*	0,709**	0,424	0,777**	-0,593**	1,000

NK1	A	C_i	g_{sw}	Tr	$T_{levegő}-T_{levél}$	$VPD_{levél}$	WUE
A	1,000	-0,975**	0,449	0,992**	-0,070	-0,332	0,963**
C_i	-0,975**	1,000	-0,292	-0,962**	0,209	0,198	-0,950**
g_{sw}	0,449	-0,292	1,000	0,476*	0,758**	-0,924**	0,412
Tr	0,992**	-0,962**	0,476*	1,000	-0,062	-0,340	0,932**
$T_{levegő}-T_{levél}$	-0,070	0,209	0,758**	-0,062	1,000	-0,843**	-0,033
$VPD_{levél}$	-0,332	0,198	-0,924**	-0,340	-0,843**	1,000	-0,369
WUE	0,963**	-0,950**	0,412	0,932**	-0,033	-0,369	1,000

PL040	A	C_i	g_{sw}	Tr	$T_{levegő}-T_{levél}$	$VPD_{levél}$	WUE
A	1,000	0,769**	0,843**	0,994**	0,672**	-0,747**	-0,437
C_i	0,769**	1,000	0,944**	0,810**	0,956**	-0,982**	-0,451
g_{sw}	0,843**	0,944**	1,000	0,876**	0,890**	-0,918**	-0,498*
Tr	0,994**	0,810**	0,876**	1,000	0,716**	-0,790**	-0,478*
$T_{levegő}-T_{levél}$	0,672**	0,956**	0,890**	0,716**	1,000	-0,981**	-0,332
$VPD_{levél}$	-0,747**	-0,982**	-0,918**	-0,790**	-0,981**	1,000	0,421
WUE	-0,437	-0,451	-0,498*	-0,478*	-0,332	0,421	1,000

NK2	A	C _i	g _{sw}	Tr	T _{levegő} - T _{levél}	VPD _{levél}	WUE
A	1,000	0,096	0,859**	0,899**	-0,469*	-0,022	-0,296
C _i	0,096	1,000	0,447	0,178	0,098	-0,236	-0,370
g _{sw}	0,859**	0,447	1,000	0,695**	-0,084	-0,383	-0,160
Tr	0,899**	0,178	0,695**	1,000	-0,758**	0,327	-0,631**
T _{levegő} - T _{levél}	-0,469*	0,098	-0,084	-0,758**	1,000	-0,835**	0,796**
VPD _{levél}	-0,022	-0,236	-0,383	0,327	-0,835**	1,000	-0,661**
WUE	-0,296	-0,370	-0,160	-0,631**	0,796**	-0,661**	1,000

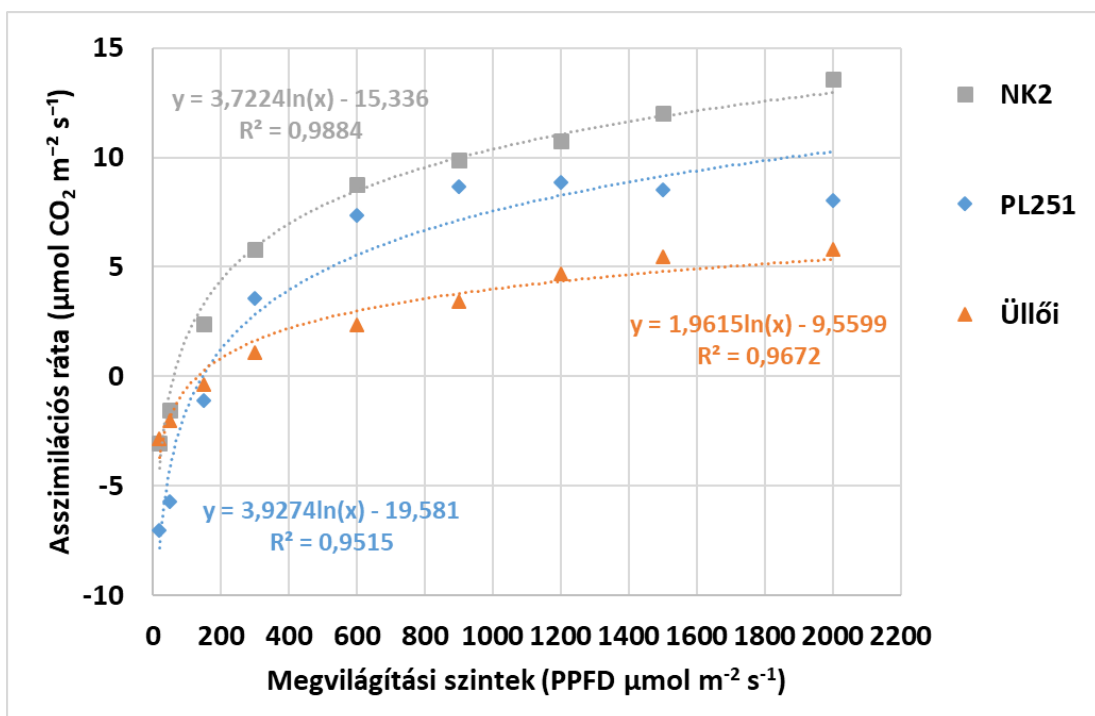
Üllői	A	C _i	g _{sw}	Tr	T _{levegő} - T _{levél}	VPD _{levél}	WUE
A	1,000	0,344	0,731**	0,890**	0,007	-0,200	-0,599**
C _i	0,344	1,000	0,816**	0,377	0,758**	-0,890**	-0,412
g _{sw}	0,731**	0,816**	1,000	0,703**	0,474*	-0,646**	-0,560*
Tr	0,890**	0,377	0,703**	1,000	-0,169	-0,067	-0,874**
T _{levegő} - T _{levél}	0,007	0,758**	0,474*	-0,169	1,000	-0,958**	0,213
VPD _{levél}	-0,200	-0,890**	-0,646**	-0,067	-0,958**	1,000	0,014
WUE	-0,599**	-0,412	-0,560*	-0,874**	0,213	0,014	1,000

Jelmagyarázat: $T_{levegő} - T_{levél}$ = levegő- és levélhőmérséklet különbsége; A = nettó asszimiláció; Tr = transzspiráció, g_{sw} = sztómakonduktancia a vízgőzzel szemben; C_i = intercelluláris széndioxid koncentráció; VPD_{levél} = levélnél mért vízgőz telítettségi mutató; WUE = Water Use Efficiency (vízhasznosítás). * p=5%-on szignifikáns, ** p=1%-on szignifikáns. A különböző színek a korreláció erősségét jelölik (piros = erős; zöld = közepes; narancs = gyenge)

2023-ban a két legjobb magassági és vastagsági (d_{t0} és d_{1,3}) értékkel rendelkező klón (PL251 és NK2), valamint az 'Üllői' akác fényreakciós görbéit 9 lépésben, a megvilágítási szintek (a fotoszintetikus fotonáram-sűrűség, Photosynthetic Photon Flux Density = PPF) csökkenésével (2000, 1500, 1200, 900, 600, 300, 150, 50, 20 μmol m⁻² s⁻¹) figyeltem meg. A vizsgálat során az A, valamint a PSII hatásfokát jellemző értékeket vizsgáltam a PPF függvényében.

Az A esetében a természetes logaritmikus regressziós függvények jól illeszkedtek a mért adat-pontokhoz (R² érték az NK2 klónnál 0,9884; a PL251-nél 0,9515; az 'Üllői' fajta esetében 0,9672), így a függvények görbéi jól mutatták a különbségeket. Megvizsgálva a 2 klón és az 'Üllői' asszimilációs rátáját a megvilágítási szintek (PPF) függvényében megállapítható, hogy a legalacsonyabb PPF szinten (0-20 μmol m⁻² s⁻¹) a PL251 volt a leggyengébb, -7,04 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ értékkel, az 'Üllői' (-2,86 μmol CO₂

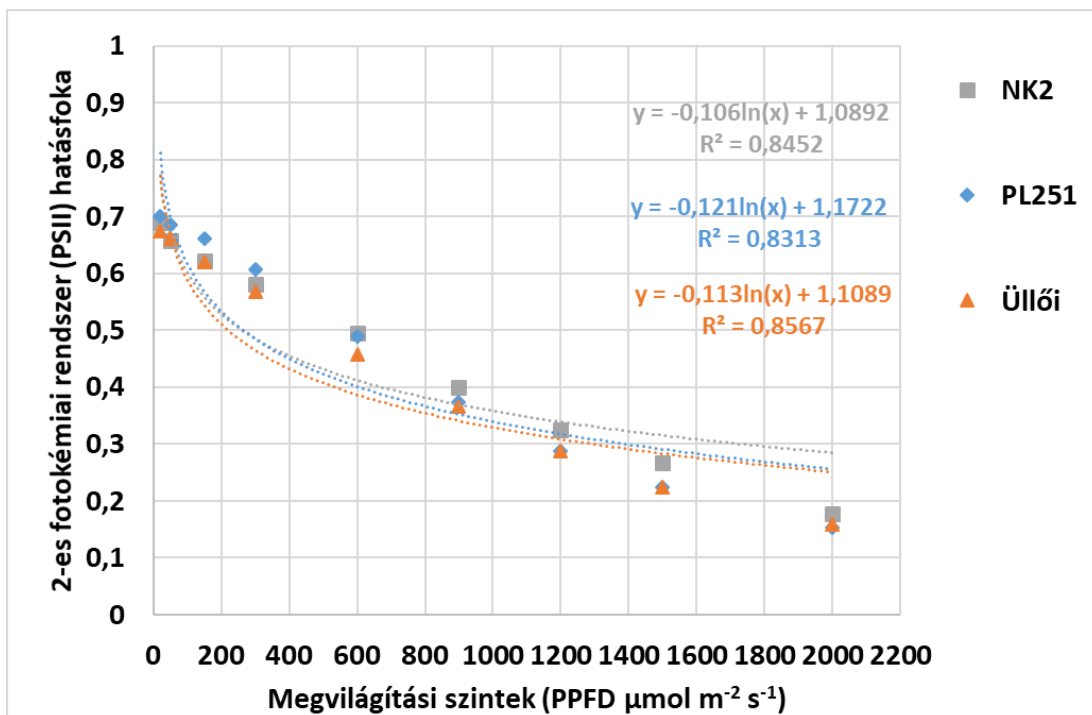
$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) és az NK2 ($-3,03 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) között minimális különbség mutatkozott. A többi PPFD szinten az NK2 bizonyult a legjobbnak. Az A értéke a PPFD növekedésével folyamatosan nőtt, viszont $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD szinten a görbe laposodik, ami a fotorespiráció asszimiláció sebességére gyakorolt hatásának tudható be. Legnagyobb A értéket ($13,58 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD szinten éri el. Az 'Üllői' fajta és a PL251 eredményei változatosak képet mutattak, melyek a következők szerint jellemezhetők. 0 és $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ megvilágítási szint között az 'Üllői'-nek volt nagyobb az asszimilációs rátája, de a fényintenzitás növekedésével a PL251 klón bizonyult jobbnak. Ugyan az 'Üllői' görbéje magasabb PPFD szinten alacsonyabbra futott, mint a PL251-é, az A értéke folyamatos növekedést mutatott, a legjobb értéket ($5,79 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a legmagasabb, $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD szinten, érte el. A PL251 asszimilációs rátája $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD szintig nőtt, ennél a megvilágítási szintnél érte el a legnagyobb A értéket ($8,88 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (31. ábra).



31. ábra Az 'NK2', 'PL251' és 'Üllői' akác megvilágítási görbéje (Napkor, 2023.06.30.): asszimilációs ráta a PPFD függvényében; PPFD = Photosynthetic Photon Flux Density (fotoszintetikus fotonáram-sűrűség)

A természetes logaritmikus regressziós függvények jól illeszkedtek a mért adatpontokhoz a PSII hatásfokát jellemző értékek esetében is (R^2 érték az NK2 klónnál

0,8452; a PL251-nél 0,8313; az 'Üllői' fajta esetében 0,8567), így a függvények görbéi ebben az esetben is jól mutatták a különbségeket. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a vizsgált akácklónok és az 'Üllői' akác PSII hatékonysága a fényintenzitás növekedésével csökkent. Alacsony megvilágítottsági szinten (0-300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a PL251 nevű (0,70-0,61), nagyobb PPFd szinteken (600-2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) az NK2 klón produkálta a legjobb értéket (0,50-0,18) (**32. ábra**). Ugyanakkor érdemes megjegyezni, hogy a vizsgált klónok és az 'Üllői' akác között minimális különbségek mutatkoztak, különösen igaz ez a PL251 klónra és az 'Üllői' akácra, mely kettőnek sok esetben azonos fényintenzitáson megegyeztek a PSII értékei (900; 1200; 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFd szintnél 0,37; 0,29; 0,22 volt a PSII hatékonysági mutatója), az NK2 900 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFd szinttől láthatóan elkülönült a másik kettőtől.



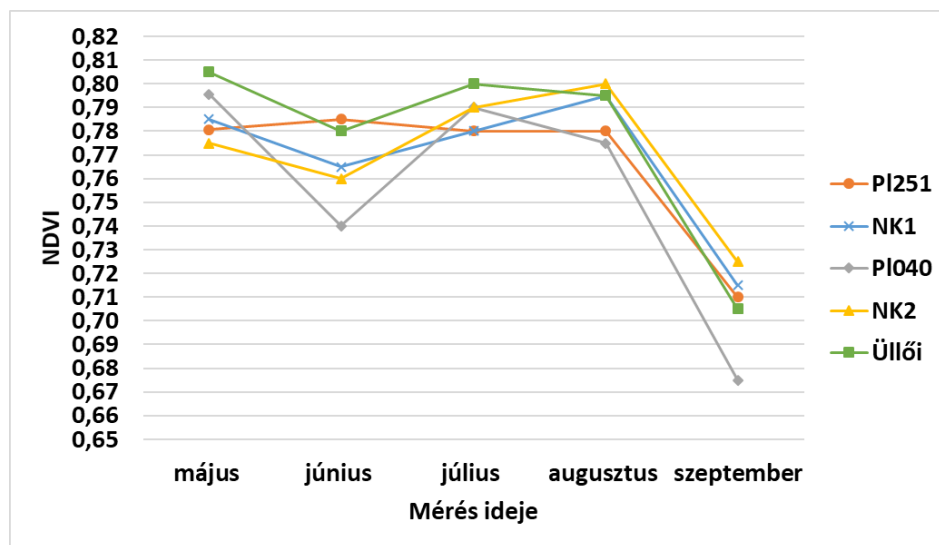
32. ábra Az 'NK2', 'PL251' és 'Üllői' akác megvilágítási görbéje (Napkor, 2023.06.30.): PSII a PPFd függvényében; PPFd = Photosynthetic Photon Flux Density (fotoszintetikus fotonáram-sűrűség)

4.4.5. Földi NDVI vizsgálat eredménye

A klónok földi műszerrel mért NDVI értékeinek változása 2021. május-szeptember időszakban a **33. ábra** látható. A májusi mérés eredményei alapján a klónok között nem mutatkozott jelentős eltérés. Az Üllői és a PL040 klón NDVI értéke (0,81, ill.

0,80) minimális különbséggel nagyobb volt, mint a többi klóné. Június hónapban a PL251 és az Üllői bizonyult a legjobbnak (0,79, ill. 0,78), a PL040 visszaesett (0,74) és szignifikánsan ($p = 0,05$) a legalacsonyabb NDVI értéket mutatta ebben a hónapban. A többi klón között nem volt jelentős eltérés. Júliusban az Üllői NDVI értéke (0,80) volt a legmagasabb. Szignifikáns különbséget ($p = 0,05$) találtam az Üllői, valamint a PL251 és NK1 jelzésű klónok között. Augusztusban az NK2 produkálta a legjobb értéket (0,80), jelentősen felülmúlva a PL040 és PL251 klónokat. Szeptemberben az összes klón NDVI értéke nagymértékben csökkent (0,67 és 0,73 közötti értékek mutatkoztak), a legjobb NDVI értékeket (0,73) az NK2 elnevezésű klón mutatta, de szignifikánsan ($p = 0,05$) csak legalacsonyabb értéket (0,67) mutató PL040 klóntól különbözött.

Összességében megállapítható, hogy az Üllői és az NK2 klón mutatkozott a legjobbnak a vizsgált paraméter tekintetében. Leggyengébbnek a PL040 jelzésű klón bizonyult.

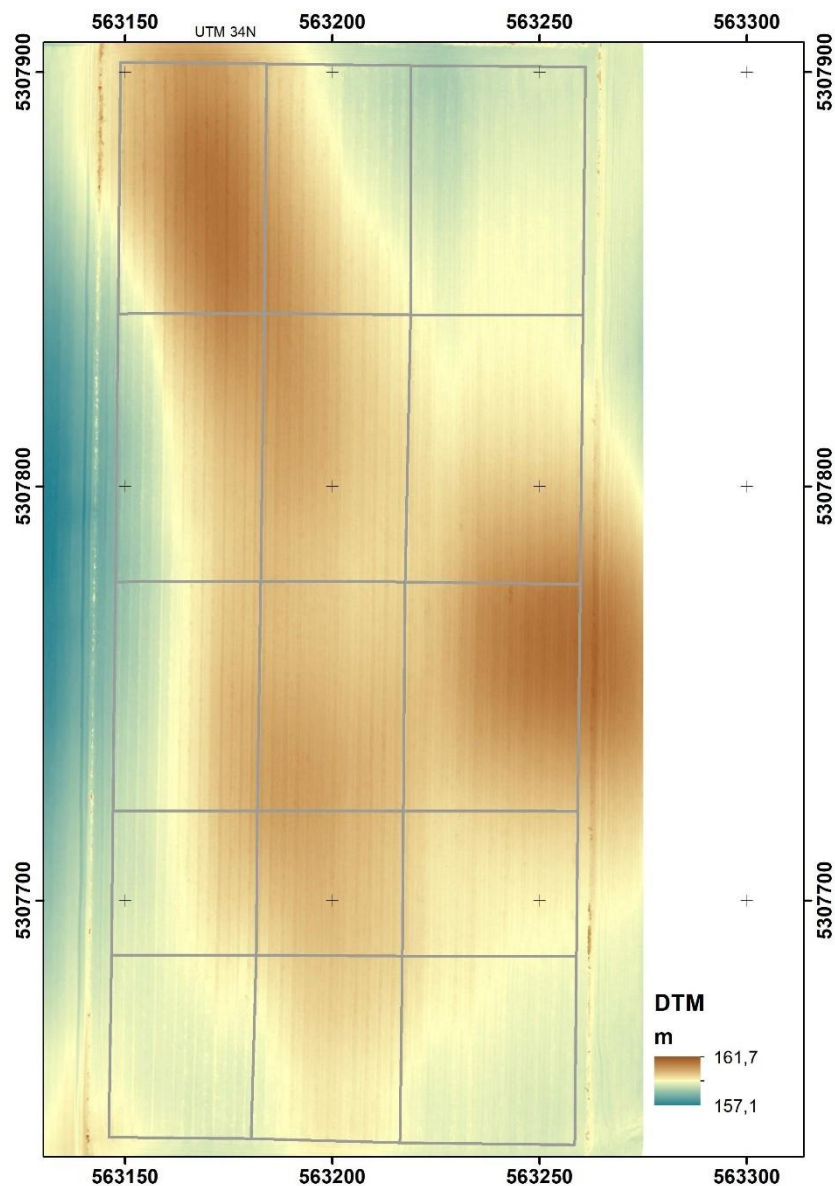


33. ábra A vizsgált klónok ($n = 10$ db/hó) NDVI (Normalizált Differenciális Vegetációs Index) értékeinek alakulása 2021 május és szeptember közötti időszakban (Napkor, 2021)

4.4.6. UAV-alapú állományvizsgálat

4.4.6.1. A kísérleti terület domborzata - domborzatmodell (DTM)

A kísérleti területről készített domborzatmodell a **34. ábra** látható. Ez alapján a terület legmagasabb pontja 161,7 m, míg a legalacsonyabb 157,1 m tengerszint feletti magasságon található. A szintkülönbség 4,6 m-es.



34. ábra A kísérleti terület domborzatmodellje (Napkor, 2022.02.16.)

4.4.6.2. Magasságmérő műszerek összehasonlítása

A magasságmérő eszközök – szintezőléc, Vertex, Forestry Pro II, UAV, vagyis 3 terepi és 1 fotogrammetrián alapuló modell, melyek közül a szintezőlécet tekintetem kontrollnak – összehasonlítására Kruskal-Wallis tesztet használtam (**21. táblázat**). Továbbá vizsgáltam a köztük lévő korrelációt (Spearman-féle) is (**22. táblázat**).

A páronkénti összehasonlítás során nem mutatkozott szignifikáns ($p = 0,05$) eltérés a szintezőléc és a többi magasságmérő eszköz és módszer között. Ugyanakkor a

Forestry Pro II és az UAV által mért adatok jelentősen különböztek a Vertex eredményeitől. Az eredményekből megállapítható az is, hogy a légi felvétel negatív torzítással alábecsüli a fák magasságát a terepi mérőeszközökhöz képest. Érdeemes azonban megjegyezni, hogy a Vertex felülbecsüli a famagasságot (**21. táblázat**). Krause és munkatársai (2019) vizsgálatai is ehhez hasonló eredményeket mutattak.

21. táblázat Magasságmérő eszközök összehasonlítása, átlag (\bar{x}), szórás (SD), minimum (Min), maximum (Max) érték, a kis betűk az eszközök közti szignifikáns különbséget jelölik $p = 0,05$ szinten (Napkor, 2022.06.16.)

	\bar{x}	SD	Min	Max
Szintezőléc	4,28 a	0,34	3,40	4,95
Vertex	4,40 ab	0,38	3,60	5,10
Forestry Pro II	4,13 ac	0,37	3,20	4,70
UAV	4,03 ac	0,35	3,20	4,40

A korrelációs vizsgálat során megállapítottam, hogy a szintezőléc és a többi magasságmérő műszer között igen szoros korreláció van, mely $p = 0,01$ szinten szignifikáns. Ugyanakkor az UAV és Vertex, valamint az UAV és Forestry Pro II között már gyengébb ($r = 0,619$ és $r = 0,629$), de még ez is szorosnak tekinthető (**22. táblázat**).

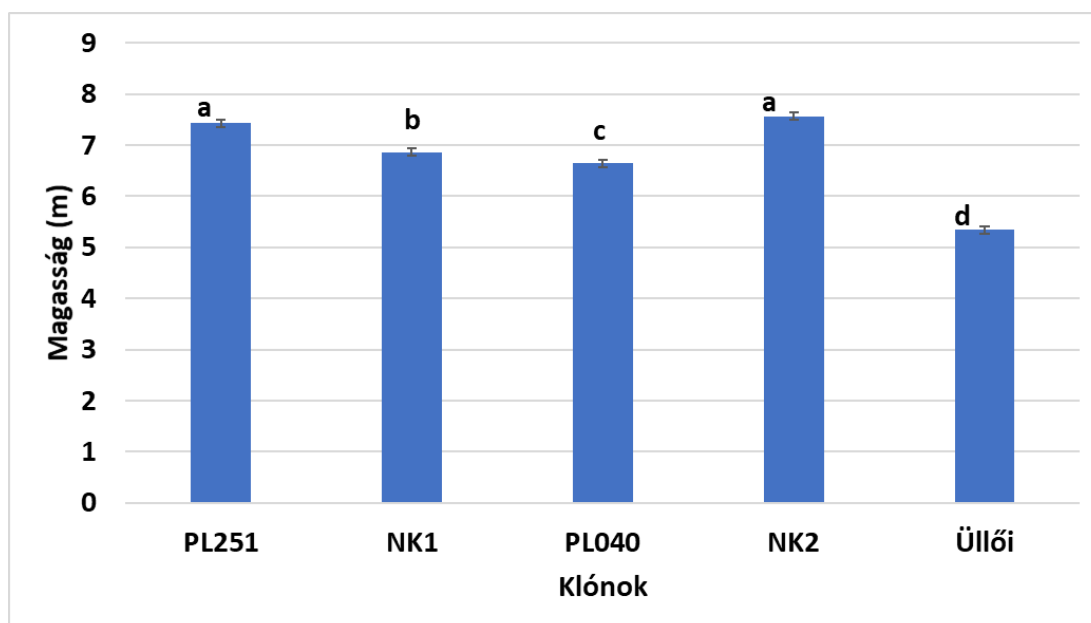
22. táblázat A különböző magasságmérő eszközökkel mért értékek közötti összefüggés ($p = 1\%$ -on szignifikáns) vizsgálata Spearman korrelációval, 30 mintafa alapján ($n = 30$). A piros szín erős, a zöld közepes korrelációra utal (Napkor, 2022.06.16.)

	Szintezőléc	Vertex	Forestry Pro II	UAV
Szintezőléc	1,000	0,821	0,811	0,758
Vertex	0,821	1,000	0,876	0,619
Forestry Pro II	0,811	0,876	1,000	0,629
UAV	0,758	0,619	0,629	1,000

A légi és terepi magasságmérések közötti korrelációt több kutatás igazolta (Wallace et al., 2016; Krause et al., 2019; Moe et al., 2020). A fentiek alapján megállapítható, hogy az UAV általi magasságmérések, azok fotogrammetriai úton történő kiértékelése alkalmas faültetvények magassági vizsgálatára.

4.4.6.3. UAV-alapú magasságmérés eredménye

Miután a 2022-es vizsgálat során megállapítottam, hogy szoros összefüggés, illetve minimális (nem szignifikáns) eltérés mutatkozott a terepi és légi – különös tekintettel a szintezőléc és UAV közötti elenyésző különbségre – magasságmérés között, kiértékeltem az UAV által 2023 augusztusában mért magassági adatokat. Mivel az UAV-alapú vegetációs indexek vizsgálatát $2,5 \times 2,5$ m-es ültetési hálózatban végeztem, így a magassági adatok kiértékelésénél is erre az ültetési hálózatra fókuszáltam. A cél a klónok magassági értékeinek összehasonlítása volt. Ahogy az a **35. ábra** is látható a vizsgált klónok között szignifikáns ($p = 0,05$) eltérés mutatkozott. Legjobbnek az NK2-es (7,6 m) és PL251-es (7,4 m) fajtajelölt klónok, leggyengébbnek az 'Üllői' akác (5,3 m) mutatkozott. Ha ezt az eredményt összehasonlítom a korábbi terepi mérésekével, megállapítható a hasonló tendencia, miszerint a $2,5 \times 2,5$ m-es ültetési hálózatban az NK2-es és a PL251-es klónok a legmagasabbak és az 'Üllői' a legalacsonyabb.



35. ábra A vizsgált klónok ($n = 30$ fa/klón) összehasonlítása magasság (m) szerint a $2,5 \times 2,5$ m-es ültetési hálózatban, \pm standard hiba, a betűk a klónok közötti szignifikáns különbséget jelölik $p = 5\%$ szinten (Napkor, 2023.08.16.)

4.4.6.4. UAV-alapú NDVI és GNDVI mérés eredménye

A VI-k segítségével képet kapunk a növények aktuális állapotáról. A kapott értékekből következtethetünk a fák biomassza tömegére, tápanyagellátottságára, illetve egészségi állapotára. A multispektrális légi felvételekből NDVI, valamint a fotoszintetikus aktivitásra és a klorofill tartalomra még érzékenyebb GDNVI-t számítottam. A páronkénti összehasonlítás (Games-Howell teszt) során szignifikáns ($p = 0,05$) különbségek mutatkoztak a klónok között (**23. táblázat**).

23. táblázat Vizsgált klónok ($n = 30$ fa/klón) összehasonlítása NDVI és GNDVI értékük (átlag \pm szórás) alapján, a betűk a klónok közti szignifikáns különbséget jelölik $p = 5\%$ szinten (Napkor, 2023.08.16.)

Klónok	NDVI	GNDVI
PL251	0,9360 \pm 0,00498 a	0,8027 \pm 0,00914 a
NK1	0,9347 \pm 0,00507 ab	0,7888 \pm 0,01343 b
PL040	0,9260 \pm 0,00498 c	0,7849 \pm 0,00641 bc
NK2	0,9280 \pm 0,00407 c	0,7964 \pm 0,01062 ab
Üllői	0,9323 \pm 0,00504 b	0,7911 \pm 0,01543 b

A klónok igen magas NDVI és GNDVI értékeket mutattak. Mindkét VI esetében a PL251 klón bizonyult a legjobbnak (NDVI: 0,9360 \pm 0,00498; GNDVI: 0,8027 \pm 0,00914), ugyanakkor NDVI tekintetében az NK1-től (NDVI: 0,9347 \pm 0,00507), GNDVI esetében az NK2-től (GNDVI: 0,7964 \pm 0,01062) szignifikánsan ($p = 0,05$) nem különbözött. Leggyengébbnek mindkét vizsgált mutatóban a PL040 mutatkozott, 0,9260 \pm 0,00498 NDVI és 0,7849 \pm 0,00641 GNDVI értékkel. A kontroll Üllői akác vegetációs index értékeit (NDVI: 0,9323 \pm 0,00504; GNDVI: 0,7911 \pm 0,01543) csak a PL251-es klón múlta felül jelentősen, $p = 5\%$ szinten.

4.4.7. Növényegészségügyi vizsgálat

Az átlagos lombvesztés mértéke a legsűrűbb, 2,5 \times 2,5 m hálózatban volt a legalacsonyabb, míg a másik két hálózatban némileg magasabb értékek jelentkeztek. A

két tágabb hálózat nagyjából hasonló értékeket mutatott. Ugyanakkor klónonként értékelve az eredményeket megállapítható, hogy mindhárom hálózatban a PL251, NK1 klónokon jelentősen kisebb mértékű volt a lombvesztés, mint a többi klón esetében.

Abiotikus levélvesztés kategóriában a szárazság (aszály), valamint a szélverés okozta lombhiányt összesítettük. Az adatok szerint viszonylag alacsony %-os érték jellemezte valamennyi klónt. Talán az NK1 klón emelhető ki, amelynek az abiotikus jellegű lombvesztése a $2,5 \times 2,5$ m, és a 3×3 m esetén is 0% volt, de a 4×4 m hálózatban is mindössze 10%. A többi klón esetében sem észleltünk kiugróan magas értékeket. Mindezt annak ellenére, hogy a vizsgálat évében a vidéket extrém szárazság sújtotta, de ennek hatása viszonylag mérsékelt volt a fákra nézve. Ugyanakkor nem lehet egyértelműen meghatározni, hogy a jó termőhelyi tényezők vagy a klónok aszálytűrése eredményezte ezeket az értékeket (esetleg a kettő együtt).

Az akáclevél-hólyagosmoly (*Parectopa robiniella*) lárvája okozza a tüneteket. Rágása során ujjas aknákat készít az epidermisz alatt és ennek eredményeként csökken az asszimiláló felület nagysága. A vizsgált klónokon és a különféle hálózatokban egyaránt alacsony fertőzöttséget észleltünk. A többi klónhoz képest kissé magasabb intenzitást észleltünk az NK2 klón esetén, de megítélésünk szerint ez is még messze alatta marad a kritikus szinteknek. Az ültetési hálózatot tekintve enyhén magasabb értékek mutatkoznak a két sűrűbb hálózatban, de ezek az eltérések sem jelentősek.

Az akáclevél-sátorosmoly (*Macrosaccus robiniella*) ugyancsak akácokon élő aknázó, amelynek álcái a levéllemezben rágnak, de aknájuk egybefüggő ovális alakú. Esetenként együtt is előfordulhatnak a *Parectopa robiniella* lárváival egyetlen levélen, bár rendszerint külön-külön levélen károsítanak. Előfordulásuk és károsításuk intenzitása a vizsgált időszakban (2022. szeptember) nem volt jelentős, de meg kell jegyezni, hogy 2022-ben viszonylag alacsony volt az országos károsítása is. Egyes években az aknázók jóval tömegesebben fordulnak elő az állományokban. Sem a klónok fogékonyságában sem a hálózatok esetén nem jelentkezett jelentős különbség a károk mértékét tekintve. A tapasztalt eltérések inkább véletlenszerűnek tekinthetők. Itt kell kiemelni, hogy az aknázómolyok és egyéb lombfogyasztók esetében a korábbi vizsgálatok nem mutattak ki preferenciát a különféle akác klónoknál, amit jelen adatok is alátámasztanak.

Ellentétben a rovarkárokkal, ahol nem jellemző a különféle fajták, klónok eltérő fogékonysága a károsítókkal szemben, a kórokozókval kapcsolatosan egyértelműen kimutatható. Erre számos példa van elsősorban a nemesnyárok esetében, ahol az egyes

nemesnyár fajták között jelentős különbségek mutatkoznak a gombafertőzésekkel szembeni fogékonyság tekintetében (Tóth, 2006).

A vizsgált akác klónok között is kimutatható fogékonyságbeli eltérés. Az akác barna levélfoltosodását okozó gomba (*Phloeospora robiniae*) fertőzési intenzitását vizsgálva megállapítható, hogy a PL040 jelű klón egyértelműen nagyobb fertőzöttséget mutatott a többi klónnál, ráadásul az eltérés mindhárom ültetési hálózat esetén kimutatható volt. Ennek alapján egyértelműen kijelenthető, hogy a PL040 jelű klón fogékonyabb a *Phloeospora robiniae* gomba fertőzésével szemben. A másik fontos adat, hogy a sűrűbb, $2,5 \times 2,5$ m hálózatban magasabb volt a fertőzöttség mértéke. Ennek valószínűsíthető oka, hogy a sűrűbb állományban a mikroklimatikus viszonyok kedvezőbbek voltak a kórokozó számára. Mindezek mellett az is elmondható, hogy a PL251, NK1 klónok gyakorlatilag nem, vagy csak jelentéktelen mértékben fertőződtek.

A felvételi adatok alapján egyértelműen kijelenthető, hogy az akác fomopszizos kéregrákot okozó kórokozó (*Phomopsis oncostoma*) fertőzésével szemben jelentős fogékonyságot mutat az NK2 klón. Mindhárom ültetési hálózatban kiemelkedően magas fertőzöttséget tapasztaltunk, mely kéregrák (4. kép) és csúcsszáradás formájában nyilvánult meg. A $2,5 \times 2,5$ m hálózatban feltehetően a nagyobb gyakorisággal előforduló mechanikai sérülések miatt jelent meg valamennyi vizsgált klónon a fertőzés, igaz csak minimális esetszámban.



4. kép Akác fomopszisos kéregrák tünete az NK2-es klónon
(Saját fotó, Napkor, 2022.09.12.)

A mechanikai sérülések esetén az elvárások szerint alakultak az adatok. A $2,5 \times 2,5$ m legsűrűbb hálózatban volt a legmagasabb a mechanikai sérülések aránya, nyilvánvalóan a szűk térben az ültetéskor és az ápolási munkák során gyakrabban keletkeztek sérülések a törzseken (megjegyzés: ez betudható nem megfelelő művelőeszköz megválasztásának, azaz művelési hibának is). A 3×3 m hálózatban már jóval alacsonyabb volt ennek a kárformának az előfordulási gyakorisága. A legalacsonyabb értékeket a tág hálózatban a 4×4 m esetében mértünk, itt alig észleltünk ilyen jellegű károkat.

2022-ben jelentősebb viharok is előfordultak a területen, ennek eredményeként a kísérlet egyedein számos esetben fordult elő koronatörés (**5. kép**). Ültetési hálózatonként vizsgálva a töréseket megállapítható, hogy a $2,5 \times 2,5$ m és a 3×3 m hálózatokban nem látható jelentősebb különbség, míg a tágabb 4×4 m hálózatban nagyobb arányban fordult elő koronatörés. Ez nyilvánvalóan a szabadabb állásra vezethető vissza. Amennyiben klónonként is vizsgáljuk az adatokat megállapítható, hogy az NK1 jelzésű klón egyedein

jóval nagyobb arányban fordult elő ilyen jellegű kár, mint a többi klón esetében. Ez összefügghet a korona szerkezettel, vagy a szöveti felépítéssel, szilárdsági mutatókkal. Érdeemes lenne ezen klón esetében a mechanikai tulajdonságokat ebből a szempontból alaposabban megvizsgálni.



5. kép Koronatörés egy 4×4 m ültetési hálózatban lévő PL251-es klónon
(Saját fotó, Napkor, 2022.06.16.)

A növényegészségügyi vizsgálat elemzését a **36. ábra** összegzi. Kiemelendő a PL040 és NK2 jelzésű klónok gombás fertőzésekre való fogékonysága. Korábbi, közönséges akácokban tapasztaltak alapján az NK2 egyedein megjelenő fomopszizos kéregrák komoly problémát, veszteséget okozhat. Érdeemes rá odafigyelni. Meg kell még említeni az NK1-es klón abiotikus stressztűrő képességét, valamint ugyanennél a klónnál a koronatörés problémáját. Megállapítható az is, hogy minél tágabb az ültetési hálózat, annál inkább ki vannak téve a fák az időjárási szélsőségeknek (pl. szélvihar). Ez alapján a 4×4 m-es ültetési hálózat nem ajánlott.

		Klónok	Levévesztés	Abiotikus	Parectopa robinii	Phyllonorycter robinii	Obolodiplosis robiniae	Phloeospora robiniae	Diaporthe oncostoma	Koronatörés	Mechanikai sérülés
A faktor hatása a klónra											
semleges 0-10%	2,5x2,5 m	PL251									
		NK1									
		PL040									
		NK2									
		Üllői									
gyenge 11-25%	3x3 m	PL251									
		NK1									
		PL040									
		NK2									
		Üllői									
közepes 26-60%	4x4 m	PL251									
		NK1									
		PL040									
		NK2									
		Üllői									
erős >61%	2,5x2,5 m	PL251									
		NK1									
		PL040									
		NK2									
		Üllői									

36. ábra A vizsgált klónokon végzett növényegészségügyi vizsgálat összegzése
(Napkor, 2022.09.12.) (Koltay, 2009 alapján)

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Az akác sokoldalú hasznosíthatóságának (fatermesztés, méhészet, környezetfejlesztés), gyors növekedésének, tartós, jó minőségű fájának, valamint relatíve jó szárazságtűrő képességének köszönhetően a világ számos országában (Magyarország, Románia, Bulgária, Lengyelország, Németország, Kína, Dél-Korea) meghatározó fafajnak számít. Erdőtelepítésekben, fásításokban betöltött szerepe a klímaváltozás negatív hatásai (elsősorban a szárazodás miatt) várhatóan növekedni fog (Vítková et al., 2017; Nicolescu et al., 2020; Ciuvăţ et al., 2022).

Hazánkban a jövőben az erdészeti klímaosztályok jelentős változását prognosztizálják. A különböző klímaforgatókönyvek az erdősztepp klíma nagymértékű növekedését és a legszárazabb sztepp klíma megjelenését, ezzel párhuzamosan a bükkös klíma drasztikus csökkenését, esetleges eltűnését jósolják (Kis et al., 2017; Gálos és Führer, 2018; Mátyás et al., 2018). Előbbit dolgozatomban is igazolom. Az OMSZ Nyíregyháza-Napkor meteorológiai állomás adataiból az elmúlt 20 évre (2003-2022) számított FAI alapján a korábban KTT-CS klímaosztályba tartozó terület a vizsgált időszak 50 %-ában az ESZTY klímába sorolható. A 2022-es évben mért FAI érték (28,99) jelentősen meghaladta a két klímaosztály határát jelölő értéket (7,25), valamint a sokéves FAI átlagot (8,61). Ilyen körülmények között a hazai akáctermesztés még inkább felértékelődik.

Az akác gazdasági szempontból előnyös tulajdonságai mellett számos negatívummal is rendelkezik. Ezek közül a legfontosabb az erős fényigényéből és a rendkívüli sarjzódó képességéből, valamint az allelopatikus hatásából adódó inváziós potenciál (Vítková et al., 2017; Puchałka et al., 2021), amely megfelelő termőhely és termesztési technológia megválasztásával redukálható (Vítková et al., 2017; Nicolescu et al., 2018; Rédei, 2020). Meg kell még említeni, hogy termesztési technológiai szempontból is több hátrányos tulajdonsággal (alacsony iparifa-kihozatal, különböző törzshibák, fagyérzékenység) bír (Rédei, 2006; Nicolescu et al., 2020).

Az akác törzsmínőségének javítására, valamint a fatermesztésének és szárazságtűrő képességének fokozására átfogó kutatómunka indult a magyar Erdészeti Tudományos Intézetben. A K+F+I eredményeknek köszönhetően napjainkban számos fajtával, fajtajelölttel rendelkezünk. Ezen fajták, fajtajelöltek kísérleti eredményeit számos alkalommal publikálták hazai és külföldi tudományos folyóiratokban (Rédei et al., 2001;

2002; 2007; 2017; 2020; 2021; Keserű et al., 2021; Ábri et al., 2021; 2022a; 2022b). A témában több szakkönyv is megjelent (Keresztesi, 1984; 1988; Rédei, 2006; 2008).

Az általam végzett kutatómunka hiánypótlónak tekinthető, ugyanis nem készült még olyan tudományos igényességű mű, mely ilyen részletesen foglalná össze a szelektált akácfajták kísérleti állományai vizsgálatának több évtizedes eredményét.

A termesztési kísérletek eddigi eredményei azt mutatják, hogy az 'Üllői' akác átlagfa-térfogata közel megegyező a kontroll, közönséges akácéval, törzsmínőségben (faállomány-minőség jelzőszám) viszont jelentősen felülmúlja azt (Keresztesi, 1988; Rédei, 1994; 2008; Rédei et al., 2020). A 'Jászkiséri' akác, mind átlagfa-térfogata, mind törzsmínőség tekintetében is jobbnak bizonyult a közönséges akácénál (Keresztesi, 1984; Rédei, 2008; Rédei et al., 2017; Ábri et al., 2021). Kiemelendő, hogy a gödöllői fajta-összehasonlító kísérletben, ahol 4 akácfajta ('Jászkiséri', 'Kiskunsági', 'Zalai', 'Nyírségi') és a közönséges akác vizsgálata zajlott 35 éves korban, a 'Jászkiséri' akác átlagfa-térfogata szignifikánsan nagyobb volt, mint a többi vizsgált fajtaé, valamint a közönséges akácé (Rédei et al., 2017). A 'Nyírségi' akác növekedésben, átlagfa-térfogatban minimálisan alul marad a közönséges akáccal szemben, viszont törzsmínőség tekintetében jelentősen felülmúlja azt: 35 éves korban, a gödöllői fajtakísérletben az összes vizsgált fajta és a közönséges akác törzsmínőségi indexét is szignifikánsan felülmúlta (Keresztesi, 1984; Rédei, 2008; Rédei et al., 2017).

A kísérleti állományok többsége a II. és IV. FTO-ba sorolható, ami azt jelenti, hogy a számukra kedvező termőhelyeken viszonylag magas, illetve közepes fatermést érhetnek el. A IV. FTO-ba tartozó állományok a rentábilis ültetvényszerű fatermesztés alsó határát képezik.

A dendrometriai összefüggések faterméstani evidenciák (Van Laar és Akca, 2007; Pretzsch, 2009; Burkhart et al., 2018), ugyanakkor a különböző fafajokra, fajtákra végzett ilyen jellegű vizsgálati eredmények hiánypótlónak tekinthetők.

A szelektált akác-faállományok szerkezeti tényezői közötti összefüggések kiértékelése során kapott magas R^2 értékekből (0,8194-0,9993) arra lehet következtetni, hogy a legfontosabb dendrológiai paraméterek között (H-kor $D_{1,3}$ -kor, N-kor, $N-D_{1,3}$, $v-D_{1,3}$) szoros korreláció van.

A Szentkirály település közelében, szárazodó termőhelyen található kísérleti állomány lehetőséget biztosított egy véghasználati korban (35 év) lévő 'Üllői' akác vizsgálatára, mely során faállomány-szerkezeti tényezőket elemeztem. Továbbá a korábbi állományfelvételi adatok növekedés elemzésére biztosítottak lehetőséget.

Megállapítottam, hogy 20 év után, a szakirodalmi adatokkal (Rédei, 2006; Nicolescu et al., 2020; Rédei et al., 2021) megegyezően, az 'Üllői' fajta esetében is jelentősen csökken a növekedés üteme. Ugyanakkor a 20-35 éves kor közötti időszakban mért $7,15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ korszaki fatérfogat növedék jónak tekinthető. Ez az érték meghaladja a rentábilis ültetvényszerű fatermesztés alsó határát (IV. FTO) jelző $6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ mennyiséget (Rédei, 2006; Molnár et al., 2008).

Az egyes fák fontosabb dendrometria paraméterei (az R^2 értékek így alakultak: $0,5300 - h - d_{1,3}$; $0,5193 - d_{kor} - d_{1,3}$; $0,6594 - v - d_{kor}$; $0,9800 - v - g$) között szoros összefüggést találtam, melyből az a következtetés vonható le, hogy az egyes adatsorokból, a másik jól lemodellezhető. Különösen fontos a $v - D_{kor}$ összefüggés ($R^2 = 0,6594$), mely a várható fatermés becslésére ad lehetőséget. Az egyéb koronaszerkezeti adatok (pl. CPA), pedig a törzsszám becslésekor jelent segítséget. A fentebb említett összefüggéseket Rédei (2006) kommersz akácokban már igazolta, 'Üllői' akácokban ezidáig ilyen összevetés nem történt.

Az 'Üllői' akácot fiatal (2 éves) korban is vizsgáltam egy Napkor település közelében beállított fajtaösszehasonlító kísérletben. Itt új fajtajelöltek növekedési, fitofiziológiai paramétereit vettem össze az 'Üllői' akácéval. A dendrometriai tényezők (h és d_{t0}) összehasonlító vizsgálata során szoros összefüggést találtam. Lineáris regresszióval igazoltam, hogy a h és a d_{t0} adatok között erős korreláció áll fenn (a $2,5 \times 2,5$ m-es hálózatban az R^2 érték $0,7008 - 0,7982$ között változott), mely szintén a várható fatermés, valamint az egyik tényezőtől a másik lemodellezésére ad lehetőséget.

Az akácfajtajelöltek közül a 'Homoki', 'Vacsi', 'Bácska' és 'Oszlopos' vizsgálatát a Duna-Tisza közti Helvécia település közelében, a 'Laposi' (NK1), 'Napkori' (NK2), 'Farkasszigeti' (PL040) és 'Püspökladányi' (PL251) fajtajelölt klónokat Napkor község határában vizsgáltam.

Előbbieknél megállapítottam, hogy 14-15 éves korban ezek a relatíve szárazságtűrő fajtajelöltek marginális (sekély termőréteg, szárazodó terület) termőhelyen nem felelnek meg az ültetvényszerű fatermesztés kritériumainak (IV. fatermési osztályt nem vagy alig érik el), ugyanakkor a korábbi (6-7 éves korban mért: Rédei et al., 2013a; 2013b), illetve a napjainkban (Keserű et al., 2021) végzett állományfelvételi értékek alapján kijelenthető, hogy a 'Homoki' és 'Bácska' fajtajelölt klónok ígéretesnek tűnnek. Mindkét fajtajelölt átlagfa-térfogat értéke meghaladta a kontroll vonatkozó értékét (a 'Homoki' 82,5 %-kal, a 'Bácska' 28 %-kal).

A napkori kísérletben található fajtajelöltek értékelésére igen fiatal korban (2-3 éves) került sor. Az erdészeti gyakorlatban általánosan alkalmazott állományvizsgálatokon (tőátmérő, átmérő, magasság mérése, valamint növényegészségi vizsgálat) túl, azok fitofiziológiai (asszimiláció, transzspiráció, WUE, PSII hatásfoka stb.) tulajdonságait is mértem. A fajtajelölt klónok között jelentős különbségek voltak a növekedés és a növényfiziológiai tulajdonságok tekintetében is.

Magasság tekintetében mindkét vizsgálati évben az NK2 és PL251 jelzésű klónok bizonyultak a legjobbnak. Ugyanakkor, a 2022-es vizsgálat során, a mérés idején (2022. május-augusztus) a legjobb magassági növekedést az NK1 klón produkálta, 1,81 m értékkel. A vizsgált időszak május-június közötti szakaszában volt a legintenzívebb a magassági növekedés, mely megegyezik a Rédei (2006) által leírtakkal.

A vastagsági növekedés (D_{t6} és $D_{1,3}$) vizsgálatának eredménye alapján megállapítható, hogy a fajtajelölt klónok vonatkozó értékei mindenesetben meghaladták a kontroll 'Üllői' akácét. Ugyanakkor a fajtajelöltek között sok esetben szignifikáns különbség nem mutatkozott. Ebben a paraméterben is kiemelendő a PL251 és NK2 jelzésű klónok, kiegészítve az NK1-essel.

Az akác növényélettani vizsgálatával, napjaink legnagyobb környezeti stresszfaktorára, a vízhiányra adott fiziológia és morfológiai reakcióival viszonylag sok tanulmány foglalkozik (Mantovani et al., 2014; Meng et al., 2014; 2016; Moser et al., 2016; Jiao et al., 2018; 2019; Zheng et al., 2019; Yuan et al., 2022; Lyu et al., 2022; 2023), ugyanakkor vegetatív úton szaporított akácfafták ilyen jellegű vizsgálatával kevés (Lange et al., 2022).

A különböző fajok növekedését, biomassza produktivitását leginkább befolyásoló fiziológiai paraméter az asszimiláció (Wang et al. 2013). Hasznos becslést adhat a fotoszintézis felső hőhatáráról a növények PSII hőtűrése. A PSII magasabb hőtűrése lehetővé teszi a jobb növekedést, szaporodást és/vagy túlélést forró környezetben, feltehetően azért, hogy megkönnyíti a magas hőmérsékleten történő fotoszintézist (Allakhverdiev et al., 2008; Xu et al., 2009; Mau et al., 2018). A szárazságtűrést a levélfelületre jutó levéltömeg, a fotoszintézis produktivitása és a levél vízpotenciálja jelzik (Bhusal et al., 2021).

A vizsgált fajtajelölt klónok közül a 'Napkori' (NK2) nem csak növekedésben, de fotoszintézis intenzitás (asszimilációs ráta, PSII hatékonysága), valamint vízhasznosítás (sztómakonduktancia mértéke, WUE) tekintetében is a legjobbnak bizonyult. A WUE esetében meg kell említeni, hogy 2021-ben a PL040 klón mutatta a legmagasabb értéket,

2022-ben az 'Üllői' fajta vonatkozó értéke minimális különbséggel maradt el az NK2 fajtajelölt klónétól, ezen esetekben szignifikáns különbség nem volt. Lange és munkatársai (2022) is hasonló tapasztaltak: a legjobb növekedésű klón fiziológiai paraméterek tekintetében is jó eredményt produkált. A növényekben jól ismert az asszimiláció és a növekedés közötti szoros kapcsolat (Smith és Stitt, 2007), ugyanakkor azt is kimutatták, hogy a növekedés a vízhiányra reagálva gyorsabban csökken, mint a fotoszintézis (Muller et al., 2011). Így nem teljesen világos, hogy az asszimiláció és a szárátmérő növekedése között van-e kapcsolat (Ruehr et al., 2016). Az NK2 klón PSII hatékonyság tekintetében is szignifikánsan a legjobbnak bizonyult. A PSII magasabb hőtűrése lehetővé teszi a jobb növekedést, szaporodást és/vagy túlélést forró környezetben, feltehetően azért, hogy megkönnyíti a magas hőmérsékleten történő fotoszintézist (Feeley et al., 2020; Krause et al., 2016; Perez et al. 2021).

Ruehr és munkatársai (2016) üvegházi körülmények között vizsgálták az akác növekedését, fiziológiai tulajdonságait, valamint hő- és szárazságstresszre adott válaszreakcióit. Tanulmányukban megállapították, hogy a WUE nagymértékben csökken a $T_{levél}$, valamint a VPD érték emelkedésével. A 2021-es év vizsgálat eredményeit összevetve a 2022. évvel, hasonló eredményre jutottam. Amíg $VPD_{levél}$ értékek 2021-ben 1,66-2,24 kPa, a WUE 4,32-7,02 $kg\ m^{-3}$, a $T_{levegő}-T_{levél}$ pedig -0,14 - +0,35 °C volt, addig 2022-ben ezek az értékek a következők szerint alakultak: 2,99-3,70 kPa ($VPD_{levél}$); 3,27-4,92 $kg\ m^{-3}$ (WUE); -0,44 – +1,03 °C ($T_{levegő}-T_{levél}$). A $T_{levegő}-T_{levél}$ értékből a fajtajelölt klón hőstressz ellenálló képességére lehet következtetni. A negatív érték azt jelenti, hogy a levélhőmérséklet magasabb volt, mint a környezeti, vagyis a növény hűtése nem volt megfelelő, azaz hőstresszben volt. A PL251 esetében mindkét évben mínuszos értéket kaptam. Az extrém száraz és meleg 2022-es évben két fajtajelölt klón (NK2 és PL040) mutatott pozitív értéket, vagyis ezek a klónok jó hőtűró képességgel rendelkeznek.

A hőstressznek kitett akácfaik esetében vízhiányt tapasztaltak, aminek nagy valószínűséggel a párolgási hűtés függvényében folytatódó transzspiráció és a sztómák teljes záródásának hiánya ($0,005-0,02\ mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ >35 °C és >4,5 kPa VPD mellett) lehetett az oka. A szárazság, valamint a magas hőmérséklet csökkentette a fotoszintézist és a növekedést (Ruehr et al., 2016). Flexas és Medrano (2002) megállapította, hogy a fotoszisztéma irreverzibilis károsodása, $0,05\ mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ alatti g_{tc} értékeknél várható. Ilyen alacsony sztómakonduktancia szintet nem mértem, még az extrém meleg és száraz 2022-es évben sem. Moser et al. (2016) tanulmánya azt mutatta, hogy az akác városi

körülmények között azonnali növekedési visszaesést mutatott a szárazság alatt, ugyanakkor ez gyorsan helyreállt. Ez arra utal, hogy az akác ún. izohidrikus faj, míg pl. a kislevelű hárs (*Tilia cordata* Mill.) inkább anizohidrikus faj, fajra utaló tulajdonságokat mutat. Ez összhangban van Peters et al. (2010) megállapításaival, akik a gyűrűs likacsú fajokat, mint például az akác, úgy jellemezték, hogy a szárazság elleni védelem során a sztómáik nagyobb mértékben képesek szabályozni, míg a szórt pórusú fajok, mint például a *T. cordata*, nagyobb mértékű vízveszteséget szenvednek el a nyár folyamán.

A vizsgált ökofiziológiai paraméterek (A , Tr , C_i , g_{sw} , $T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$, $VPD_{\text{levél}}$, WUE) közötti összefüggéseket is elemeztem. A korrelációs vizsgálat eredményei igen változatos képet mutattak. Kiemelendő az A és Tr szoros korrelációja, valamint az A és g_{sw} közötti. Ezt igazolja Csajbók et al. (2020) és Kutassy et al. (2021) szántóföldi növényeken végzett hasonló vizsgálata. Wang et al. (2013) szerint az A és a g_{sw} lineárisan korrelál a növekedéssel és a WUE -val, így ezek a paraméterek hasznos előrejelzői a fák növekedésének. A fentebb említett $T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$ és WUE értékek között mindkét évben szoros pozitív korreláció mutatkozott a vizsgált fajtajelölt klónok esetében. Meg kell azonban jegyezni, hogy a 2022-es évben csak két klónnál – a legjobb magassági és átmérő értékekkel rendelkező – PL251 és NK2 jelzésűeknél.

2023-ban elkészítettem a két legjobb növekedést mutató fajtajelölt klón (PL251 és NK2), valamint az 'Üllői' akác fotoszintetikus és PSII megvilágítási görbéjét. A megvilágítási görbék megmutatják, hogy adott fénymennyiség mellett, mekkora asszimilációra képes, illetve milyen PSII hatékonysággal rendelkezik a vizsgált növény. Az asszimilációs ráta mértéke a megvilágítás növelésével nő, kezdetben intenzíven, majd 300-500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ értéknél lassabban (Küppers et al., 2018; Zheng et al., 2019; Choi et al., 2021). Ezzel szemben a PSII hatékonysága a fényintenzitás növelésével csökkenő tendenciát mutat.

Az általam bemutatott, 'in situ' növényélettani vizsgálatok újszerűnek számítanak a hazai és nemzetközi erdészeti és az akáctermesztési kutatásokban. Fontosnak tartom az ilyen jellegű vizsgálatok elvégzését annak érdekében, hogy a jövőben faültetvényeken a lehető legjobb minőségű faanyagot lehessen előállítani.

A napkori fajtajelölt klónokat légi felvételek (ortofotók) felhasználásával is vizsgáltuk. Napjainkban az UAV-alapú vizsgálatoknak (fafajok detektálása, dendrometriai paraméterek mérése, egészségi állapot vizsgálata VI-kel) erdőkben, faültetvényekben egyre nagyobb jelentősége van (Tang és Shao, 2015; Carl et al., 2017;

Torresan et al., 2017; Zhao et al., 2018; Picos et al., 2020; Mohan et al., 2021; Ecke et al., 2022).

A napkori kísérleti akác iparifa ültetvényben vizsgált fajtajelölt klónokat magasság és VI (NDVI, GNDVI) értékeik szerint hasonlítottam össze. Az UAV-alapú magasságmérés (fotogrammetriai úton történő képfeldolgozás) alkalmazhatóságát számos tanulmány bizonyítja (Wallace et al., 2016; Krause et al., 2019; Moe et al., 2020). Az ERTI által használt földi mérőműszerek (szintezőléc, lézeres és ultrahangos magasságmérő) eredményeit összevettem a drónos felvételekével, jelentős különbséget nem tapasztaltam. A VI-k alkalmasak a fák növekedésének és egészségi állapotának a monitorozására (Xue és Su, 2017; Dash et al., 2018; Guerra-Hernández et al., 2021; Duarte et al., 2022; Ecke et al. 2022). A vizsgált klónok NDVI és GNDVI értékei között szignifikáns különbségek mutatkoztak. A legmagasabb NDVI értéket az PL251-es (0,9360), legalacsonyabbat (0,9260) a PL040-es klón produkálta. A klorofill tartalomra sokkal érzékenyebb GNDVI (a PL251-nél 0,8027 és a PL040-nél 0,7849) esetében is hasonló eredmények születtek. Az NDVI és GNDVI értékek mindegyik vizsgált fajtajelölt klón esetében nagyon jó állapotot jeleznek (Mangewa et al., 2022 alapján). Annak fényében, hogy az NDVI értékek korrelálnak a csapadék mennyiséggel (Maselli, 2004; Kinyanjui, 2011), ilyen extrém száraz év után, mint amilyen a 2022-es volt, a klónok VI értékei is mutatják, azok jó szárazságtűrő képességét. Ugyanakkor érdemes megjegyezni, hogy egyes tanulmányok (Li et al., 2018b; Húdoková et al., 2022) szerint a klorofill felhalmozódása gyakran kapcsolódik a hőstresszre adott válaszhoz. A fentebb leírtakkal kapcsolatban meg kell említeni, hogy hazánkban a pilóta nélküli légi járművek használatáról szóló szabályozás – 38/2021. (II. 2.) Korm. rendelet a pilóta nélküli állami légi járművek repüléséről – rendkívül összetett, kevésbé átlátható, ami nehezíti a gyakorlatban történő alkalmazásának elterjedését.

2021-ben, a klónok 2 éves korában földi NDVI mérést is végeztem. A vizsgált klónok NDVI-értékei májusban érték el a maximumot, de augusztusban egy másodlagos maximumot is megfigyeltem. Ezt a megállapítást részben alátámasztja Theofanous et al. (2021) tanulmánya, melyben az akác maximális NDVI-értékeit május-júniusban mérték.

A növények környezeti tényezőkre, stresszfaktorokra adott válaszát adaptációs és akklimatizációs potenciáljuk határozza meg (Kao és Chang, 2001; Konôpková et al. 2018; Kurjak et al. 2019; Húdoková et al., 2022). A már most is szárazabb és melegebb (pl. dél-kelet európai, pl. bolgár, török) helyen álló, ún. előalkalmazkodott állományok magkészsletének tudatos emberi segítséggel történő áttelepítésével, vagy ezen klimatikus

feltételekről származó genotípusokból oltással, vagy gyökeres dugványok felhasználásával magtermesztő ültetvény létrehozásával és ezen magkészlet hasznosításával (generatív út), továbbá az ökofiziológiai vizsgálatok alapján szárazságtűrőbb genotípusok vegetatív úton (szövettenyésztés, anyatelep létesítés, gyökérdugványok termelése érdekében) történő tömegszaporításával (vegetatív eljárás) növelhetjük az akác extrém környezeti feltételekhez való alkalmazkodását, azaz az akklimatizációs potenciálját.

Az iparifa-ültetvények tanulmányozása nagy gyakorlati jelentőséggel bír. Mivel az akác a marginális termőhelyi viszonyokat is relative jól tűri, a jövőben esetlegesen kialakuló fahiányt akác iparifa-ültetvények létesítésével lehet csökkenteni. Ahhoz, hogy az ültetvényeken jó minőségű faanyagot termelhessünk, a hagyományos állományfelvételek mellett javasolható a fák fitofiziológiai tulajdonságainak (klorofilltartalom, fotoszintézis intenzitása, transzspiráció, vízhasznosítás stb.) vizsgálata.

A közölt K+F+I eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgálatba vont akácfajták elsődleges szerepe és jelentősége a minőségi fatermesztés célkitűzéseinek megvalósításában van. Sürgető feladat maradt továbbra is a fajták és a fajtajelölt klónok szaporítóanyagának költséghatékony előállítására. Ennek hiányában csak a generatív eredetű szaporítóanyag alkalmazása lehetséges rentábilis módon. Ez a technológia csak magtermesztő ültetvények (plantázsok) egyidejű létesítésével valósítható meg.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A 14-15 éves 'Bácska', 'Homoki', 'Oszlopos' és 'Vacsi' fajtajelöltek növekedését (magassági és vastagsági) a klonális hatás nagymértékben befolyásolta: a klónok között a magasság és törzsátmérő értékeiken túl, átlagfa-térfogatban és törzsmínőség-indexben is szignifikáns különbséget mértünk. A 'Homoki' és a 'Bácska' fatermésben (átlagfa-térfogat), a 'Vacsi' törzsmínőségben jelentősen felülmúlta a kontrollt. A 'Homoki' átlagfa-térfogata 82,5 %-kal volt jobb a kontroll közönséges akácénál, még a 'Bácska' fajtajelölt klón ebben a paraméterben 28 %-kal haladta meg a kontroll 'Jászkiséri' akácot. A törzsmínőségben a 'Vacsi' 43 %-kal jobb értéket mutatott, mint a közönséges akác.
2. A vizsgált fajtajelöltek – az 'Oszlopos' kivételével – 6-7 évesen a II. és III., 14-15 éves korban IV. és VI. fatermési osztály között helyezkedtek el, tehát ilyen termőhelyi körülmények között gyenge-közepes fatermés prognosztizálható. A 'Bácska' és 'Homoki' fajtajelöltek az ültetvényszerű fatermesztés kívánalmainak alsó határát (IV. fatermési osztály) éppen elérték. Az 'Oszlopos' rendkívül gyenge növekedést mutatott (VI. fatermési osztály). A vizsgált fajtajelöltek, ilyen szárazodó, marginális termőhelyen fatermesztési célzattal történő ültetése nem indokolt.
3. A napkori kísérletben a 'Laposi' (NK1), 'Napkori' (NK2), 'Farkasszigeti' (PL040), 'Püspökladányi' (PL251) klónok és a kontroll 'Üllői' akác magassági és vastagsági (tő- és törzsátmérő) növekedésében szignifikáns különbségek mutatkoztak. Fiatal korban (2-3 éves) az NK2 és a PL251 rendelkezett a legjobb magassági és átmérő mutatókkal, az 'Üllői' pedig a leggyengébbel. A 2022. júniusi mérés alapján az NK2 magasságban 44 %-kal, átmérő tekintetében 52 %-kal, a PL251 39 % és 53 % értékekkel haladták meg az 'Üllői' akác vonatkozó eredményeit. Extrém száraz körülmények között (2022. május-augusztus) az NK1 és PL040 klónok mutatták a legintenzívebb növekedést, előbbi magasság (1,81 m), utóbbi vastagság (23,76 mm) tekintetében. A PL251-es klón és az 'Üllői' akác ebben a periódusban igen gyengén teljesített, e kettő magassági (1,23 m és 1,19 m) és vastagsági (19,97 mm és 18,73 mm) növedék értéke között nem volt szignifikáns különbség.

4. A fiziológiai vizsgálatok alapján a napkori kísérleti ültetvényben vizsgált klónok közül az NK2 rendelkezett a legjobb asszimilációs rátával (A) ($18,44 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 2021-ben és $20,25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 2022-ben) és ennek a klónnak volt az egyik legjobb a vízhasznosítása (WUE) is ($6,88 \text{ kg m}^{-3}$ 2021-ben és $4,92 \text{ kg m}^{-3}$ 2022-ben). 2021-ben a PL040 ($7,02 \text{ kg m}^{-3}$), 2022-ben az 'Üllői' ($4,78 \text{ kg m}^{-3}$) vízhasznosítása is kedvező volt, WUE értékük az adott évben nem különbözött szignifikánsan az NK2-esétől.
5. Az NK2, PL251 és az 'Üllői' akác fényreakciós görbéje jól jellemezhető természetes logaritmus függvénnyel az asszimilációs ráta (A) és a PSII fotokémiai rendszer hatásfoka tekintetében, a függvény jól illeszkedett az adatsorra, az R^2 0,9515-0,9884; illetve 0,8313-0,8567 volt. A vizsgált klónok A értékei – a PL251 kivételével – a megvilágítási szint emelkedésével folyamatosan növekedtek, viszont $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD felett a görbe laposodik. A PL251 esetében $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD szinttől csökkent az A érték. A PSII hatásfoka – az A eredményeivel ellentétben – a PPFD szint emelkedésével fokozatosan csökkent.
6. A napkori ültetvényben végzett UAV-alapú felvételezés alapján a klónok között szignifikáns különbségek voltak. Az NK2 és PL251 fajtajelöltek magassága volt a legnagyobb $7,6 \text{ m}$ és $7,4 \text{ m}$ értékekkel, a vegetációs indexek alapján a PL251 mutatta a legjobb eredményeket (NDVI: 0,94; GNDVI: 0,80). A famagasság eredmények megbízhatóságát alátámasztják a terepi felvételezések, az erdészeti gyakorlatban használt magasságmérő eszközök és az UAV-alapú vizsgálat eredményei jól korreláltak ($r = 0,758$).

7. GYAKORLATBAN HASZNÁLHATÓ EREDMÉNYEK

1. A vizsgált 'Nyírségi', 'Üllői' és 'Jászkiséri' akácállományok (5-35 éves korú) döntő többsége a II. és IV. fatermési osztály között helyezkedik el. Ez megfelel az ültetvényszerű fatermesztés kívánalmainak.
2. A 14-15 éves 'Bácska', 'Homoki', 'Oszlopos' és 'Vacsi' fajtajelöltek növekedése, átlagfa-térfogata és törzsmínőség-index eredményeiben is szignifikáns különbség mutatkozott. A 'Homoki' átlagfa-térfogata 82,5 %-kal volt jobb a kontroll közönséges akácénál, még a 'Bácska' fajtajelölt klón ebben a paraméterben 28 %-kal haladta meg a kontroll 'Jászkiséri' akácot. A törzsmínőségben a 'Vacsi' 43 %-kal jobb értéket mutatott, mint a közönséges akác.
3. A vizsgált fajtajelölt klónok közül a 'Bácska', a 'Homoki', és a 'Vacsi' 6-7 évesen a II. és III., míg 14-15 éves korban a IV. és VI. fatermési osztály között helyezkednek el. A 'Bácska' és 'Homoki' fajtajelöltek az ültetvényszerű fatermesztés kívánalmainak alsó határát (IV. fatermési osztály) éppen elérik. Az 'Oszlopos' rendkívül gyenge növekedést mutatott. Az eddigi eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált fajtajelöltek, ilyen szárazodó, marginális termőhelyen fatermesztési célzattal történő ültetése nem javasolható.
4. A napkori kísérletben az eredmények azt mutatták, hogy fiatal korban (2-3 éves) az NK2 és a PL251 rendelkezik a legjobb magassági és átmérő mutatókkal, az 'Üllői' pedig a leggyengébbel.
5. Eredményeink alapján megállapítható, hogy az erdészeti kísérleti állományokban az UAV-alapú felvételezés (fotogrammetria metodikával) alkalmas magasság mérésére és vegetációs indexek vizsgálatára. A klónok között szignifikáns különbségeket lehetett kimutatni. Az eredmények megbízhatóságát igazolták a hagyományos módszerekkel végzett terepi felvételezések (magasság mérése, növényegészségi vizsgálat).

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az akác sokoldalú hasznosíthatóságának (fatermesztés, méhészet, környezetfejlesztés), gyors növekedésének, tartós, jó minőségű fájának, valamint relatíve jó szárazságtűrő képességének köszönhetően a világ számos országában (Magyarország, Románia, Bulgária, Kína, Dél-Korea) meghatározó fafajnak számít. Magyarországon az 1700-as évek eleje óta van jelen, azóta területe folyamatosan növekszik. Ma a közel 2 millió ha-os hazai erdőterület negyedén található meg. Erdőtelepítésekben, fásításokban betöltött szerepe, a klímaváltozás negatív hatásai (egyenetlen csapadékeloszlás, szárazság, gyakori hőhullámok stb.) miatt, várhatóan növekedni fog. Itt érdemes megjegyezni, hogy a fafaj invazívnak tekinthető, de ezen invazív jellegéből adódó negatív környezeti hatások (természetvédelmi szempontból értékes növények elnyomása) a megfelelő termőhely megválasztásával és a termesztési technológiai elemek szigorú betartásával minimalizálható.

Hazánkban a jövőben az erdészeti klímaosztályok jelentős változását prognosztizálják. A különböző klíma forgatókönyvek az erdősztyepp klíma nagymértékű növekedését és a legszárazabb sztyepp klíma megjelenését, ezzel párhuzamosan a bükkös klíma drasztikus csökkenését, esetleges eltűnését jósolják. Ilyen körülmények között a relatíve szárazságtűrő fafajoknak, mint például az akácnak, fontos szerepe lesz az új erdősztyeppben és a zavartalan faanyag-ellátásban. Ebből is következően az akácatermesztés és annak fejlesztése egyre bővülő jelentőséggel bír.

Az akác termesztési technológiájának fejlesztésével, valamint szelektált akácfajták előállításával kapcsolatos kutatómunka évtizedek óta zajlik hazánkban. Az Erdészeti Tudományos Intézet (ma Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet) kutatói az akác nemesítése során a kedvező alaki tulajdonságokra (jó törzsmínőségre), a gyors fiatalkori növekedésre, a fatermés és nektártermelés fokozására, a szárazságtűrő képesség javítására, illetve meghatározott termesztési célra (iparifa, tűzifa-energetika, méhlegelő) fókuszáltak, fókuszálnak ma is. Ennek a kutatómunkának köszönhetően ma számos akácfajtaival, fajtajelölt klónnal rendelkezünk, melyek a termesztési kísérletek alapján mind fatermés, mind törzsmínőség szempontjából ígéretesnek tűnnek.

Kutatómunkám során a fatermesztési szempontból meghatározó, fűrészrönk előállítására alkalmas 'Jászkiséri', 'Nyírségi', valamint 'Üllői' akácfajtákkal létesített kísérleti ültetvények, illetve a 'Homoki', a 'Bácska', a 'Vacsi' és az 'Oszlopos' nevű

fajtajelöltek, továbbá újonnan előállított akácklónok ('Laposi', 'Napkori', 'Püspökladányi' és 'Farkasszigeti') faállomány-szerkezeti tényezőit (magasság, mellmagassági törzsátmérő, körlap, növénytér, fatermés, koronaszerkezet) és növekedését vizsgálom. Ez utóbbi, új akácklónok esetében az erdészeti gyakorlatban használt metodikával végzett magassági és vastagsági növekedésre, valamint növényegészségi állapotra irányuló felvételezéseken túlmenően UAV-alapú méréseket, továbbá fitofiziológiai (nettó asszimiláció, transzspiráció, vízhasznosítás) vizsgálatokat – kevésbé alkalmazott in situ módon – is végeztem.

Megállapítottam, hogy az 5-35 éves 'Jászkiséri', 'Nyírségi' és 'Üllői' akácállományok (összesen 59 ilyen kísérleti ültetvényt vizsgáltam) döntő többsége a II. és IV. fatermési osztály (szelektált akácfajtákra kidolgozott fatermési tábla alapján) között helyezkednek el, ami azt jelenti, hogy a számukra kedvező termőhelyeken viszonylag magas, illetve közepes fatermést érhetnek el. Továbbá a faállomány-szerkezeti tényezők között szoros összefüggést figyeltem meg. Ennek az ültetvénytervezésben (törzsszám-beállítás), valamint a fatermés modellezésében van jelentősége.

A 15 éves 'Homoki' és 'Vacsi' fajtajelölt klónok fatermését és törzsminőségét a közönséges akácéval, a 14 éves 'Bácska' és 'Oszlopos' esetében a 'Jászkiséri' akác fajtáéval vettem össze (marginális termőhelyen). Az eredmények szignifikáns különbséget mutattak a klónok és a kontroll között: A 'Homoki' és 'Bácska' fatermés, a 'Vacsi' törzsminőségben haladta meg a kontroll vonatkozó értékét. Ugyanakkor az is megállapítást nyert, hogy a klónok közül csak a 'Homoki' és 'Bácska' éri el a rentábilis ültetvényszerű fatermesztés alsó határának számító IV. fatermési osztályt, vagyis ilyen termőhelyi körülmények között (szélsőségesen száraz) gyenge-közepes fatermés várható.

Az újonnan szelektált 'Laposi', 'Napkori', 'Püspökladányi' és 'Farkasszigeti' fajtajelölt klónokat egy tipikus akáctermőhelyen, nyírségi humuszos homoktalajon vizsgálom, összevetve egy államilag elismert fajtával, az 'Üllői' akáccal. A Napkor település közelében lévő kísérleti ültetvényben magasság és vastagsági (tő- és törzsátmérő) növekedés szempontjából, 2-3 éves korban a 'Napkori' és 'Püspökladányi' klónok produkálták a legjobb eredményt, mindkét klón szignifikánsan jobb eredményt mutatott a kontroll 'Üllői' akácnál. A 'Napkori' nettó asszimiláció és vízhasznosítás szempontjából is a legjobbnak bizonyult. Rengeteg tényező befolyásolhatja a fotoszintézis intenzitását. A szárazság és hőstressz leginkább a 2-es fotokémiai rendszerre (PSII) van hatással. A PSII hatékonyságára utaló érték egy fontos mérőszám a növények

stressztolerancia vizsgálatánál. Ezt a mutatót is volt alkalom mérni, s e tekintetben is az NK2 klón teljesített legjobban, PSII hatékonysága szignifikánsan jobbnak bizonyult a többi klónénál.

Az UAV-alapú állományfelvétel alapján a magasság és a növények vitalitása (NDVI és GNDVI érték) jól jellemezhető. A mérés időpontjában (2023. augusztus) a legjobb NDVI értékkel a 'Püspökladányi' fajtajelölt rendelkezett. Magasság tekintetében a terepi felvételezések eredményeivel közel azonos tendencia mutatkozott: a mérés időpontjában a 'Napkori' és 'Püspökladányi' klónok bizonyultak a legmagasabbnak, az 'Üllői' a legalacsonyabbnak.

Az iparifa célú ültetvények létesítése a mezőgazdasági gyakorlatban elterjedt technológiai elemeket is magába foglaló, magas színvonalú munkakultúra elterjedését is eredményezheti hazánkban. A mezőgazdaságban megszokotthoz képest alacsonyabb termelési kockázat mellett folyamatos piaci kereslet tapasztalható az ilyen faültetvényekben megtermelt fa alapanyagra. Az iparifa célú ültetvény további előnye, hogy olyan területek (termőhelyek) hasznosítását teszi lehetővé, amelyet rentábilisan a hagyományos mezőgazdasági műveléssel már nem lehet megművelni, fenntartani. Ahhoz, hogy jó minőségű ipari faanyagot adó faültetvényeket alakíthassunk ki, kísérleti célú ültetvények létrehozása és azok monitoringozása szükséges. A hagyományos teljes állományfelvétel (famagasság, tőátmérő és mellmagassági átmérő stb. mérése) mellett elengedhetetlen a fák fitofiziológiai tulajdonságainak (klorofilltartalom, szénmegkötés, fotoszintetikus aktivitás, vízhasznosítás) vizsgálata. Ez utóbbi mind hazai, mind nemzetközi viszonylatban újdonságnak tekinthető.

Az akácfajták vizsgálatának célja az, hogy adott fajta/fajtajelölt klón növekedése, mely termőhelyen a legjobb. A termőhely javulásával az „intenzív” típusú fajták egyre nagyobb fatermést, azaz értékhozamot biztosítanak. Az „extenzív” típusúak épp fordítva, vagyis a termőhely javulását nem képesek kihasználni, viszont sok esetben a gyenge termőhelyeken biztosíthatnak magasabb hozamot, mint a kommersz szaporítóanyag. A fajták esetében megerősítést nyert, hogy a fajtafenntartás továbbra is indokolt.

A 4 vizsgált új akác fajtajelölt klón (NK1, NK2, PL040, PL251) az előzetes vizsgálatok alapján alkalmas gyenge adottságú termőhelyek ültetvényes hasznosítására, és ezen túlmenően növekedési és törzsminőségi tulajdonságuk alapján alkalmasak iparifa minőségű faalapanyag előállítására.

9. SUMMARY

Black locust is a dominant tree species in many countries of the world (Hungary, Romania, Bulgaria, China, South Korea) due to its versatility (wood production, beekeeping, environmental improvement), rapid growth, durable, high quality wood and relatively good drought tolerance. It has been introduced in Hungary since the early 1700s and has been growing steadily since then. Today, it is found in a quarter of the almost 2 million ha of forest area in Hungary. Its role in afforestation and reforestation is expected to increase due to the negative effects of climate change (uneven precipitation, drought, frequent heat waves, etc.). It is worth noting that the species is considered invasive, but the negative environmental effects of this invasiveness (suppression of plants of nature conservation value) can be reduced by choosing the proper growing area and by strictly applying the necessary growing techniques.

In Hungary, significant changes in forest climate classes are predicted for the future. Different climate scenarios predict a large increase in the forest-steppe climate and the emergence of the driest steppe climate, accompanied by a drastic decrease or eventual disappearance of the beech climate. Under such conditions, relatively drought-tolerant tree species such as black locust will play an important role in new afforestation and uninterrupted wood supply. Consequently, the growing and improvement of black locust is of growing importance.

Research work on the improvement of black locust growing technology and the production of selected black locust cultivars has been carried out in Hungary for decades. Researchers at the Forest Research Institute (FRI) have focused on the breeding of black locust for its favourable shape (good stem quality), rapid juvenile growth, increased yield and nectar production, improved drought tolerance and specific cultivation purposes (industrial timber, firewood energy, bee-keeping). Thanks to this research work, we now have a number of black locust cultivars, candidate clones, which, based on cultivation trials, appear promising both in terms of wood yield and stem quality.

During my research, experimental plantations were established with the timber-dominant black locust cultivars 'Jászkiséri', 'Nyírségi' and 'Üllői', as well as the cultivar candidates 'Homoki', 'Bácska', 'Vacsi' and 'Oszlopos', and newly produced black locust clones ('Laposi', 'Napkori', 'Püspökladányi' and 'Farkasszigeti'), I study growth and stand structure factors, such as height, diameter at breast height, basal area, growing space,

volume and crown structure. In addition to recording height and thickness growth and plant health status of the latter, new black locust clones using methodologies used in forestry practice, I also carried out UAV-based measurements and phytophysiological (net assimilation, transpiration, WUE) studies - less applied *in situ*.

I have found that the vast majority of the 5-35 year old 'Jászakiséri', 'Nyírségi' and 'Üllői' black locust stands (59 experimental plantations in total) are located between the yield classes II and IV (according to the yield table developed for selected black locust cultivars), which means that they can achieve relatively high or medium yields in the favourable growing areas. Furthermore, I observed a strong correlation between stand structure factors. This has implications for plantation design (stem number adjustment) and for modelling tree yield.

I compared the mean tree volume and stem quality of the 15-year-old 'Homoki' and 'Vacsi' candidate clones with that of the common black locust, and of the 14-year-old 'Bácska' and 'Oszlopos' with that of the 'Jászakiséri' black locust on marginal site. The obtained results showed significant differences between clones and control: 'Homoki' and 'Bácska' showed higher wood yields than the control, while 'Vacsi' exceeded the control in stem quality. However, it was also found that only 'Homoki' and 'Bácska' clones reach yield class IV, i.e. the lower limit of the viable plantation timber production. Therefore, low to medium yield can be expected under these site conditions (extremely dry).

The newly selected cultivar candidate clones 'Laposi', 'Napkori', 'Püspökladányi' and 'Farkasszigeti' are tested on a typical black locust growing site on humic sandy soil in the Nyírség region, compared to a state-recognised cultivar, 'Üllői'. In the experimental plantation near the settlement of Napkor, the 'Napkori' and 'Püspökladányi' clones produced the best results in terms of height and thickness (root collar diameter and diameter at breast height) at 2-3 years of age, both clones showing significantly better results than the control 'Üllői' black locust. 'Napkori' also proved to be the best in terms of net assimilation and WUE. Many factors can influence the rate of photosynthesis. Drought and heat stress have the greatest effect on PSII efficiency, which is an important measure of plant stress tolerance. I also had the opportunity to measure this indicator, and again clone NK2 performed best, with PSII efficiency significantly better than the other clones.

Based on the UAV-based inventory, the height and the vitality of the plants (NDVI and GNDVI) can be well characterised. At the time of the measurement (August 2023), the best NDVI value was obtained for the candidate cultivar 'Püspökladányi'. In terms of

height, the trend was almost the same as in the field: at the time of measurement, clones 'Napkori' and 'Püspökladányi' were the highest and 'Üllői' the lowest.

Industrial tree plantations are on the borderline between forestry and agriculture (they can also be planted on arable land). With grant support, short rotation industrial tree plantations can be competitive with arable crops, with significantly lower production risks (e.g. lower drought sensitivity). Another strong argument in their favour could be the possibility of diversification and using own materials.

In order to improve tree plantations that produce high quality industrial timber, experimental plantations need to be established and monitored. In addition to the traditional complete inventory (tree height, root collar diameter, diameter at breast height, etc.), it is essential to study the phytophysiological properties of the trees (chlorophyll content, carbon fixation, photosynthetic activity, WUE). The latter is a novelty both nationally and internationally.

The aim of the black locust cultivar test is to determine which cultivar/candidate clone grows best in which location. As the growing area improves, 'intensive' cultivars provide increasingly higher yields, i.e. higher value. Conversely, 'extensive' types are not able to take advantage of site improvement, but in many cases can provide higher yields than commercial propagation material on poor sites. As regards the examined cultivars, it has been confirmed that cultivar maintenance is still justified.

The four new tested black locust candidate clones (NK1, NK2, PL040, PL251) are suitable for plantation use in poorly suitable areas, and in addition, their growth and stem quality characteristics make them suitable for the production of industrial-grade wood.

10. IRODALOMJEGYZÉK

1. Ábri T. – Csajbók J.: 2023. Comparative study of newly-bred black locust clones with regard to photosynthetic rate and water use efficiency: early evaluation. *Acta Agraria Debreceniensis*. (1): 5-10. <https://doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/1/12256>
2. Ábri T. – Keserű Z. – Rásó J. – Rédei K.: 2021. Stand structure and growth of *Robinia pseudoacacia* 'Jászkiséri'–'Jászkiséri' black locust. *Journal of Forest Science*. 67: 489-497. <https://doi.org/10.17221/57/2021-jfs>
3. Ábri T. – Keserű Z. – Rédei K.: 2022a. A 'Nyírségi' akác (*Robinia pseudoacacia* 'Nyírségi') növekedési viszonyai. *Erdészettudományi Közlemények*. 12(1): 31-42. <https://doi.org/10.17164/EK.2022.02>
4. Ábri T. – Keserű Z. – Borovics A. – Rédei K. – Csajbók J.: 2022b. Comparison of juvenile, drought tolerant black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) clones with regard to plant physiology and growth characteristics in Eastern Hungary: early evaluation. *Forests*. 13(2): 292. <https://doi.org/10.3390/f13020292>
5. Allakhverdiev, S. I. – Kreslavski, V. D. – Klimov, V. V. – Los, D. A. – Carpentier, R. – Mohanty P.: 2008. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. *Photosynthesis Research*. 98: 541-550. <https://doi.org/10.1007/s11120-008-9331-0>
6. Assmann, E.: 1961. *Waldetragskunde*. BLV Verlagsgesellschaft, München-Bonn-Wien.
7. Babos I.: 1965. A homoki akácok termőhelye. [In: Keresztesi B. (szerk.) *Akáctermesztés Magyarországon*]. Akadémiai Kiadó, Budapest. 219-381.
8. Bakkay L.: 1956. Nevelővágások akácokban. *Az Erdő*. 10: 409-416.
9. Balla I. – Vértesy J.: 1985. Experiences and problems related to the micropropagation of black locust. [In: *Vitro Problems Related to Mass Propagation of Horticultural Plants*]. Symposium, Book of Abstracts II, Gembloux, Belgium. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1987.212.86>
10. Balla I. – Vértesy J. – Köves-Péchy K. – Vörös I. – Bujtás Z. – Bíró B.: 1998. Acclimation results of micropropagated black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) improved by symbiotic micro-organisms. *Plant cell, tissue and organ culture*. 52(1): 113-115. <https://doi.org/10.1023/A:1005974024515>

11. Bannari, A. – Morin, D. – Bonn, F. – Huete, A.:1995. A review of vegetation indices. Remote sensing reviews. 13(1-2): 95-120.
<https://doi.org/10.1080/02757259509532298>
12. Barghchi, M.: 1987. Mass clonal propagation in vitro of *Robinia pseudoacacia* L. (black locust) cv. 'Jaszkeri'. Plant Science. 53(2): 183-189.
[https://doi.org/10.1016/0168-9452\(87\)90129-4](https://doi.org/10.1016/0168-9452(87)90129-4)
13. Bartha D. – Csiszár Á. – Zsigmond V.: 2006. Fehér akác [In: Botta-Dukát Z. és Mihály B. (szerk.) Biológiai inváziók Magyarországon. Özönnövények II.]. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 10. TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest. 37-67.
14. Basso, M. – Stocchero, D. – Ventura Bayan Henriques, R. – Vian, A. L. – Bredemeier, C. – Konzen, A. A. – Pignaton de Freitas, E.: 2019. Proposal for an embedded system architecture using a GNDVI algorithm to support UAV-based agrochemical spraying. Sensors. 19(24): 5397. <https://doi.org/10.3390/s19245397>
15. Benesperi, R. – Giuliani, C. – Zanetti, S. – Gennai, M. –Lippi, M. M. – Guidi, T. – Nascimbene, J. – Foggi, B.: 2012. Forest plant diversity is threatened by *Robinia pseudoacacia* (black-locust) invasion. Biodiversity and Conservation. 21: 3555-3568.
<https://doi.org/10.1007/s10531-012-0380-5>
16. Benke A. – Keserű Z.: 2022. A fehér akác nemesítése. [In: Bartha D., Csóka G., Mátyás C. (szerk.) Az erdészeti tudományok története Magyarországon]. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, 137-141.
17. Berthold, D. – Vor, T. – Beese, F.: 2005. Soil degradation by *Robinia pseudoacacia* L. (Black Locust) in Hungary. [In: Nentwig, W., Bacher, S., Cock, M. J. W., Dietz, H., Gigon, A., Wittenberg, R. (eds.) Biological invasions: from ecology to control]. NeoBiota, Berlin. 6: 67-78.
18. Béky A.: 1983. A nevelővágások hatása a faegyedek vastagsági növekedésére kocsánytalan tölgyesekben. Erdészeti Kutatások. 75: 173-177.
19. Bhusal, N. – Lee, M. – Lee, H. – Adhikari, A. – Han, A. R. – Han, A. – Kim, H. S.: 2021. Evaluation of morphological, physiological, and biochemical traits for assessing drought resistance in eleven tree species. Science of the Total Environment. 779: 146466.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146466>
20. Birkás M.: 2006. Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
21. Bondor A.: 1980. Erdőtelepítés, erdőfelújítás. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

22. Borde, B.: 2018. Silviculture of black locust trees producing timber. Forêt-Entreprise. 241: 12-19.
23. Boring, L. R. – Swank, W. T.: 1984. The role of black locust (*Robinia pseudoacacia*) in forest succession. Journal of Ecology. 72: 749-766.
24. Burkhart, H. E. – Avery, T. E., – Bullock, B. P.: 2018. Forest measurements. Waveland Press, Long Grove.
25. Carl, C. – Landgraf, D. – Van der Maaten-Theunissen, M. – Biber, P. – Pretzsch, H.: 2017. *Robinia pseudoacacia* L. flowers analyzed by using an unmanned aerial vehicle (UAV). Remote Sensing. 9(11): 1091. <https://doi.org/10.3390/rs9111091>
26. Chalupa, V.: 1992. Tissue culture propagation of black locust. [In: Hanover, J.W., Miller, K., Plesko, S. (eds.) Black locust: Biology, Culture and Utilization]. Michigan State University, East Lansing. 115-125.
27. Chang, C. S. – Bongarten, B. – Hamrick, J.: 1998. Genetic structure of natural populations of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) at Coweeta, North Carolina. Journal of Plant Research. 111(1): 17-24. <https://doi.org/10.1007/BF02507146>
28. Chaves, M. M. – Flexas, J. – Pinheiro, C.: 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of botany. 103(4): 551-560. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>
29. Chen, L. – Gong, J. – Fu, B. – Huang, Z. – Huang, Y. – Gui, L.: 2007. Effect of land use conversion on soil organic carbon sequestration in the loess hilly area, loess plateau of China. Ecological Research. 22(4): 641-648. <https://doi.org/10.1007/s11284-006-0065-1>
30. Choi, D. – Jang, W. – Toda, H. – Yoshikawa, M.: 2021. Differences in characteristics of photosynthesis and nitrogen utilization in leaves of the black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) according to leaf position. Forests. 12(3): 348. <https://doi.org/10.3390/f12030348>
31. Ciuvăț, A. L. – Abrudan, I. V. – Ciuvăț, C. G. – Marcu, C. – Lorent, A. – Dincă, L. – Bartha, S.: 2022. Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Romanian forestry. Diversity. 14(10): 780. <https://doi.org/10.3390/d14100780>
32. Csajbók J. – Pepó P. – Kutasy E.: 2020. Photosynthetic and agronomic traits of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. Agronomy. 10(12): 1999. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121999>
33. Csajbók J. – Buday-Bódi E. – Nagy, A. – Fehér Z. Z. – Tamás A. – Virág I. C. – Bojtor C. – Forgács F. – Vad A. M. – Kutasy, E.: 2022. Multispectral Analysis of Small

Plots Based on Field and Remote Sensing Surveys – A Comparative Evaluation. Sustainability. 14(6): 3339. <https://doi.org/10.3390/su14063339>

34. Cseresnyés I. – Csontos P.: 2012. Soil seed bank of the invasive *Robinia pseudoacacia* in planted *Pinus nigra* stands. Acta Botanica Croatica. 2: 249-260. <https://doi.org/10.2478/v10184-011-0065-2>

35. Csiha I. – Keserű Z. – Rásó J. – Rédei K.: 2016. Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) selection programmes in Hungary: a short review. International Journal of Horticultural Science. 22(3-4): 31-34. <https://doi.org/10.31421/IJHS/22/3-4./1189>

36. Csóka G. – Hirka A. – Koltay A. – Kolozs L.: 2013. Erdőkárok – képes útmutató. Agroinform Kiadó, Budapest.

37. Csóka G. – Hirka A. – Koltay A. – Vidóczi H. – Tuba K. – Tóth V. – Lakatos F.: 2022. Erdővédelem. [In: Bartha D., Csóka G., Mátyás C. (szerk.) Az erdészeti tudományok története Magyarországon]. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, 210-294.

38. Dainelli, R. – Toscano, P. – Di Gennaro, S. F. – Matese, A.: 2021. Recent advances in Unmanned Aerial Vehicles forest remote sensing – A systematic review. Part II: Research applications. Forests. 12(4): 397. <https://doi.org/10.3390/f12040397>

39. Dash, J. P. – Pearse, G. D. – Watt, M. S.: 2018. UAV multispectral imagery can complement satellite data for monitoring forest health. Remote Sensing. 10(8): 1216. <https://doi.org/10.3390/rs10081216>

40. Davis, J. M. – Keathley, D. E.: 1992. Micropropagation of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). [In: Bajaj, Y. P. S. (ed.) High-Tech and Micropropagation II. Biotechnology in Agriculture and Forestry]. 18: 25-39. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-76422-6>

41. DeGomez, T. – Wagner, M. R.: 2001. Culture and use of black locust. HortTechnology. 11(2): 279-288. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.11.2.279>

42. Demené, J. M. – Merzeau, D.: 2007. Le robinier faux acacia, Historique et caractéristiques biologiques. Forêt-entreprise. 177: 10-12.

43. Dini-Papanastasi, O. – Panetsos, C. P.: 2000. Relation between growth and morphological traits and genetic parameters of *Robinia pseudoacacia* var. *monophylla* DC in northern Greece. Silvae genetica. 49(1): 37-44.

44. Dini-Papanastasi, O.: 2008. Effects of clonal selection on biomass production and quality in *Robinia pseudoacacia* var. *monophylla* Carr. Forest Ecology and Management. 256(4): 849-854. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.049>

45. Dini-Papanastasi, O. – Kostopoulou, P. – Radoglou, K.: 2012. Effects of seed origin, growing medium and mini-plug density on early growth and quality of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) seedlings. *Journal of Forest Science*. 58(1): 8-20. <https://doi.org/10.17221/46/2011-JFS>
46. Dong, L. – Sun, Y. – Zhao, K. – Zhang, J. – Zhang, Y. – Li, X. – Xun, S. – Zhang, J. – Wang, S. – Li, Y.: 2019. Development and application of EST-SSR markers for DNA fingerprinting and genetic diversity analysis of the main cultivars of black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in China. *Forests*. 10(8): 644. <https://doi.org/10.3390/f10080644>
47. Duarte, A. – Borralho, N. – Cabral, P. – Caetano, M.: 2022. Recent advances in forest insect pests and diseases monitoring using UAV-based data: A systematic review. *Forests*. 13(6): 911. <https://doi.org/10.3390/f13060911>
48. Ecke, S. – Dempewolf, J. – Frey, J. – Schwaller, A. – Endres, E. – Klemmt, H. J. – Tiede, D. – Seifert, T.: 2022. UAV-based forest health monitoring: A systematic review. *Remote Sensing*. 14(13): 3205. <https://doi.org/10.3390/rs14133205>
49. Farooq, M. – Wahid, A. – Kobayashi, N. – Fujita, D. – Basra, S. M. A.: 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. [In: Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Véronique, S., Alberola, C. (eds) *Sustainable Agriculture*]. Springer, Dordrecht. 153-188. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12
50. Farquhar, G. D. – Sharkey, T. D.: 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*. 33(1): 317-345.
51. Feeley, K. – Martinez-Villa, J. – Perez, T. – Silva Duque, A. – Triviño Gonzalez, D. – Duque, A.: 2020. The thermal tolerances, distributions, and performances of tropical montane tree species. *Frontiers in Forests and Global Change*. 3: 25. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00025>
52. Fekete Z.: 1951. Erdőbecsléstan. Akadémiai Kiadó, Budapest.
53. Flexas, J. – Medrano, H.: 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of botany*. 89(2): 183-189. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf027>
54. Flexas, J. – Niinemets, Ü. – Gallé, A. – Barbour, M. M. – Centritto, M. – Diaz-Espejo, A. – Douthe, C. – Galmés, J. – Ribas-Carbo, M. – Rodriguez, P. L. – Rosselló, F. – Soolanayakanahally, R. – Tomas, M. – Wright, I. J. – Farquhar, G. D. – Medrano, H.: 2013. Diffusional conductances to CO₂ as a target for increasing photosynthesis and

- photosynthetic water-use efficiency. *Photosynthesis research*. 117: 45-59.
<https://doi.org/10.1007/s11120-013-9844-z>
55. Froux, F. – Ducrey, M. – Epron, D. – Dreyer, E.: 2004. Seasonal variations and acclimation potential of the thermostability of photochemistry in four Mediterranean conifers. *Annals of Forest Science*. 61(3): 235-241.
<https://doi.org/10.1051/forest:2004016>
56. Fühler E. – Rédei K. – Tóth B. (szerk.): 2008. Ültetvénytípusú fatermesztés II. Agroinform Kiadó, Budapest.
57. Fühler E. – Horváth L. – Jagodics A. – Machon A. – Szabados I.: 2011. Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás*. 115(3): 205-216.
58. Gálos B. – Fühler E.: 2018. A klíma erdészeti célú előrejelzése. *Erdészettudományi Közlemények*. 8(1): 43-55. <https://doi.org/10.17164/EK.2018.003>
59. Ghouil, H. – Montpied, P. – Epron, D. – Ksontini, M. – Hanchi, B. – Dreyer, E.: 2003. Thermal optima of photosynthetic functions and thermostability of photochemistry in cork oak seedlings. *Tree physiology*. 23(15): 1031-1039.
<https://doi.org/10.1093/treephys/23.15.1031>
60. Gitelson, A. A. – Kaufman, Y. J. – Merzlyak, M. N.: 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote sensing of Environment*. 58(3): 289-298. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7)
61. Gitelson, A. A. – Gritz, Y. – Merzlyak, M. N.: 2003. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology*. 160(3): 271-282. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00887>
62. Gitelson, A. A. – Viña, A. – Ciganda, V. – Rundquist, D. C. – Arkebauer, T. J.: 2005. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical research letters*. 32(8): 1-4. <https://doi.org/10.1029/2005GL022688>
63. Godoy, O. – de Lemos-Filho, J. P. – Valladares, F.: 2011. Invasive species can handle higher leaf temperature under water stress than Mediterranean natives. *Environmental and Experimental Botany*. 71(2): 207-214.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.12.001>
64. Guerra-Hernández, J. – Díaz-Varela, R. A. – Álvarez-González, J. G. – Rodríguez-González, P. M.: 2021. Assessing a novel modelling approach with high resolution UAV

imagery for monitoring health status in priority riparian forests. *Forest Ecosystems*. 8: 61.
<https://doi.org/10.1186/s40663-021-00342-8>

65. Guha, A. – Han, J. – Cummings, C. – McLennan, D. A. – Warren, J. M.: (2018). Differential ecophysiological responses and resilience to heat wave events in four co-occurring temperate tree species. *Environmental Research Letters*. 13(6): 065008.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabcd8>

66. Gutierrez-Rodriguez, M. – Escalante-Estrada, J. A. – Gonzalez, M. T. R. – Reynolds, M. P.: 2006. Canopy reflectance indices and its relationship with yield in common bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) with phosphorous supply. *International Journal of Agriculture And Biology*. 8: 203-207.

67. Halmágyi L. – Keresztesi B.: 1975. A méhlegelő. Akadémiai Kiadó, Budapest.

68. Halupa L. – Gabnai E.: 1990. Az új nyárfajták hálózati kísérletei. *Erdészeti Kutatások*. 82-83(II): 279-287.

69. Halupa L. – Rédei K.: 1984. Erdőnevelés. [In: Keresztesi B. (szerk.) *Az akác*]. Akadémiai Kiadó, Budapest. 86-95.

70. Hanover, J. W. – Mebrathu, T. – Bloese, P.: 1991. Genetic improvement of black locust: a prime agroforestry species. *The Forestry Chronicle*. 67(3): 227-231.
<https://doi.org/10.5558/tfc67227-3>

71. Hirka A. – Koltay A. – Gáspár C. – Csóka G.: 2022. Erdővédelem alaphokon – erdészeti szempontból jelentős rovarok és kórokozók Északkelet-Magyarország síksági erdeiben. Magánerdőkért Egyesület és Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet, Sopron. ISBN 978-615-01-4858-8

72. Honfy V. – Pödör Z. – Keserű Z. – Rásó J. – Ábri T. – Borovics A.: 2023. The effect of tree spacing on yields of alley cropping systems – a case study from Hungary. *Plants*. 12(3): 595. <https://doi.org/10.3390/plants12030595>

73. Húdoková, H. – Petrik, P. – Petek-Petrik, A. – Konôpková, A. – Leštianska, A. – Štrélcová, K. – Kmeť, J. – Kurjak, D. (2022). Heat-stress response of photosystem II in five ecologically important tree species of European temperate forests. *Biologia*. 77(3): 671-680. <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00958-9>

74. Huntley, J. C.: 1990. *Robinia pseudoacacia* L. black locust. *Silvics of North America*. 2: 755-761.

75. Janda T.: 2023. A növények és a stressz – Vészhelyzet, válasz, védekezés. Libri Könyvkiadó Kft., Budapest.

76. Járó Z.: 1972. Az erdészeti termőhelyértékelés rendszere. [In: Danszky I. (szerk.) Erdőművelés I.]. Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest, 46-87.
77. Járó Z. – Lengyel Gy.: 1984. Erdősítés. [In: Keresztesi B. (szerk.) Az akác]. Akadémia Kiadó, Budapest. 68-86.
78. Jiao, L. – Lu, N. – Fu, B. – Gao, G. – Wang, S. – Jin, T. – Zhang, L. – Liu, J. – Zhang, D.: 2016. Comparison of transpiration between different aged black locust (*Robinia pseudoacacia*) trees on the semi-arid Loess Plateau, China. *Journal of Arid Land*. 8: 604-617. <https://doi.org/10.1007/s40333-016-0047-2>
79. Jiao, L. – Lu, N. – Fu, B. – Wang, J. – Li, Z. – Fang, W. – Liu, J. – Wang, C. – Zhang, L.: 2018. Evapotranspiration partitioning and its implications for plant water use strategy: Evidence from a black locust plantation in the semi-arid Loess Plateau, China. *Forest ecology and management*. 424: 428-438. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.011>
80. Jiao, L. – Lu, N. – Fang, W. – Li, Z. – Wang, J. – Jin, Z.: 2019. Determining the independent impact of soil water on forest transpiration: A case study of a black locust plantation in the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*. 572: 671-681. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.045>
81. Kalaji, H. M. – Jajoo, A. – Oukarroum, A. – Brestic, M. – Zivcak, M. – Samborska, I. A. – Cetner, M. D. – Lukasik, I. – Goltsev, V. – Ladle, R. J.: 2016. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*. 38: 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2113-y>
82. Kanwar, K. – Bhardwaj, A. – Deepika, R., – Sharma, D. R.: 2007. *Robinia pseudoacacia* Linn. *Tree and Forestry Science and Biotechnology*. 1(1): 74-80.
83. Kao, W. Y. – Chang, K. W.: 2001. Altitudinal trends in photosynthetic rate and leaf characteristics of *Miscanthus* populations from central Taiwan. *Australian Journal of Botany*. 49: 509. <https://doi.org/10.1071/BT00028>
84. Keresztesi B.: 1965. Akáctermesztés Magyarországon. Akadémia Kiadó, Budapest.
85. Keresztesi B.: 1983. Breeding and cultivation of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Hungary. *Forest Ecology and Management* 6: 217-244. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(83\)80004-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(83)80004-8)
86. Keresztesi B.: 1984. Az akác. Akadémia Kiadó, Budapest.
87. Keresztesi B.: 1988. The Black locust. Akadémia Kiadó, Budapest.

88. Kertész Á.: 2001. A globális klímaváltozás természetföldrajza. Holnap Kiadó, Budapest.
89. Kertész Á. – Křeček, J.: 2019. Landscape degradation in the world and in Hungary. Hungarian Geographical Bulletin. 68(3): 201-221. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.68.3.1>
90. Keserű Z. – Borovics A. – Ábri T. – Rédei K. – Lee, I. H. – Lim, H.: 2021. Growing of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Candidate Cultivars on Arid Sandy Site. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica. 17(1): 51-61. <https://doi.org/10.37045/aslh-2021-0004>.
91. Kinyanjui, M. J.: 2011. NDVI-based vegetation monitoring in Mau forest complex, Kenya. African Journal of Ecology. 49(2): 165-174. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2010.01251.x>
92. Kim, K. – Lee, M. Y. – Choi, Y. S. – Kang, E. J. – Park, H. G. – Park, B. S. – Frunze, O. – Kim, J. G. – Han, S. M. – Woo, S. O. – Kim, S. G. – Kim, H. Y. – Kim, S. K. – Kim, D.: 2021. Status and environmental factors of the annual production of acacia honey from the false acacia (*Robinia pseudoacacia*) in South Korea. Journal of Apiculture. 36(1): 11-16. <https://doi.org/10.17519/apiculture.2021.04.36.1.11>
93. Kis A. – Pongrácz R., – Bartholy, J.: 2017. Multi-model analysis of regional dry and wet conditions for the Carpathian Region. International journal of climatology. 37(13): 4543-4560. <https://doi.org/10.1002/joc.5104>
94. Kleinbauer, I. – Dullinger, S. – Peterseil, F. – Essl, F.: 2010. Climate change might drive the invasive tree *Robinia pseudoacacia* into nature reserves and endangered habitats. Biological Conservation. 143(2): 382-390. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.10.024>
95. Koltay A.: 2009. EVH II szint, intenzív monitoring. [In: Kolozs L. (szerk.) Erdővédelmi Mérő- és Megfigyelő Rendszer 1988-2008]. MGSZH, Központi Erdészeti Igazgatóság, Budapest, 14.
96. Konôpková, A. – Kurjak, D. – Kmet', J. – Klumpp, R. – Longauer, R. – Ditmarová, L. – Gömörý, D.: 2018. Differences in photochemistry and response to heat stress between silver fir (*Abies alba* Mill.) provenances. Trees. 32: 73-86. <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1612-9>
97. Kopecky F.: 1965. Az akác nemesítése. [In: Keresztesi B. (szerk.) Akáctermesztés Magyar-országon]. Akadémiai Kiadó, Budapest. 121-156.
98. Kraft, G.: 1884. Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Klindworth, Hannover.

99. Kraszkievicz, A.: 2021. Productivity of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) grown on a varying habitats in Southeastern Poland. *Forests*. 12(4): 470. <https://doi.org/10.3390/f12040470>
100. Krause, G. H. – Winter, K. – Krause, B. – Virgo, A.: 2016. Protection by light against heat stress in leaves of tropical crassulacean acid metabolism plants containing high acid levels. *Functional Plant Biology*. 43(11): 1061-1069. <https://doi.org/10.1071/FP16093>
101. Krause, S. – Sanders, T. G. – Mund, J. P. – Greve, K.: 2019. UAV-based photogrammetric tree height measurement for intensive forest monitoring. *Remote sensing*. 11(7): 758. <https://doi.org/10.3390/rs11070758>
102. Küppers, M. – Schmitt, D. – Liner, S. – Böhm, C. – Kanzler, M. – Veste, M.: 2018. Photosynthetic characteristics and simulation of annual leaf carbon gains of hybrid poplar (*Populus nigra* L. × *P. maximowiczii* Henry) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in a temperate agroforestry system. *Agroforestry Systems*. 92: 1267-1286. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0071-z>
103. Kurjak, D. – Konôpková, A. – Kmet', J. – Macková, M. – Frýdl, J. – Živčák, M. – Palmroth, S. – Ditmarová, E. – Gömöry, D.: 2019. Variation in the performance and thermostability of photosystem II in European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances is influenced more by acclimation than by adaptation. *European Journal of Forest Research*. 138: 79-92. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1155-7>
104. Kutasy E. – Buday-Bódi E. – Virág I. C. – Forgács F. – Melash, A. A. – Zsombik L. – Nagy A. – Csajbók, J. (2021). Mitigating the negative effect of drought stress in oat (*Avena sativa* L.) with silicon and sulphur foliar fertilization. *Plants*. 11(1): 30. <https://doi.org/10.3390/plants11010030>
105. Lakatos F. – Szabó I.: 2012. Növényvédelem az erdőgazdálkodásban. Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest.
106. Lange, C. A. – Knoche, D. – Hanschke, R. – Löffler, S. – Schneck, V.: 2022. Physiological performance and biomass growth of different black locust origins growing on a post-mining reclamation site in Eastern Germany. *Forests*. 13(2): 315. <https://doi.org/10.3390/f13020315>
107. Lazzaro, L. – Mazza, G. – d'Errico, G. – Fabiani, A. – Giuliani, C. – Inghilesi, A. F. – Lagomarsino, A. – Landi, S. – Lastrucci, L. – Pastorelli, R. – Roversi, P. F. – Torrini, G. – Tricarico, E. – Foggi, B.: 2018. How ecosystems change following invasion by *Robinia pseudoacacia*: insights from soil chemical properties and soil microbial,

- nematode, microarthropod and plant communities. *Science of the Total Environment*. 622-623: 1509-1518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.017>
108. Lee, C. S. – Cho, H. J. – Yi, H.: 2004. Stand dynamics of introduced black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) plantation under different disturbance regimes in Korea. *Forest Ecology and Management*. 189(1-3): 281-293. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.08.012>
109. Lee, K. J. – Sohn, J. H. – Rédei K. – Yun, H. Y.: 2007. Selection of early and late flowering *Robinia pseudoacacia* from domesticated and introduced cultivars in Korea and prediction of flowering period by accumulated temperature. *Journal of Korean Society of Forest Science*. 96(2): 170-177.
110. Lessényi B. – Rédei K.: 1986. A nemesített akácfajták fatermése. *Erdészeti Kutatások*. 78: 241-246.
111. Li, G. – Zhang, X. – Huang, J. – Wen, Z. – Du, S.: 2018a. Afforestation and climatic niche dynamics of black locust (*Robinia pseudoacacia*). *Forest Ecology and Management*. 407: 184-190. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.019>
112. Li, Y. – He, N. – Hou, J. – Xu, L. – Liu, C. – Zhang, J. – Wang, Q. – Zhang, X. – Wu, X.: 2018b. Factors influencing leaf chlorophyll content in natural forests at biome scale. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 6: 64. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00064>
113. Liesebach, H. – Yang, M. S. – Schneck V.: 2004. Genetic diversity and differentiation in a black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) progeny test. *International Journal of Forest Genetics*. 11(2): 151-161.
114. Lu, N. – Dai, L. – Wu, B. – Zhang, Y. – Luo Z. – Xun, S. – Sun, Y. – Li, Y.: 2015. A preliminary study on the crossability in *Robinia pseudoacacia* L. *Euphytica*. 206(3): 555-566. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1458-4>
115. Lyu, J. – He, Q. Y. – Chen, Q. W. – Cheng, R. R. – Li, G. – Otsuki, K. – Yamanaka, N. – Du, S. (2022). Distinct transpiration characteristics of black locust plantations acclimated to semiarid and subhumid sites in the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*. 262: 107402. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107402>
116. Lyu, J. – Li, G. – Otsuki, K. – Yamanaka, N. – Wang, Y. – Yue, M. – Du, S.: 2023. Different transpiration and growth patterns of the black locust plantation and natural oak forest on China's Loess Plateau. *Ecohydrology*. 16(4): e2523. <https://doi.org/10.1002/eco.2523>
117. Mangewa, L. J. – Ndakidemi, P. A. – Alward, R. D. – Kija, H. K. – Bukombe, J. K. – Nasolwa, E. R. – Munishi, L. K.: 2022. Comparative assessment of UAV and

- sentinel-2 NDVI and GNDVI for preliminary diagnosis of habitat conditions in Burunge wildlife management area, Tanzania. *Earth*. 3(3): 769-787. <https://doi.org/10.3390/earth3030044>
118. *Mantovani, D. – Veste, M. – Freese, D.*: 2014. Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) ecophysiological and morphological adaptations to drought and their consequence on biomass production and water-use efficiency. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 44(1): 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40490-014-0029-0>
119. *Maselli, F.*: 2004. Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multiyear NDVI data. *Remote Sensing of Environment*. 89(4): 423-433. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.10.020>
120. *Martin, A. J.*: 2023. Factors influencing the use of introduced black locust (*Robinia pseudoacacia*) for slope stabilization in post-war South Korea. *Trees, Forests and People*. 100444. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100444>
121. *Mathur, S. – Agrawal, D. – Jajoo, A.*: 2014. Photosynthesis: response to high temperature stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 137: 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.01.010>
122. *Mau, A. C. – Reed, S. C. – Wood, T. E. – Cavaleri, M. A.*: 2018. Temperate and Tropical Forest Canopies are Already Functioning beyond Their Thermal Thresholds for Photosynthesis. *Forests*. 9: 47. <https://doi.org/10.3390/f9010047>
123. *Mátyás C. – Berki I. – Bidló A. – Csóka G. – Czímber K. – Führer E. – Gálos B. – Gribovszki Z. – Illés G. – Hirka A. – Somogyi Z.*: 2018. Sustainability of forest cover under climate change on the temperate-continental xeric limits. *Forests*. 9(8): 489. <https://doi.org/10.3390/f9080489>
124. *Meng, F. – Peng, M. – Pang, H. – Huang, F.*: 2014. Comparison of photosynthesis and leaf ultrastructure on two black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Biochemical Systematics and Ecology*. 55: 170-175. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2014.03.025>
125. *Meng, F. – Luo, Q. – Wang, Q. – Zhang, X. – Qi, Z. – Xu, F. – Lei, X. – Cao, Y. – Chow, W. S. – Sun, G.*: 2016. Physiological and proteomic responses to salt stress in chloroplasts of diploid and tetraploid black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Scientific Reports*. 6: srep23098. <https://doi.org/10.1038/srep23098>.
126. *Meyer-Münzer, B. – Grottehusmann, H. – Vor, T.*: 2015. Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.). [In: Vor, T., Spellmann, H., Bolte, A., Ammer, C. (eds.) *Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten - Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung*]. Göttinger Forstwissenschaften, Göttingen. 277-296.

127. Moe, K. T. – Owari, T. – Furuya, N. – Hiroshima, T.: 2020. Comparing individual tree height information derived from field surveys, LiDAR and UAV-DAP for high-value timber species in Northern Japan. *Forests*. 11(2): 223. <https://doi.org/10.3390/f11020223>
128. Molnár S.: 2008. Az ültetvényszerűen termeszthető fafajok fájának minősége és hasznosítása. [In: Führer E., Rédei K., Tóth B. (szerk.) Ültetvényszerű fatermesztés II.]. Agroinform Kiadó, Budapest. 153-191.
129. Molnár S. – Führer E. – Tóth B.: 2008. Az ültetvényes fagazdálkodás fejlesztése. Hillebrand Nyomda Kft., Sopron.
130. Moser, A. – Rötzer, T. – Pauleit, S. – Pretzsch, H.: 2016. The urban environment can modify drought stress of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Forests*. 7(3): 71. <https://doi.org/10.3390/f7030071>
131. Muller, S.: 2004. *Robinia pseudoacacia* L. Le robinier faux-acacia. [In: Muller, S. (ed.): *Plantes invasives en France*]. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. Patrimoines naturels. 62: 92-93.
132. Muller, B. – Pantin, F. – Génard, M. – Turc, O. – Freixes, S. – Piques, M. – Gibon, Y.: 2011). Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal of Experimental Botany*. 62(6): 1715-1729. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq438>
133. Nasir, H. – Iqbal, Z. – Hiradate, S. – Fujii Y.: 2005. Allelopathic potential of *Robinia pseudoacacia* L. *Journal of Chemical Ecology*. 31(9): 2179-2192. <https://doi.org/10.1007/s10886-005-6084-5>
134. NÉBIH: 2022. Nemzeti Élelmiszerlánc-Biztonsági Hivatal: Nemzeti Fajtajegyzék – Dísznövények, Erdészeti növények, 2022.
135. NFK: 2022a. Nemzeti Földügyi Központ: Országos Erdőállomány Adattár (2021).
136. NFK: 2022b. Nemzeti Földügyi Központ: Erdeink egészségi állapota 2022-ben (EVH jelentés).
137. Nicolescu, V. N. – Hernea, C. – Bakti, B. – Keserű, Z. – Antal, B. – Rédei, K.: 2018. Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) as a multi-purpose tree species in Hungary and Romania: a review. *Journal of Forestry Research*. 29: 1449-1463. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0626-5>
138. Nicolescu, V. N. – Rédei K. – Mason, W. L. – Vor, T. – Pöetzelsberger, E. – Bastien, J.-C. – Brus, R. – Benčať, T. – Dodan, M. – Cvjetkovic, B. – Andrašev, S. – La Porta, N. – Lavnyy, V. – Mandžukovski, D. – Petkova, K. – Roženbergar, D. – Wąsik, R. – Mohren, G. M. J. – Monteverdi, M. C. – Musch, B. – Klisz, M. – Perić, S. – Keça, L. –

- Bartlett, D. – Hernea, C. – Pástor, M.: 2020. Ecology, growth and management of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), a non-native species integrated into European forests. *Journal of Forestry Research*. 31: 1081-1101. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01116-8>
139. Osváth-Bujtás Z. – Rédei K.: 2007. Akác fajtaismertető. Agroinform Kiadó, Budapest. 36.
140. Pálfai I.: 1992. Vízhiány a Duna-Tisza hátságán. *Hidrológiai Tájékoztató*, 32(1): 43-44.
141. Pálfai I.: 2003. A vízháztartás helyzete és a vízgazdálkodás fejlesztési lehetőségei a Duna–Tisza közti Homokhátságán. *Hidrológiai Közlöny*, 83(4): 251-253.
142. Pápai G. (szerk.): 2013. Erdőgazdálkodás – Kézikönyv erdőtulajdonosoknak. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
143. Perez, T. M. – Socha, A. – Tserej, O. – Feeley, K. J.: 2021. Photosystem II heat tolerances characterize thermal generalists and the upper limit of carbon assimilation. *Plant, Cell & Environment*. 44(7): 2321-2330. <https://doi.org/10.1111/pce.13990>
144. Peters, E. B. – McFadden, J. P. – Montgomery, R. A.: 2010. Biological and environmental controls on tree transpiration in a suburban landscape. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 115(G4): 1-13. <https://doi.org/10.1029/2009JG001266>
145. Pethő M.: 1998. A növényélettan alapjai. Akadémiai Kiadó, Budapest.
146. Pethő M.: 2002. Mezőgazdasági növények élettana. Akadémiai Kiadó, Budapest.
147. Picos, J. – Bastos, G. – Míguez, D. – Alonso, L. – Armesto, J.: 2020. Individual tree detection in a eucalyptus plantation using unmanned aerial vehicle (UAV)-LiDAR. *Remote Sensing*. 12(5): 885. <https://doi.org/10.3390/rs12050885>
148. Pretzsch, H.: 2009. *Forest Dynamics, Growth and Yield*. Springer, Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88307-4>
149. Puchalka, R – Dyderski, M. K. – Vítková, M. – Sádlo, J. – Klisz, M. – Netsvetov, M. – Prokopuk, Y. – Matisons, R. – Mionskowski, M. – Wojda, T. – Koprowski, M. – Jagodziński, A. M.: 2021. Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) range contraction and expansion in Europe under changing climate. *Global Change Biology*. 27(8): 1587-1600. <https://doi.org/10.1111/gcb.15486>
150. Qin, J. – Xi, W. – Rahmlow, A. – Kong, H. – Zhang, Z. – Shangguan, Z.: 2016. Effects of forest plantation types on leaf traits of *Ulmus pumila* and *Robinia pseudoacacia*

- on the Loess Plateau, China. *Ecological Engineering*. 97: 416-425.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.038>
151. Rédei K.: 1984. Akácosok fatermése (Akác fatermési tábla, 1984). Erdészeti Tudományos Intézet, Kecskemét.
152. Rédei K.: 1994. Szelektált akácfajták termesztési kísérleteinek értékelése. *Erdészeti Lapok*. 129(12): 358-360.
153. Rédei K.: 2002. Management of black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stands in Hungary. *Journal of Forestry Research*. 13(4): 260-264.
<https://doi.org/10.1007/BF02860087>
154. Rédei K.: 2006. Az akác termesztés-fejlesztésének biológiai alapjai és gyakorlata. Agroinform Kiadó, Budapest.
155. Rédei K.: 2008. Szelektált akácfajták termesztés-technológiája. Agroinform Kiadó, Budapest.
156. Rédei K.: 2009. Az akác ültetvények termesztése [in: Fűhrer E., Rédei K., Tóth B. (szerk.) Ültetvényszerű fatermesztés I.]. Agroinform Kiadó, Budapest. 126-154.
157. Rédei K.: 2020. Bevezetés az ültetvényszerű fatermesztés gyakorlatába. Agroinform Kiadó, Budapest.
158. Rédei K. – Ostváth-Bujtás Z. – Balla I.: 2001. Propagation methods for black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) improvement in Hungary. *Journal of Forestry Research*. 12: 215-219. <https://doi.org/10.1007/BF02856710>
159. Rédei K. – Ostváth-Bujtás Z. – Balla I.: 2002. Clonal approaches to growing black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Hungary: a review. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 75(5): 547-552. <https://doi.org/10.1093/forestry/75.5.547>
160. Rédei K. – Ostváth-Bujtás Z. – Veperdi I.: 2006. Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) clonal seed orchards in Hungary. *Forest Ecosystems*, 8(4), 47-50.
<https://doi.org/10.1007/s11632-006-0036-1>
161. Rédei K. – Ostváth-Bujtás Z. – Veperdi I.: 2008. Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) improvement in Hungary: a review. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. 4: 127-132.
162. Rédei K. – Meilby, H.: 2009. Effect of Thinning on the Diameter Increment in Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Stands. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. 5: 63-74. <http://doi.org/10.21825/sg.v65i0.812>

163. Rédei K. – Csiha I. – Keserű Zs. – Kamandiné Végh Á. – Győri J.: 2011. The silviculture of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Hungary: a review. South-east European forestry: SEEFOR. 2(2): 101-107. <https://doi.org/10.15177/seeфор.11-11>
164. Rédei K. – Keserű Zs. – Csiha I. – Rásó J. – Kamandiné Végh Á. – Antal B.: 2013a. Juvenile Growth and Morphological Traits of Micropropagated Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Clones under Arid Site Conditions. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica. 9: 35-42. <https://doi.org/10.2478/aslh-2013-0003>
165. Rédei K. – Keserű Zs. – Rásó J.: 2013b. Early evaluation of micropropagated black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) clones in Hungary. Forest Science and Practice. 15(1): 81-84. <https://doi.org/10.1007/s11632-013-0108-y>
166. Rédei K. – Csiha I. – Rásó J. – Keserű Z.: 2017. Selection of promising black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) cultivars in Hungary. Journal of Forest Science. 63(8): 339-343. <https://doi.org/10.17221/23/2017-jfs>
167. Rédei K. – Bakti B. – Kiss T. – Takács M. – Keserű Z.: 2018. Yield and crown structure characteristics in a black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stand: A case study– Short Communication. Journal of Forest Science. 64(2): 96-100. <https://doi.org/10.17221/118/2017-JFS>
168. Rédei K. – Keserű Z. – Rásó J. – Gál J.: 2019. The Effects of Thinnings on Yield and Value Changes in Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Stands: A case study. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, 15(1): 47-52. <https://doi.org/10.2478/aslh-2019-0004>
169. Rédei K. – Keserű Z. – Bach I. – Rásó J. – Ábri T. – Szabó F. – Gál J.: 2020. Management of *Robinia pseudoacacia* cv. ‘Üllői’–‘Üllői’ locust. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica. 16(1): 9-18. <https://doi.org/10.37045/aslh-2020-0001>
170. Rédei K. – Ábri T. – Szabó F. – Keserű Z.: 2021. Yield table for selected black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) cultivars. Acta Agraria Debreceniensis. (1): 193-198. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/8854>
171. Rédei K. – Ábri T.: 2022. Productivity of thinned black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stands in Hungary: case studies. Acta Agraria Debreceniensis. (1): 181-186. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/10638>
172. Robinson, N. P. – Allred, B. W. – Jones, M. O. – Moreno, A. – Kimball, J. S. – Naugle, D. E. – Erickson, T. A. – Richardson, A. D.: 2017. A dynamic Landsat derived normalized difference vegetation index (NDVI) product for the conterminous United States. Remote sensing. 9(8): 863. <https://doi.org/10.3390/rs9080863>

173. Rouse, J. W. – Haas, R. H. – Schell, J. A. – Deering, D. W.: 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA Special Publication. 351(1): 309.
174. Ruehr, N. K. – Gast, A. – Weber, C. – Daub, B. – Arneith, A.: 2016. Water availability as dominant control of heat stress responses in two contrasting tree species. *Tree Physiology*. 36(2): 164-178. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv102>
175. Sinclair, T. R. – Tanner, C. B. – Bennett, J. M.: 1984. Water-use efficiency in crop production. *Bioscience*. 34(1): 36-40. <https://doi.org/10.2307/1309424>
176. Smith, A. M. – Stitt, M.: 2007. Coordination of carbon supply and plant growth. *Plant, cell & environment*. 30(9): 1126-1149. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01708.x>
177. Solymos R.: 1986. A gyorsan növő faállományok szerepe az erdőállomány gazdálkodás és faellátás fejlesztésében. *Az Erdő*. 35(3): 110-116.
178. Sopp L. – Kolozs L.: 2013: Fatömegszámítási táblázatok (4. kiadás). NÉBIH, Erdészeti Igazgatóság, Budapest.
179. Stankova, T. – Gyuleva, V. – Kalmukov, K. – Popov, E. – Pérez-Cruzado, C. – Glushkova, M. – Dimitrov, D. N. – Dimitrova, P. – M., Hristova, H. – Andonova, E.: 2020. Effect of spacing, parental genotype and harvesting cycle on biomass production in two half-sib progenies of *Robinia pseudoacacia* L. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 93(4): 505-518. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz039>
180. Straker, K. C. – Quinn, L. D. – Voigt, T. B. – Lee, D. K. – Kling, G. J.: 2015. Black Locust as a Bioenergy Feedstock: a Review. *Bioenergy Research*. 8: 1117-1135. <https://doi.org/10.1007/s12155-015-9597-y>
181. Szabó I.: 2003. Talajművelés és trágyázás. Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest.
182. Szabó A. – Gribovszki Z. – Kalicz P. – Szolgay J., – Bolla B.: 2022. The soil moisture regime and groundwater recharge in aged forests in the Sand Ridge region of Hungary after a decline in the groundwater level: an experimental case study. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 70(3): 308-320. <https://doi.org/10.2478/johh-2022-0019>
183. Szelepcsényi Z. – Breuer H. – Kis A. – Pongrácz R., – Sümegei P.: 2018. Assessment of projected climate change in the Carpathian Region using the Holdridge life zone system. *Theoretical and applied climatology*. 131: 593-610. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1987-3>

184. *Szemerédy M.*: 2004. Az akác honfoglalása a Nyírségben. Nyírerdő Nyírségi Erdészeti Rt., Debrecen.
185. *Szentes O.*: 2023. Szárazság Magyarországon 2022-ben és a múltban. Légkör: Az Országos Meteorológiai Intézet szakmai tájékoztatója, 68 (1): 9-19. <https://doi.org/10.56474/legkor.2023.1.2>
186. *Szyp-Borowska, I. – Banha, C. – Wojda, T. – Szczygiel, K.*: 2016. Micropropagation of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and genetic stability of long term cultivated plants. Folia Forestalia Polonica. 58(1): 13-19. <https://doi.org/10.1515/ffp-2016-0002>
187. *Szyp-Borowska, I. – Ukalska, J. – Wojda, T. – Sulowska, M. – Klisz, M.*: 2020. Micropropagation and in vitro rooting of *Robinia pseudoacacia* L. recalcitrant genotypes. Folia Forestalia Polonica. 62(1): 13-21. <https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0002>
188. *Szyp-Borowska, I. – Ukalska, J. – Niemczyk, M. – Wojda, T. – Thomas, B. R.*: 2022. Effects of Water Deficit Stress on Growth Parameters of *Robinia pseudoacacia* L. Selected Clones under In Vitro Conditions. Forests. 13(12): 1979. <https://doi.org/10.3390/f13121979>
189. *Tang, L. – Shao, G.*: 2015. Drone remote sensing for forestry research and practices. Journal of Forestry Research. 26: 791-797. <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0088-y>
190. *Theofanous, N. – Chrysafis, I. – Mallinis, G. – Domakinis, C. – Verde, N. – Sihalou, S.*: 2021. Aboveground Biomass Estimation in Short Rotation Forest Plantations in Northern Greece Using ESA's Sentinel Medium-High Resolution Multispectral and Radar Imaging Missions. Forests. 12(7): 902. <https://doi.org/10.3390/f12070902>
191. *Torresan, C. – Berton, A. – Carotenuto, F. – Di Gennaro, S. F. – Gioli, B. – Matese, A. – Miglietta, F. – Vagnoli, C. – Zaldei, A. – Wallace, L.*: 2017. Forestry applications of UAVs in Europe: A review. International Journal of Remote Sensing. 38(8-10): 2427-2447. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1252477>
192. *Tóth J.*: 2002. Az akác növényvédelme. Agroinform Kiadó, Budapest.
193. *Tóth B.*: 2006. Nemesnyár-fajták ismertetője – Irányelvek a nemesnyár-fajták kiválasztásához. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft., Budapest.
194. *Tóth J. – Varga Sz.*: 2008. Az akác növényvédelme [In: Führer E., Rédei K., Tóth B. (szerk.): Ültetvényszerű fatermesztés II.]. Agroinform Kiadó, Budapest. 118-130.

195. Tsuji, S. – Nakashizuka, T. – Kuraji, K. – Kume, A. – Hanba, Y. T.: 2020. Sensitivity of stomatal conductance to vapor pressure deficit and its dependence on leaf water relations and wood anatomy in nine canopy tree species in a Malaysian wet tropical rainforest. *Trees*. 34: 1299-1311. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01998-5>
196. Tsouros, D. C. – Bibi, S. – Sarigiannidis, P. G.: 2019. A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*. 10(11): 349. <https://doi.org/10.3390/info10110349>
197. Ujvárosi M.:1957. Gyomnövények, gyomirtás. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
198. UNCCD: 2006. Second National Report of the Republic of Hungary on the implementation of the United Nations Convention to Combat Desertification. Ministry of Environment and Water of the Republic of Hungary. 24 p.
199. Vadas J.: 1911. Az ákácfa monográfiája különös tekintettel erdőgazdasági jelentőségére. Országos Erdészeti Egyesület, Budapest.
200. Van Laar A., Akça A.: 2007. Forest Mensuration. Springer, Dordrecht.
201. Varga F.: 2001. Erdővédelemtan. Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest.
202. Veitch, N. C. – Elliott, P. C. – Kite, G. C. – Lewis, G. P.: 2010. Flavonoid glycosides of the black locust tree, *Robinia pseudoacacia* (Leguminosae). *Phytochemistry*. 71(4): 479-486. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.10.024>
203. Vítková, M. – Kolbek, J.: 2010. Vegetation classification and synecology of Bohemian *Robinia pseudacacia* stands in a Central European context. *Phytocoenologia*. 40(2-3): 205-241. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2010/0040-0425>
204. Vítková, M. – Tonika, J. – Müllerová, J.: 2015. Black locust – successful invader of a wide range of soil conditions. *Science of the Total Environment*. 505: 315-328. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.104>
205. Vítková, M. – Müllerová, J. – Sádlo, J. – Pergl, J. – Pyšek, P.: 2017. Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe. *Forest Ecology and Management*. 384: 287-302. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.057>
206. Wahid, A.: 2007. Physiological implications of metabolite biosynthesis for net assimilation and heat-stress tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum*) sprouts. *Journal of Plant Research*. 120: 219-228. <https://doi.org/10.1007/s10265-006-0040-5>
207. Wallace, L. – Lucieer, A. – Malenovský, Z. – Turner, D. – Vopěnka, P.: 2016. Assessment of forest structure using two UAV techniques: A comparison of airborne laser

- scanning and structure from motion (SfM) point clouds. *Forests*. 7(3): 62.
<https://doi.org/10.3390/f7030062>
208. Wang, F. M. – Huang, J. F. – Tang, Y.L. – Wang, X.Z.: 2007. New vegetation index and its application in estimating leaf area index of rice. *Rice Science*. 14: 195-203.
[https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(07\)60027-4](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(07)60027-4)
209. Wang, B. – Liu, G., – Xue, S.: 2012. Effect of black locust (*Robinia pseudoacacia*) on soil chemical and microbiological properties in the eroded hilly area of China's Loess Plateau. *Environmental Earth Sciences*. 65: 597-607. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1107-8>
210. Wang, D. – LeBauer, D. – Kling, G. – Voigt, T. – Dietze, M. C.: 2013. Ecophysiological screening of tree species for biomass production: Trade-off between production and water use. *Ecosphere*. 4: 1-22. <https://doi.org/10.1890/ES13-00156.1>
211. Wiedemann, E.: 1943. Der Vergleich der Massenleistung des Mischbestandes mit der Reinbestand. *Allgemeine Forst- und Jagd- Zeitung*. 119: 123-132.
212. Wojda, T. – Klisz, M. – Jastrzebowski, S. – Mionskowski, M. – Szyg-Borowska, I. – Szczygiel, K.: 2015. The geographical distribution of the black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Poland and its role on non-forest land. *Papers on Global Change*. 22: 101-113. <https://doi.org/10.1515/igbp-2015-0018>
213. Xue, J., – Su, B.: 2017. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
214. Xu, F. – Guo, W. – Wang, R. – Xu., W. – Du, N. – Wang, Y.: 2009. Leaf movement and photosynthetic plasticity of black locust (*Robinia pseudoacacia*) alleviate stress under different light and water conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*. 31: 553-563.
<https://doi.org/10.1007/s11738-008-0265-0>
215. Yang, Y. – Tang, M. – Sulpice, R. – Chen, H. – Tian, S. – Ban, Y.: 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi alter fractal dimension characteristics of *Robinia pseudoacacia* L. seedlings through regulating plant growth, leaf water status, photosynthesis, and nutrient concentration under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*. 33: 612-625.
<https://doi.org/10.1007/s00344-013-9410-0>
216. Yang, X. – Zhang, K. – Wang, J.– Jia, H. – Ma, L. – Li, Y. – Duan, J.: 2020: Assessment of genetic diversity and chemical composition among seven black locust populations from Northern China. *Biochemical Systematics and Ecology*. 90: 104010.
<https://doi.org/10.1016/j.bse.2020.104010>

217. Yuan, H. – Hu, B. – Liu, Z. – Sun, H. – Zhou, M. – Rennenberg, H.: 2022. Physiological responses of black locust-rhizobia symbiosis to water stress. *Physiologia Plantarum*. 174(1): e13641. <https://doi.org/10.1111/ppl.13641>
218. Zajaczkowski, K. – Wojda, T.: 2012. Robinia akacjowa *Robinia pseudoacacia* L. w gospodarczej uprawie plantacyjnej. *Studia i Materiały CEPL*. 14: 130-135.
219. Zhang, J. – Liu, Y. – Wang, H.: 2007. Micropropagation of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). [In: Jain, S. M., Häggman, H. (eds.) *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits*]. 193-199. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6352-7_18
220. Zhang, Y. – Luo, X. – Shen, Y.: 2009. Water use efficiency and carbon isotopic compositions in tetraploid clones of black locust under drought resistance. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*. 29(7): 1460-1464.
221. Zhao, Q. – Wang, F. – Zhao, J. – Zhou, J. – Yu, S. – Zhao, Z.: 2018. Estimating forest canopy cover in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) plantations on the Loess Plateau using random forest. *Forests*. 9(10): 623. <https://doi.org/10.3390/f9100623>
222. Zheng, Y. – Zhao, Z. – Zhou, J. – Zhou, H.: 2011. Relationship between photosynthetic gas exchange of black locust and environmental factors. *Journal of Northwest A&F University (National Science Edition)*. 39: 8188.
223. Zheng, Y. – Zhou, J. – Zhou, H. – Zhao, Z.: 2019. Photosynthetic carbon fixation capacity of black locust in rapid response to plantation thinning on the semiarid Loess plateau in China. *Pakistan Journal of Botany*. 51: 1365-1374. [https://doi.org/10.30848/PJB2019-4\(40\)](https://doi.org/10.30848/PJB2019-4(40)).

Internetes hivatkozások:

Internet 1: ITIS (Integrated Taxonomic Information System) https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=504804#null (letöltés: 2023.10.20.)

Internet 2: <http://www.hungarikum.hu/hu/magyar-ak%C3%A1c> (letöltés: 2023.10.18.)

Internet 3: <https://baum-des-jahres.de/baeume-seit-1989/> (letöltés: 2023.10.18.)

Internet 4: <http://klima.erti.hu/home/faegeszsegi-monitoring/> (letöltés: 2023.10.20.)

Internet 5: <https://image.tigersupplies.com/Manuals/15-105-10081-20141216013625806.pdf> (letöltés: 2023.10.20.)

Internet 6: https://haglofsweden.com/project_category/calipers/ (letöltés: 2023.10.20.)

Internet 7: <https://www.licor.com/env/products/photosynthesis/LI-6800/> (letöltés: 2023.10.20.)

Internet 8: <https://agriculture.trimble.com/en/products/hardware/flow-application-control/greenseeker-handheld-crop-sensor> (letöltés: 2023.10.20.)

Internet 9: <https://www.dji.com/hu/phantom-4> (letöltés: 2023.10.20.)

Internet 10: <https://imaging.nikon.com/sport-optics/lineup/laser/forestryproii/> (letöltés: 2023.10.20.)

Törvények, kormányrendeletek

2009. évi XXXVII. törvény az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról

2007. évi CXXIX. törvény a termőföld védelméről

135/2017. (VI.9.) Kormányrendelet a fás szárú ültetvényekről

38/2021. (II. 2.) Kormányrendelet a pilóta nélküli légitársaságok repüléséről

11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**
H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/504/2023.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Ábri Tamás
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10071654

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvek (1)

1. Rédei, K., **Ábri, T.**, Bach, I., Borovics, A., Keserű, Z.: Szelektált akácfajták termesztési technológiája. 2. kiad., Erdészeti Tudományos Intézet; MED-KÖR Bt., Kecskemét, 54 p., 2023. ISBN: 9786150179995

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

2. **Ábri, T.**, Keserű, Z., Rédei, K.: A 'Nyírségi' akác (*Robinia pseudoacacia* 'Nyírségi') növekedési viszonyai.
Erdészettudományi Közlemények. 12 (1-2), 31-42, 2022. ISSN: 2062-6711.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17164/EK.2022.02>

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

3. **Ábri, T.**, Csajbók, J.: Comparative study of newly-bred black locust clones with regard to photosynthetic rate and water use efficiency: early evaluation.
Agrártud. Közl. 1, 5-10, 2023. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/112256>
4. Keserű, Z., Borovics, A., **Ábri, T.**, Rédei, K., Lee, I. H., Lim, H.: Growing of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Candidate Cultivars on Arid Sandy Site.
Acta Silv. Lign. Hung. 17 (1), 51-61, 2021. ISSN: 1786-691X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.37045/aslh-2021-0004>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

5. **Ábri, T.**, Cseke, K., Keserű, Z., Porcsin, A., Szabó, F. M., Rédei, K.: Breeding and improvement of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) with a special focus on Hungary: a review.
iForest. 16 (5), 290-298, 2023. EISSN: 1971-7458.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3832/ifer4254-016>
IF: 1.7 (2022)





6. **Ábri, T.**, Borovics, A., Csajbók, J., Kovács, E., Koltay, A., Keserű, Z., Rédei, K.: Differences in the Growth and the Ecophysiology of Newly Bred, Drought-Tolerant Black Locust Clones. *Forests*. 14 (9), 1-19, 2023. EISSN: 1999-4907.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/f14091802>
IF: 2.9 (2022)
7. **Ábri, T.**, Keserű, Z., Borovics, A., Rédei, K., Csajbók, J.: Comparison of Juvenile, Drought Tolerant Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Clones with Regard to Plant Physiology and Growth Characteristics in Eastern Hungary: Early Evaluation. *Forests*. 2022 (13), 1-15, 2022. ISSN: 1999-4907.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/f13020292>
IF: 2.9
8. **Ábri, T.**, Keserű, Z., Rásó, J., Rédei, K.: Stand structure and growth of *Robinia pseudoacacia* 'Jászkiséri' - 'Jászkiséri' black locust. *J. For. Sci.* 67 (10), 489-497, 2021. ISSN: 1212-4834.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17221/57/2021-JFS>

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

9. **Ábri, T.**, Koltay, A.: Új akácklónok növényegészségügyi vizsgálatának előzetes eredményei. In: I. Magyar Agrártudományi Doktoranduszok Szimpóziuma 2023: Absztraktkötet. Szerk.: Hajdú Péter, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Debrecen, 37, 2023. ISBN: 9786156457189

További közlemények

Magyar nyelvű könyvrészetek (2)

10. **Ábri, T.**: Szelektált akácklónokkal létesített akác iparifa ültetvény faállomány-szerkezeti és NDVI vizsgálatának kezdeti eredményei =: Stand structure and NDVI study of selected black locust clones in an industrial tree plantation : early evaluation. In: Erdészeti Tudományos Konferencia : Konferencia Kiadvány. Szerk.: Czímber Kornél, Soproni Egyetemi Kiadó, Sopron, 46-52, 2022. ISBN: 9789633344200
11. **Ábri, T.**, Csajbók, J., Rédei, K., Borovics, A., Tamba, M., Keserű, Z.: Szelektált akácklónokkal létesített akác iparifa ültetvény növényéletlani és faállomány-szerkezeti vizsgálatának kezdeti eredményei. In: Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Napja : Tudományos Eredmények a gyakorlatban / Csiha Imre; Csiha Sára, Alföldi Erdőkért Egyesület, Püspökladány, 89-103, 2021. ISBN: 9786158059480





Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (10)

12. Rédei, K., **Ábri, T.**: A simplified growing model for mixed black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and poplar (*Populus* spp.) plantations in the Danube-Tisza Interfluve.
Agrártud. Közl. 1, 97-100, 2023. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/12385>
13. Rédei, K., **Ábri, T.**: Productivity of thinned black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stands in Hungary: case studies.
Agrártud. Közl. 1, 181-186, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/10638>
14. Szabó, F. M., Rásó, J., **Ábri, T.**, Juhász, L., Rédei, K.: Volume of Paulownia Shan Tong (*Paulownia fortunei* x *Paulownia tomentosa*) plantation in Eastern Hungary: a case study.
Agrártud. Közl. 2022 (2), 43-46, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/2/11336>
15. Rédei, K., **Ábri, T.**: Increment analysis in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stand: a case study.
Int. j. hortic. sci. 27, 106-109, 2021. ISSN: 1585-0404.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31421/ijhs/27/2021/8302>
16. Szabó, F. M., **Ábri, T.**, Rédei, K.: Yield and crown structure characteristics in a red oak (*Quercus rubra* L.) stand: Case study.
Agrártud. Közl. 2, 49-53, 2021. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/2/9801>
17. Rédei, K., **Ábri, T.**, Szabó, F. M., Keserű, Z.: Yield table for selected black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) cultivars.
Agrártud. Közl. 1, 193-198, 2021. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/8854>
18. Rédei, K., **Ábri, T.**, Szabó, F. M., Keserű, Z.: Angle-count sampling method for estimating forest stand volume: a practical approach.
Agrártud. Közl. 2, 99-102, 2020. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/2/7900>
19. Rédei, K., Keserű, Z., Bach, I., Rásó, J., **Ábri, T.**, Szabó, F. M., Gál, J.: Management of *Robinia pseudoacacia* cv. 'Üllői'-'Üllői' locust.
Acta Silv. Lign. Hung. 16 (1), 9-18, 2020. ISSN: 1786-691X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.37045/aslh-2020-0001>
20. Rédei, K., Rásó, J., **Ábri, T.**, Keserű, Z.: The effects of tending cuttings on yield and value changes in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stands: a case study.
Agrártud. Közl. 1, 111-113, 2020. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/3779>





21. Tóth, M., Szarukán, I., Nagy, A., **Ábri, T.**, Katona, V., Körösi, S., Nagy, T., Szarvas, Á., Koczor, S.: An improved female-targeted semiochemical lure for the European corn borer *Ostrinia nubilalis* Hbn.
Acta Phytopathol. Entomol. Hung. 51 (2), 247-254, 2016. ISSN: 0238-1249.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/038.51.2016.2.9>
- Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (6)
22. Kőbölkuti, Z. A., Tóth, E. G., Keserű, Z., Fike, J. H., Bolla, B., **Ábri, T.**, Borovics, A., Benke, A., Cseke, K.: Genome-wide SNP discovery in native American and Hungarian *Robinia pseudoacacia* genotypes using next-generation double-digest restriction-site-associated DNA sequencing (ddRAD-Seq).
Tree Genetics & Genomes. 19 (2), 1-5, 2023. ISSN: 1614-2942.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11295-023-01589-8>
IF: 2.4 (2022)
23. Honfy, V., Pödör, Z., Keserű, Z., Rásó, J., **Ábri, T.**, Borovics, A.: The effect of tree spacing on yields of Alley Cropping Systems: A case study from Hungary.
Plants-Basel. 12 (3), 1-19, 2023. EISSN: 2223-7747.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants12030595>
IF: 4.5 (2022)
24. **Ábri, T.**, Rédei, K.: Analyses of periodic annual increment by diameter and volume in differently aged black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stands: Case study.
J. For. Sci. 68 (6), 213-219, 2022. ISSN: 1212-4834.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17221/25/2022-JFS>
IF: 1.1
25. Honfy, V., **Ábri, T.**, Juhász, L., Rásó, J., Keserű, Z., Rédei, K.: A simplified method for application of natural regeneration in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stands in Hungary.
J. For. Sci. 67 (2), 66-70, 2021. ISSN: 1212-4834.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17221/147/2020-JFS>
26. **Ábri, T.**, Keserű, Z., Szabó, F. M., Rédei, K.: Structure of black walnut (*Juglans nigra* L.) stands on sandy soils in Hungary.
J. For. Sci. 67 (6), 298-305, 2021. ISSN: 1212-4834.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17221/205/2020-JFS>
27. Tóth, M., Szarukán, I., Nagy, A., Furlan, L., Benvegnù, I., Rak, C. M., **Ábri, T.**, Keki, T., Körösi, S., Pogonyi, A., Toshova, T., Velchev, D., Atanasova, D., Kurtulus, A., Kaydan, B. M., Signori, A.: European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hbn., Lepidoptera: Crambidae): comparing the performance of a new bisexual lure with that of synthetic sex pheromone in five countries.
Pest Manag. Sci. 73 (12), 2504-2508, 2017. ISSN: 1526-498X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.4645>
IF: 3.249





Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

28. **Ábri, T.**, Rásó, J., Szabó, G.: Akác állomány különböző ültetési hálózatainak összehasonlító elemzése térinformatikai módszerrel.
In: Tavaszi Szél = Spring Wind 2019. Szerk.: Bihari Erika, Molnár Dániel, Szikszai-Németh Ketrin, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 14-21, 2020. ISBN: 9786155586606

Idegen nyelvű konferencia közlemények (2)

29. **Ábri, T.**, Csajbók, J., Cseke, K., Kőbölkuti, Z. A., Tóth, E. G., Keserű, Z.: Growing technology and genetic testing of newly-bred black locust cultivar candidates in Hungary: A review.
In: 10th hardwood conference proceedings: Sopron, Hungary, 12-14 October 2022, Soproni Egyetemi Kiadó, Sopron, 12-20, 2022. ISBN: 9789633344460
30. Keserű, Z., Borovics, A., Rásó, J., Támba, M., **Ábri, T.**, Rédei, K.: Promising black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) variety-candidates in Hungary: a short review.
In: Proceedings of Central European Silviculture: 21st International Conference. Ed.: Dusan Kacálek, Jitka Soucková, Alena Hvezdová, Jiri Novák, Forestry and Game Management Research Institute, Strnady, Dobruska, 51-58, 2021. ISBN: 9788074172144

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

31. **Ábri, T.**: Szelektált akácklónokkal létesített akác iparifa-ültetvény faállomány-szerkezeti és NDVI vizsgálatának kezdeti eredményei.
In: Erdészeti Tudományos Konferencia : Kivonatok kötete. Összeáll.: Czímber Kornél, Soproni Egyetem, Sopron, 12, 2022.
32. Cseke, K., **Ábri, T.**, Kőbölkuti, Z. A., Tóth, E. G., Benke, A., Molnár, T., Porcsin, A., Keserű, Z.: Új kutatási irányok a hazai akácnevelésben.
In: XXVIII. Növénynevelési Tudományos Napok: Összefoglaló kötet. Szerk.: Polgár Zsolt, Karsai Ildikó, Bóna Lajos, Matuz János, Taller János, Magyar Növénynevelők Egyesülete, Keszthely, 98, 2022. ISBN: 9789632699875





Ismeretterjesztő, népszerűsítő cikkek (1)

33. Borovics, A., Keserű, Z., Rédei, K., **Ábri, T.**, Rásó, J., Támba, M.: Szinkronban a gyakorlat és a kutatás az akáctermesztés innovációs fejlesztésében: A Napkori Erdőgazdák Zrt. és a SOE ERTI együttműködése.

Erdészeti Lapok. 157 (3), 86-89, 2022. ISSN: 1215-0398.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 18,749

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
7,5**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2023.11.09.



12. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőimnek Prof. Dr. Csajbók József és Prof. Dr. Rédei Károly egyetemi tanároknak, akik hasznos szakmai tanácsaikkal és útmutatásaikkal segítették munkám előrehaladását.

Köszönöm Dr. Keserű Zsolt, tudományos főmunkatársnak, osztályvezetőnek (Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, Ültetvénytudományi Osztály), hogy a munka során ellátott hasznos tanácsokkal. Továbbá köszönöm az Erdészeti Tudományos Intézet dolgozóinak, akik együttműködésükkel segítettek a kutatásom előrehaladását.

Köszönettel tartozom Dr. Szabó Gergely, egyetemi docensnek a távérzékeléses állományvizsgálatban nyújtott segítségéért.

Köszönöm a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Növénytudományi Intézet, Természetvédelmi Állattani és Vadgazdálkodási Tanszék, valamint a Kerpely Kálmán Doktori Iskola ügyintézőinek a különböző beszerzések és megrendelések lobonyolítását.

Köszönetem fejezem ki a Kooperatív Doktori Program KDP-2020 (NKFIH) támogatásáért.

Végezetül köszönöm családomnak, barátaimnak, páromnak, Enikőnek, akik mindvégig támogattak, bátorítottak és motiváltak a tanulmányaim, munkám és az értekezés elkészítése során.

13. NYILATKOZAT

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2024.

.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Ábri Tamás doktorjelölt 2020-2024 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányítással/irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom/javasoljuk.

Debrecen, 2024.....

.....
a témavezető(k) aláírása

14. MELLÉKLET

Ábrajegyzék

1. ábra	A legfontosabb erdészeti fafajok megoszlása Magyarországon (NFK, 2022) .	11
2. ábra	Akácok elterjedése Magyarországon (NFK, 2022).....	12
3. ábra	Szelektált akácfajtákkal létesített kísérleti ültetvények elhelyezkedése	43
4. ábra	A 'Nyírségi', 'Üllői' és 'Jászkiséri' kísérleti faállományok megoszlása az egészállomány magassága és a kor függvényében, a szelektált akácfajtákra kidolgozott fatermési tábla (Rédei et al., 2021 alapján) magassági görbéin.....	64
5. ábra	Az 'Üllői', a 'Nyírségi' és a 'Jászkiséri' kísérleti faállományok magassága és kora közötti összefüggés	65
6. ábra	Az 'Üllői', a 'Nyírségi' és a 'Jászkiséri' kísérleti faállományok mellmagassági átmérője és kora közötti összefüggés.....	66
7. ábra	Az 'Üllői', a 'Nyírségi' és a 'Jászkiséri' kísérleti faállományok törzsszáma és mellmagassági átmérője közötti összefüggés	66
8. ábra	Az 'Üllői', a 'Nyírségi' és a 'Jászkiséri' kísérleti faállományok törzsszáma és kora közötti összefüggés	67
9. ábra	Az 'Üllői', a 'Nyírségi' és a 'Jászkiséri' kísérleti faállományok átlagfa-térfogata és mellmagassági átmérője közötti összefüggés	67
10. ábra	A szentkirályi 'Üllői' akác megoszlása erdőnevelési osztályozás szerint (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)	69
11. ábra	35 éves 'Üllői' akác egészállomány egyes fainak (n = 38) átlagfa-térfogat és mellmagassági körlap értékei közötti lineáris összefüggés (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)	72
12. ábra	35 éves 'Üllői' akác egészállomány egyes fainak (n = 29) koronaátmérő és mellmagassági törzsátmérő értékei közötti lineáris összefüggés (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.).....	72
13. ábra	35 éves 'Üllői' akác egészállomány egyes fainak (n = 38) magasság és mellmagassági törzsátmérő értékei közötti összefüggés (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)	73
14. ábra	35 éves 'Üllői' akác egészállomány egyes fainak (n = 29) átlagfa-térfogat és koronaátmérő értékei közötti összefüggés (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.).	74

15. ábra	'Homoki', 'Vacsi', 'Bácska' és 'Oszlopos' fajtajelöltek magasság értékei a kor függvényében a közönséges akácra kidolgozott fatermési tábla (Rédei, 1984) magassági görbéin.....	77
16. ábra	A 4 × 4 m-es ültetési hálózatban vizsgált klónok magasság (cm) és tőátmérő (mm) értékei, valamint a két paraméter közötti lineáris kapcsolat (Napkor, 2021.05.06.)	78
17. ábra	A 3 × 3 m-es ültetési hálózatban vizsgált klónok magasság (cm) és tőátmérő (mm) értékei, valamint a két paraméter közötti lineáris kapcsolat (Napkor, 2021.05.06.)	79
18. ábra	A 2,5 × 2,5 m-es ültetési hálózatban vizsgált klónok magasság (cm) és tőátmérő (mm) értékei, valamint a két paraméter közötti lineáris kapcsolat (Napkor, 2021.05.06.)	79
19. ábra	A 2022-es év havi átlag hőmérsékletének és csapadékmennyiségének alakulása, összevetve a 2021-es évvel (az OMSZ Nyíregyháza-Napkor meteorológiai állomásának adatai alapján)	82
20. ábra	Az erdészeti aszályossági index (FAI) alakulása 2003-2022 közötti időszakban az OMSZ Nyíregyháza-Napkor meteorológiai állomásának adatai alapján, a sárga vonal az erdőszytepp klíma alsó határát, még a piros vonal a vizsgált időszak átlagos FAI értékét jelöli.....	83
21. ábra	A Hőmérséklet-Csapadék Faktor (HCSF) alakulása 2003-2022 közötti időszakban az OMSZ Nyíregyháza-Napkor meteorológiai állomásának adatai alapján, a piros vonal a vizsgált időszak átlagos HCSF értékét jelöli.....	84
22. ábra	A vizsgált klónok megmaradása (%) (Napkor, 2022.04.11.)	85
23. ábra	A vizsgált klónok összehasonlítása magasság (m) szerint a 3 ültetési hálózatban, ±standard hiba, a betűk a klónok közti szignifikáns különbséget jelölik $p = 5\%$ szinten (Napkor, 2022.04.11.)	86
24. ábra	A vizsgált klónok összehasonlítása magasság (m) szerint 30 mintafa alapján ($n = 30$) a 2,5 × 2,5 m ültetési hálózatban, ±standard hiba, a betűk a klónok közti szignifikáns különbséget jelölik $p = 5\%$ szinten (Napkor, 2022.06.20.)	87
25. ábra	A vizsgált klónok összehasonlítása mellmagasságban (1,3 m) mért törzsátmérő (mm) szerint 30 mintafa alapján a 2,5 × 2,5 m ültetési hálózatban, ±standard hiba, a betűk a klónok közti szignifikáns különbséget jelölik $p = 5\%$ szinten (Napkor, 2022.06.20.).....	87

26. ábra A vizsgált klónok összehasonlítása magassági (m) növekedésük alapján alapján a 2,5 × 2,5 m ültetési hálózatban (Napkor, 2022. május-augusztus).....	89
27. ábra A vizsgált klónok összehasonlítása vastagsági (mellmagassági átmérő, mm) növekedésük alapján a 2,5 × 2,5 m ültetési hálózatban (Napkor, 2022. május-augusztus)	89
28. ábra A vizsgált akácklónok levegő- és levélhőmérsékletének ($T_{\text{levegő}}-T_{\text{levél}}$) különbsége a transzspiráció függvényében (2021. június 29. és 2022. június 29.); klónonként 18 mérés átlaga, ± standard hiba (Napkor)	92
29. ábra A klónok összehasonlítása $VPD_{\text{levél}}$ és sztómakonduktancia (g_{tc}) értékeik alapján, valamint a két vizsgálat paraméter közötti lineáris kapcsolat (Napkor, 2021.06.29.)	93
30. ábra A klónok összehasonlítása 2. fotokémiai rendszerük (PSII) hatásfoka (%) alapján, ±standard hiba, a betűk a klónok közti szignifikáns különbséget jelölik $p = 5\%$ szinten (Napkor, 2022.06.29.)	94
31. ábra Az 'NK2', 'PL251' és 'Üllői' akác megvilágítási görbéje (Napkor, 2023.06.30.): asszimilációs ráta a PPFD függvényében; PPFD = Photosynthetic Photon Flux Density (fotoszintetikus fotonáram-sűrűség)	101
32. ábra Az 'NK2', 'PL251' és 'Üllői' akác megvilágítási görbéje (Napkor, 2023.06.30.): PSII a PPFD függvényében; PPFD = Photosynthetic Photon Flux Density (fotoszintetikus fotonáram-sűrűség)	102
33. ábra A vizsgált klónok ($n = 10$ db/hó) NDVI (Normalizált Differenciális Vegetációs Index) értékeinek alakulása 2021 május és szeptember közötti időszakban (Napkor, 2021).....	103
34. ábra A kísérleti terület domborzatmodellje (Napkor, 2022.02.16.).....	104
35. ábra A vizsgált klónok ($n = 30$ fa/klón) összehasonlítása magasság (m) szerint a 2,5 × 2,5 m-es ültetési hálózatban, ±standard hiba, a betűk a klónok közötti szignifikáns különbséget jelölik $p = 5\%$ szinten (Napkor, 2023.08.16.)	106
36. ábra A vizsgált klónokon végzett növényegészségügyi vizsgálat összegzése (Napkor, 2022.09.12.) (Koltay, 2009 alapján).....	112

Képjegyzék

1. kép Talajszelvény a napkori kísérleti területen (Dr. Keserű Zsolt, Napkor, 2019)...	48
2. kép Ortofotó a napkori kísérleti területről (Dr. Szabó Gergely, Napkor, 2023.08.16.). A számok a vizsgált klónokat (1 – PL251; 2 – NK1; 3 – PL040; 4 – NK2; 5 – 'Üllői'), a betűk az ültetési hálózatokat (a – 2,5 × 2,5 m; b – 3 × 3 m; c – 4 × 4 m) jelölik.	50
3. kép LI-6800 hordozható fotoszintézis mérőműszer (Saját fotó, Napkor, 2022.06.29.)	54
4. kép Akác fomopszizsos kéregrák tünete az NK2-es klónon (Saját fotó, Napkor, 2022.09.12.)	110
5. kép Koronatörés egy 4 × 4 m ültetési hálózatban lévő PL251-es klónon (Saját fotó, Napkor, 2022.06.16.)	111

Táblázatjegyzék

1. táblázat Az ültetvénytípusú akáctermesztésre számításba vehető termőhelytípus- változatok a kocsánytalan tölgyes, illetve cseres klímában (Járó és Lengyel, 1984; Rédei, 2009 alapján)	23
2. táblázat Az ültetvénytípusú akáctermesztésre számításba vehető termőhelytípus- változatok az erdősztyepp klímában (Járó és Lengyel, 1984; Rédei, 2009 alapján)	23
3. táblázat Az 'Üllői' akác és a közönséges akác főállományra vonatkozó szerkezeti és az egészállományra vonatkozó minőségi adatai 17 éves korban (Mikebuda 22D erdőrészlet) (Rédei, 2008 alapján)	36
4. táblázat Szelektált akácfaajtákkal létesített faültvények növtér-bővítési modelljei (2,5 m × 2,0 m ültetési hálózatban) (Rédei 2008 alapján)	37
5. táblázat Szelektált akácfaajtákkal létesített faültvények növtér-bővítési modelljei (3,0 m × 3,0 m ültetési hálózatban) (Rédei 2008 alapján)	38
6. táblázat Az 'Üllői', 'Nyírségi' és 'Jászkiséri' akác állományok termőhelytípus- változata (Keresztesi, 1988; Rédei, 1994; 2006; 2008; Csiha et al., 2016; Rédei et al. 2020; Ábri et al. 2021; 2022a alapján)	44
7. táblázat Az 'Üllői', 'Nyírségi' és 'Jászkiséri' akác állományok fontosabb dendrometriai jellemzői (Keresztesi, 1988; Rédei, 1994; 2006; 2008; Csiha et al., 2016; Rédei et al. 2020; Ábri et al. 2021; 2022a alapján)	61

8. táblázat A szentkirályi 'Üllői' akácállomány legfontosabb dendrometriai paraméterei 13, 20 (Rédei 2008 alapján) és 35 éves korban (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.).....	68
9. táblázat Faállomány-szerkezeti tényezők nevelési osztály szerint (35 éves korban) (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)	69
10. táblázat PAI (H, D _{1,3} , V) változása 13 és 20, valamint 20 és 35 év között (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)	70
11. táblázat Faállomány szerkezeti tényezők magassági osztályonként (35 éves korban) (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.).....	70
12. táblázat Koronaszerkezet jellemzői magassági osztályonként (35 éves korban) (Szentkirály 47H erdőrészlet, 2022.01.25.)	71
13. táblázat 'Vacsi', 'Homoki' fajtajelöltek legfontosabb dendrometriai jellemzői 15 éves korban, összevetve a közönséges akáccal (kontroll) a Helvécia 22E/1 erdőrészletben (2021.01.07.) (átlag±szórás).....	75
14. táblázat 'Bácska', 'Oszlopos' fajtajelöltek legfontosabb dendrometriai jellemzői 14 éves korban, összevetve a 'Jászkiséri' akáccal a Helvécia 22E/2 erdőrészletben (2021.01.07.) (átlag±szórás)	76
15. táblázat A klónok magassága (H) és tőátmérője (D _{tő}) (átlag±szórás), valamint magassági (H _{növ}) és vastagsági (D _{tő növ}) növekedése a vizsgált időszak (2021. május és november) alatt. Az n1 a májusi, az n2 a novemberi állományfelvételek során mért egyedek számára utal. A kis (2021. májusi mérés) és nagy (2021. novemberi mérés) betűk a vizsgált paraméterek közötti szignifikáns különbségeket (p = 0,05) jelölik (Napkor, 2021).....	81
16. táblázat A klónok (n = vizsgált mintafák száma) magassági (H _{növ}) és vastagsági (1,3 m magasságban mért törzsátmérő) (D _{növ}) növekedése a vizsgált időszak (2022. május-augusztus) alatt. Átlag (\bar{x}), szórás (SD), standard hiba (S.E.). A kis betűk a klónok közti szignifikáns különbséget jelölik p = 5% szinten (Napkor, 2022).....	88
17. táblázat NK1, NK2, PL040 és PL251 fajtajelöltek, valamint az 'Üllői' akác fitofiziológiai paramétereinek (T _{levegő} -T _{levél} , A, Tr, g _{tc} , C _i , VPD _{levél} , WUE) mérési eredményei, 18 mérés átlaga±szórás, a betűk a klónok közötti szignifikáns (p = 0,05) különbséget jelölik (Napkor, 2021.06.29.)	90
18. táblázat NK1, NK2, PL040 és PL251 fajtajelöltek, valamint az 'Üllői' akác fitofiziológiai paramétereinek (T _{levegő} -T _{levél} , A, Tr, g _{tc} , C _i , VPD _{levél} , WUE) mérési	

eredményei, 18 mérés átlaga±szórás, a kis betűk a klónok közötti szignifikáns ($p = 0,05$) különbséget jelölik (Napkor, 2022.06.29.)	91
19. táblázat A vizsgált fajtajelöltek, valamint az 'Üllői' akác fitofiziológiai paraméterei (A , C_i , g_{sw} , Tr , $T_{levegő}$ - $T_{levél}$, $VPD_{levél}$, WUE) közötti összefüggés (Napkor, 2021.06.29.)	96
20. táblázat A vizsgált fajtajelöltek, valamint az 'Üllői' akác fitofiziológiai paraméterei (A , C_i , g_{sw} , Tr , $T_{levegő}$ - $T_{levél}$, $VPD_{levél}$, WUE) közötti összefüggés (Napkor, 2022.06.29.)	99
21. táblázat Magasságmérő eszközök összehasonlítása, átlag (\bar{x}), szórás (SD), minimum (Min), maximum (Max) érték, a kis betűk az eszközök közti szignifikáns különbséget jelölik $p = 0,05$ szinten (Napkor, 2022.06.16.).....	105
22. táblázat A különböző magasságmérő eszközökkel mért értékek közötti összefüggés ($p = 1\%$ -on szignifikáns) vizsgálata Spearman korrelációval, 30 mintafa alapján ($n = 30$). A piros szín erős, a zöld közepes korrelációra utal (Napkor, 2022.06.16.).....	105
23. táblázat Vizsgált klónok ($n = 30$ fa/klón) összehasonlítása NDVI és GNDVI értékük (átlag±szórás) alapján, a betűk a klónok közti szignifikáns különbséget jelölik $p = 5\%$ szinten (Napkor, 2023.08.16.).....	107