

37. OTDK Biológia Szekció

Állatorvostudományi Egyetem

Biostatisztika Tanszék

**Természetvédelmi célú léknyítások hatásai
cseres-tölgyes erdő újulatára**

Készítette: Szilágyi Sarolta

Biológia BSc II. évfolyam

Témavezető: Dr. Tinya Flóra

Tudományos munkatárs

Ökológiai Kutatóközpont

Ökológiai és Botanikai Intézet

Belső konzulens: Dr. Elek Zoltán

Biostatisztika Tanszék

Budapest, 2023

Tartalomjegyzék

Rövidítések jegyzéke	3
1. Bevezetés és irodalmi áttekintés	4
1.1. Vágásos üzemmód.....	4
1.2. A folyamatos erdőborítást fenntartó gazdálkodás	5
1.3. Természetvédelmi erdőkezelések	6
1.4. Lékek.....	7
2. Célkitűzések	8
3. Anyag és Módszer	8
3.1. A vizsgálati terület.....	8
3.2. Természetvédelmi beavatkozások	9
3.3. Terepi mintavétel.....	10
3.4. Adatok előkészítése és statisztika.....	12
4. Eredmények.....	13
4.1. Négy éves növekmények alakulása a mesterséges lék és zárterdei kontroll területek között	13
4.2. A csemeték magasságának és töltmérőljének alakulása 2019 és 2023 között a mesterséges lék és zárterdei kontroll területeken.....	18
4.3. Lombkorona-záródáshiány hatása a csemeték növekményére.....	20
5. Diskusszió és kitekintés.....	24
5.1. A kezelések és a záródáshiány hatása a csemeték növekedésére	24
5.2. Az egyes fafajok kezelésekre adott válasza	24
5.3. Konklúzió, gyakorlati vonatkozások	26
6. Összefoglaló magyar és angol nyelven	27
6.1. Összefoglaló	27
6.2. Effects of conservation-oriented gap openings on seedlings in Pannonian-Balkan oak-sessile oak forests - Summary.....	28
Irodalomjegyzék	29
Köszönetnyilvánítás	32

Rövidítések jegyzéke

ÖK ÖBI – Ökológiai Kutatóközpont, Ökológiai és Botanikai Intézet

BNPI – Bükk Nemzeti Park Igazgatóság

KTT – kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* L.)

CS – csertölgy (*Quercus cerris* L.)

GY – gyertyán (*Carpinus betulus* L.)

MJ – mezei juhar (*Acer campestre* L.)

HB – házi berkenye (*Sorbus domestica* L.)

CO – Záródáshiány érték (Canopy openness)

LK – (mesterséges) lék terület

KK – (zárterdei) kontroll terület

1. Bevezetés és irodalmi áttekintés

Hazánk 6,5%-át borítják tölgyfajok által dominált erdők, a második legnagyobb elterjedéssel a cseres-kocsánytalan tölgyes erdők rendelkeznek (Bölöni et al. 2011, Nemzeti Földügyi Központ Erdészeti Főosztály 2022). Ezek létfontosságú és változatos élőhelyeket biztosítanak, értékes faanyagot szolgáltatnak, továbbá rekreációs funkciókat is betöltenek (Guyot et al. 2016, Löf et al. 2015). Az erdőtervi előírásoknak megfelelően különböző üzemmódok szerint folyik a gazdálkodás, amik erősen befolyásolják az erdők szerkezetét és fafaji összetételét. Azok a módszerek, amik elsősorban gazdasági célokat szolgálnak, nem törekszenek az erdei mikroélőhelyek és a biodiverzitás megőrzésére (Löf et al. 2015). Napjainkban a legtöbb faállományt (kivéve a termőhelyi okokból nyílt erdőket) felújítástól véghasználatig a lehetséges maximális mértékben zártan igyekeznek tartani (Tímár 2016).

1.1. Vágásos üzemmód

A vágásciklusokra épülő erdőgazdálkodás nagyjából 150 éve terjedt el Magyarországon. Az erdőfelújítás – állománynevelés – véghasználat ciklusokkal egy egykorú, homogén térszerkezetű faállományt hoznak létre. A felújítás lehet természetes, a vágásterületen lévő spontán újulatból, vagy mesterséges, ültetett maggal vagy csemetével. A különböző erdőgazdálkodási munkák üzemtervi alkalmazása a faállomány korához kötődik. A csemetés és fiatalos átesik ápoláson és tisztító vágáson, ezeknek célja a tőszámapasztás, a nem kívánatos fajok, töben elágazó, beteg egyedek kiválogatása. Eredménye egy, a célfafajt felsőlombkoronában, elegyfaját csak az alsó lombkoronában tartalmazó erdő. Ezt követi a törzskiválasztó gyérítés és a növedékfokozó gyérítés. A törzskiválasztó gyérítés és a növedékfokozó gyérítés fő célja az érték fafajok jó minőségű egyedeinek kiválogatása, megsegítése, a növekedésüket gátló fák eltávolítása. A kivágott fákat mindkét esetben hasznosítják. Ezek az előhasználatok jelentősen hozzájárulnak a homogén erdők kialakulásához. Készletgondozó használat nem igazán elterjedt, pedig lehetőséget adna az erdő biológiai diverzitását növelő, átalakító jellegű beavatkozásokra. A vágásérettségi kor elérésével következik az erdő véghasználata, ami egyszeri tarvágással, vagy fokozatos felújítóvágás esetén bontóvágásokkal és végvágásokkal történik a természetes újulat megjelenése szerint. Ezek után a vágásterületen újból felújítják az erdőt. Magyarországon a tarvágás elsősorban az alföldi erdők kezelésére jellemző, a domb- és hegyvidéki területeken fokozatos felújítóvágás az elterjedt (Gálhidy 2008, Tímár 2016).

A vágásos gazdálkodás egy hosszútávra tervezett, ellenőrzött rendszer, ami ugyan sematikus, de 200 éve bevezette a tartamosság (fenntarthatóság) fogalmát, igaz, elsősorban gazdasági érdekekből. Fontos megjegyezni, hogy a faanyagtermelés fenntarthatósága nem egyezik meg az ökológiai fenntarthatósággal (Gálhidy 2008). Az üzemmód elsődleges célja a gazdaságilag értékes faanyag termelése. Erdeink faállományának szerkezete és összetétele a vágásos gazdálkodás hatására jelentős homogenizáción ment keresztül az elmúlt évszázadokban, ami az erdei mikroélőhelyek csökkenése miatt a biodiverzitás szempontjából is kedvezőtlen.

1.2. A folyamatos erdőborítást fenntartó gazdálkodás

A vágásos gazdálkodás egyik alternatívája a folyamatos erdőborítást fenntartó erdőgazdálkodás, vagy más néven örökerdő-gazdálkodás. A biodiverzitás megőrzését, az erdőklíma, talajvédelem és ökoszisztéma megfelelő működését támogatja. A gazdálkodási módszer lényege, hogy a beavatkozások kisebb térléptékben, ún. lékek nyitásával, de a vágásos üzemmódnál sokkal gyakoribb visszatérési idővel történnek. Ilyenkor építenek az erdő saját regenerációs folyamataira, a vágásérettséget egyedileg bírálják el, a termelés szálszámban vagy kis csoportokban történik. A léknyitások hatására természetes módon megindul a felújulás. A bolygatás (fakivágás) után kialakuló erdő nagyon hasonlít a természetes állapotú erdőkre. A folyamatos borítottság miatt az ilyen erdőket örökerdőknek nevezzük. (Gálhidy 2008, Johann 2006, Frank és Szmorad, 2014, Barina et al. 2015).

A jelenleg hatályos 2009. évi erdőtörvény összhangban a nemzetközi törekvésekkel, tovább ösztönzi a folyamatos erdőborítást biztosító természetközeli erdőgazdálkodási módszerek alkalmazását (Czirok és Szolnyik 2014). A folyamatos felújulás minden, az adott termőhelyre jellemző fafajnál megfigyelhető (Barina et al. 2015, Frank és Szmorad, 2014, Götmárk, 2007). Az erdő szerkezete változatosabb az életkor és a törzsátmérő eloszlás tekintetében. Kiemelten fontos a holtfa jelenléte, amelyek hozzájárulnak az erdő ökológiai egyensúlyához. A beavatkozások mozaikosan, időben szétszórtan történnek, különböző léknyitásokkal és sokszínű lombátorral rendelkező állományokat létrehozva. Az erdőgazdálkodásban olyan területek is megmaradnak, amelyek érintetlenek, és a természetes versengés dönti el, mely fák maradnak meg (Barina et al. 2015, Götmárk et al. 2005, Sebek et al. 2015). Az örökerdő kezelés során az állománynevelés, véghasználat és erdőfelújítás egyszerre történik, biztosítva az erdő folyamatos megújulását. Az idősebb fák részleges kivágása és a fiatalabb állomány strukturális szabályozása egyidejűleg zajlik. Ez változatos erdőképet eredményez, elősegítve az élőhelyi

elemek és mikrohabitatok kialakulását, ami kulcsfontosságú a biodiverzitás megőrzése szempontjából. 2021-ben Magyarország erdőterületének 1,6%-án folyt örökzöld gazdálkodás, de ez a szám évről-évre növekszik (Nemzeti Földügyi Központ Erdészeti Főosztály 2022).

1.3. Természetvédelmi erdőkezelések

Természetvédelmi szempontból nagy jelentőséggel bírnak a gazdálkodás alól kivont erdőterületek, ahol huzamosabb ideig háborítatlan, emberi beavatkozástól mentes környezetben fordulnak elő változatos, esetenként ritka fajok. Általánosan jellemző Európában az ilyen védett területek megléte, elsősorban nemzeti parkok belső, ún. magterületein; ezen erdőterületek, legalább részben, többé-kevésbé őserdő jellegűek (Gálhidy, 2008). A gazdálkodás alól frissen kivont erdőterületek egy részét érdemes lehet teljesen magára hagyni, hogy szabadon érvényesülhessenek a természetes folyamatok. Ez természetvédelmi szempontból is kívánatos lehet, de kutatási szempontból sem utolsó, mivel jelenleg nagyon kevés referencia áll rendelkezésre a természetes erdőket illetően. Fontos, hogy legyen lehetőség a természetes folyamatok tanulmányozására és erre a rezervátumok a legalkalmasabbak. A fennmaradó részekben viszont szükség lehet a természetesség aktív növelésére, mivel a vágásos üzemmód homogenizáló hatású, ennek a folyamatnak visszafordulása, a heterogenitás növekedése a gazdálkodás felhagyásával, spontán módon lassan megy végbe, de célzott természetvédelmi beavatkozásokkal felgyorsítható (Nordén 2012). A természetvédelmi erdőkezelések célja az adott területen lévő őshonos erdőállomány természetességi állapotának javítása. Biztosítja a természetes erdődinamikai folyamatok feltételeit, ezzel segítve a diverzitás kialakulását és megőrzését. Mindezt különböző holtfák létrehozásával (fák meggyűrűzése, fák kidöntése és visszahagyása, illetve koronák lerobbantása), inváziós fajok eltávolításával, elegyfajok segítségével, léknyitásokkal teszik, amivel egyúton változatos mikroélőhelyeket is kialakítanak. A természetvédelmi erdőkezelés alapvetően nem erdőgazdálkodási tevékenység. A folyamat során a fakitermelés soha nem célja, hanem eszköze az elvégzett kezelésnek (Frank és Szmorad 2014). Lékek nyitásával foltos mintázatban megindítható a felújulás, ami növeli az erdőszerkezet heterogenitását, az elegyfajok felnövekedése pedig változatosabb fafajösszetételt eredményez (Frank és Szmorad 2014, Löff et al. 2015, Tímár 2016).

1.4. Lékek

Természetes erdőkben a mérsékelt övben finom léptékű erdődinamika jellemző, hogy egyes fák vagy kisebb facsoportok elhalásával ún. lékek keletkeznek (Peterken 1996). A keletkező bolygatási foltok a zárt erdőhöz képest jelentősen eltérő környezeti viszonyokkal rendelkeznek. A lékek mérete és a környezeti tulajdonságok együttesen határozzák meg, hogy milyen mikroélőhelyek jönnek létre a lékekben. Ezek kulcsfontosságúak az erdő szukcessziós és erdődinamikai folyamataiban (Gálhidy 2016). A lékek kialakítása fontos eszköz a vágásos üzemmódból folyamatos erdőborítást fenntartó gazdálkodásra való átállás során. A lékek olyan területek az erdőben, ahol a lombsátorot alkotó valamely egyed elpusztult, és a csemeték révén megindult az aktív felújulás. Léknek nevezzük a kicsi bolygatási foltokat is, a megnyílt lombsátor alatti területeket. Kiterjesztett lék esetében a lék széleit a határoló fák törzsei jelölik ki. Ezesetben a lékbe részben beletartoznak a lombsátor alatti területek is. (Gálhidy, 2016). A lékekben tapasztalható megnövekedett fény, magasabb hőmérséklet és talajnedvesség (Horváth et al. 2023) segíti a természetes felújulás megindulását (Tinya et al. 2020), emellett az aljnövényzet és számos erdei élőlénycsoport változásait is eredményezi a zárt erdei körülményekhez képest. Az örökerdő gazdálkodás alapvető beavatkozási módja mesterséges lékek létrehozása, mivel ez kevésbé drasztikus mértékben alakítja át a mikroklímát és termőhelyi viszonyokat, mint a vágásos gazdálkodás véghasználata (Elek et al. 2018, Tinya et al. 2020). A léknyitás a természetvédelmi erdőkezeléseknek is fontos eleme. Az optimális lékkialakítás céljából többféle mérettel, alakkal, illetve tájolással folynak kísérletek (Horváth et al. 2023).

2. Célkitűzések

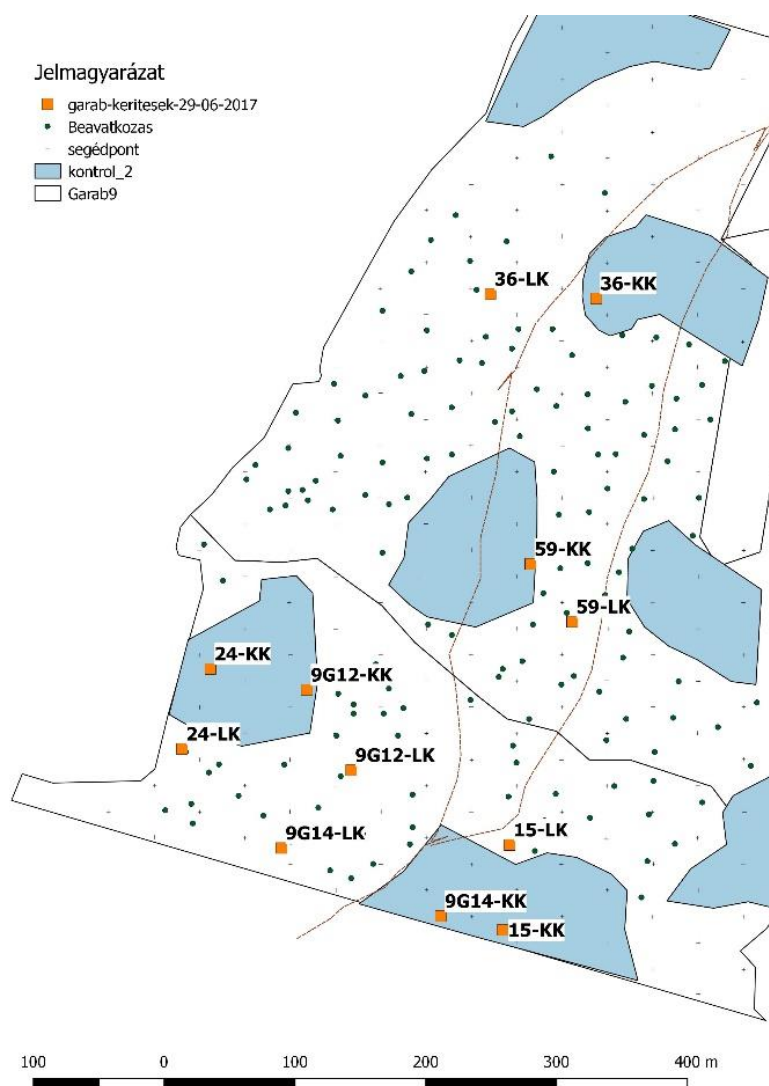
Kutatásom fő célja megismerni, hogy hogyan befolyásolják a természetvédelmi célú léknyítások cseres-kocsánytalan tölgyes erdők újulatának fejlődését. Három különböző fafaj (kocsánytalan tölgy - *Quercus petraea* L., mezei juhar - *Acer campestre* L. házi berkenye - *Sorbus domestica* L.) csemetéinek növekményét monitoroztam eltérő záródásviszonyok mellett: lékekben és zárt erdei kontroll területeken. Vizsgáltam továbbá, hogy az egyes fafajok a növekedése hogyan függ össze a lombkorona-záródáshiány mennyiségével.

A kutatás eredményei alapján a továbbiakban célunk természetvédelmi kezelések irányelveinek kidolgozása, valamint javaslattétel a jelenleg elterjedt vágásos erdőgazdálkodás alatt álló erdőterületek élőhelyeinek fejlesztésére.

3. Anyag és Módszer

3.1. A vizsgálati terület

A vizsgálati terület a Kelet-Cserhátban, Garáb község határban található, a varjúbérci 9/F és 9/G erdőállományokban. A területen főként cseres-kocsánytalan tölgyesek, gyertyános-kocsánytalan tölgyesek és ezek különböző mértékű átmenetei jellemzők. Ezen élőhelytípusok közül a jelen vizsgálatra kijelölt mintaterületek cseres-tölgyesekben (L2a élőhelykategória, Bölöni et al. 2011) helyezkednek el. A terület nyugati fekvésű, mérsékelt lejtésű (7,0-10,0°), 400-540 m tengerszint feletti magasságban található. Az éves átlaghőmérséklet 8,5 °C, az átlagos éves csapadékmennyiség 600 mm (Aszalós et al. 2020). Az andezit alapkőzetén található agyagbemosódásos barna erdőtalaj kedvező talajviszonyokat hoz létre (Führer et al. 2017).



1. ábra. A vizsgálati terület, a 2015-2026 telén elvégzett természetvédelmi beavatkozásokkal (zöld pontok), és azok érintetlen kontroll területeivel (kék foltok), valamint a jelen vizsgálatba bevont 12 mintaterület elhelyezkedése. KK - kontroll kvadrátok, LK - lék kvadrátok (ábra: Dr. Aszalós Réka).

3.2. Természetvédelmi beavatkozások

2015-2016 telén a Bükk Nemzeti Park Igazgatósága (BNPI) különböző természetvédelmi erdőkezeléseket alkalmazott a terület déli részén, nagyjából 15 hektárt érintve (1. ábra). A beavatkozásokkal az egységesen zárt lombkorona megbontása és a megfelelő mennyiségű holtfa és mikrohabitat kialakítása volt a cél, mindeközben törekedve az elegyarány növelésére. A beavatkozások között lábon álló- és fekvő holtfák, törzscsonkok és kéregsebzések létrehozása, valamint lékek nyitása szerepelt. Cserjecsoportok megsegítésére 75 fát távolítottak el. Lábon száradt holtfának 142 db kocsánytalan tölgy, 6 db csertölgy és 25 db gyertyán szolgált,

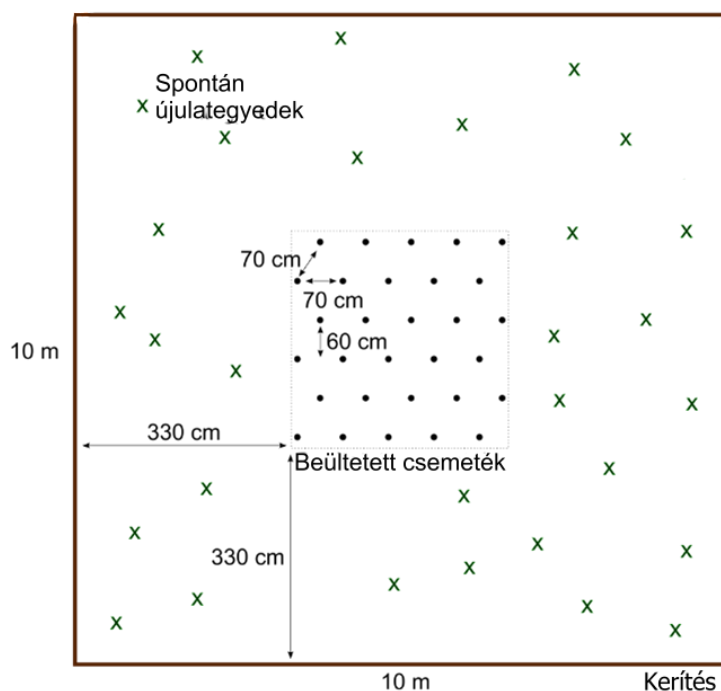
míg fekvő holtfának 95 db kocsánytalan tölgy és 6 db csertölgy. A kialakított lécek 200-420 m² területűek voltak (a szegélyező fák törzsei között). A léknyitások hatására az alsó szintekre jutó fény mennyisége megnő, így azok elősegíthetik a felújulás kis foltokban történő megindulását, és ezzel a faállomány többkorúvá, heterogénebbé válását. A holtfa-mennyiség növelésekor fontos szempont volt az elegyfajok arányának növelése a megmaradó állományban. A beavatkozások során termelt faanyag egy része (49%) a természetvédelmi kezelések költségeit finanszírozta, a területen maradt álló holtfa (25%), fekvő holtfa (24%) és magastuskó (2%) pedig holtfaként szolgál a vizsgálat során. A lábon álló holtfákat a kéreg hántásával, törzs gyűrűzésével alakították ki. A fekvő holtfákat élő faegyedek ledöntésével hozták létre, miközben alacsonyan vagy magasabban (1,0–1,7 m) hagytak tuskókat vagy törzscsonkokat. Az elszállított haszonfákat hasonlóan, tuskók vagy magascsonkok visszahagyásával vágták ki. Mikrohabitatok kialakítása céljából egyes faegyedeken kéreg felhasználásával tükörfoltokat alakítottak ki.

A mesterségesen kialakított lécek közül 6 lékben 2017-ben bekerítésre került egy-egy 10 m × 10 m-es terület. Az összes lék-mintaterület mellé kezeletlen állományrészekben kijelölésre került egy-egy zárterdei kontroll pár (ugyanúgy bekerítve), amelyek kijelölésekor fontos szempont volt, hogy a kontroll területen belül minél inkább a lékhez hasonló legyen a termőhely (meredekség, kövesség), és a faállomány. A kontroll mintaterületek ugyanolyan tájolásúak, mint a hozzájuk tartozó lécek. A bekerített területeken belül is előfordulnak magastuskók és fekvő holtfák. Állóholtfák csak a bekerített területeken kívül fordulnak elő.

3.3. Terepi mintavétel

2017-ben minden vizsgált mintaterületre kocsánytalan tölgy, mezei juhar és házi berkenye csemeték kerültek beültetésre, fafajonként 120 csemete (fajonként, mintaterületenként 10 egyed). Továbbá 120 kocsánytalan tölgy és 87 mezei juhar csemete is ki lett jelölve a spontán jelen lévő csemeték közül. (A természetes módon jelen lévő újulatban ez a két faj fordult elő statisztikailag értékelhető mennyiségben.) A kocsánytalan tölgy, mint a vizsgált erdők egyik állományalkotó fafaja – amelynek ökológiai és erdőgazdálkodási szerepe is kiemelkedő – elsődleges fontosságú volt a vizsgálatban. A természetes csertölgy újulat alacsony száma miatt ez a faj nem került be a vizsgálatba. Ugyanakkor, mivel a lécek az elegyfajok felújulása szempontjából is kedvezőek lehetnek – és részben ez a természetvédelmi léknyitások célja – bekerült a vizsgálatba a mezei juhar, mint az állomány egyik leggyakoribb elegyfaja. Bár a

természetes újulatban a varjúbérci állományban nem jellemző a házi berkenye, de általában a cseres-tölgyeseknek egy fontos és értékes elegyfaja, ezért ezen faj ültetett csemetéi is bekerültek a vizsgálatba. A beültetett csemeték a kerítések középső részére kerültek, szabályos rácspontos elrendezésben, egymástól 60-70 cm-re (2. ábra). Beültetéskor a csemeték magassága 20-50 cm volt. A beültetés utáni első évben az (feltehetően az ültetés okozta stressz hatására) elpusztult csemeték 2018 őszén pótlásra kerültek. A spontán csemeték a beültetett csemeték középső négyzetén kívüli területeken (de szintén a kerítésen belül) kerültek kijelölésre. A spontán csemeték körül a természetes vegetációt hagyták természetes módon alakulni, mivel itt a csemeték természetes körülmények közötti válasza volt a kérdés. A beültetett csemeték esetében azonban a csemetéknek tisztán a léknyításra, és az ezzel megváltozó abiotikus körülményekre adott válaszára voltunk kíváncsiak, így itt a kompetitív növényzetet eltávolították. A legjelentősebb ilyen kompetitorok a szeder (*Rubus fruticosus L.*) és a veresgyűrű som (*Cornus sanguinea L.*) voltak.



2. ábra. A bekerített mintaterületek elrendezése (ábra: Dr. Tinya Flóra)

A spontán csemetéket 2017 óta évente mérik. A beültetett csemetéket először 2018-ban mérték, azóta zajlanak évente a mérések. Én a 2023-as mintavételben vettem részt. A mintavétel során megmértem minden beültetett és spontán csemete főátmérőjét közvetlenül a talajfelszín mentén digitális tolómérővel, továbbá rögzítettem a leghosszabb (főhajtás vagy annak szerepét átvevő oldalhajtás) hajtás hosszát a talajfelszíntől a csúcsi rügy vonaláig. Ahol szükséges volt, enyhén

kiegyenesítettem a hajlott hajtásokat. Az alkalmazott pontosság 0,5 cm volt. A lombkoronazáródáshiány értékei (amelyek a diffúz fény mennyiségére adnak egy jó közelítést) szférikus denziométerrel lettek megállapítva (Lemmon 1956).



3. ábra. szférikus denziométer (fotó: Szilágyi Sarolta)

Minden mintaterülethez 5 záródáshiány érték tartozik, az 1-es a bekerített mintaterület közepén, 2-es a kapunál lévő sarokban (a saroktól kb. 1 m-re), a 3-5-ös értékek a többi sarokban, az óramutató járásával megegyező irányban körbejárva. A mérés során minden ponton mind a 4 égtáj irányába le kell számolni, hogy az eszköz domború tükrére gravírozott rácsháló hány pontjában látható a szabad égboltot. Ezt átszámítva százalékos értékre, majd átlagolva a 4 irányra kapott értékeket, megkapjuk a záródáshiány-százalékot.

3.4. Adatok előkészítése és statisztika

A statisztikai elemzésekhez a 2019-től 2023-ig mért adatokat használtam, mivel a 2018-as pótlások miatt csak 2019-től vannak egységes adatok. A beültetett csemeték közül 241, a spontán csemeték közül 195 élt a 2023-as felvételezéskor. A növekményeket úgy számoltam ki, hogy a két év adatainak különbségét vettem, tehát a 4 év növekményét úgy kaptam meg, hogy

a 2023-as értékekből kivontam az ugyanahhoz a csemetéhez tartozó 2019-es mérés eredményét. Az évenkénti növekményeket ugyan ezzel a módszerrel számoltam, a 2023-as növekmény pedálul a 2023-as adatok és 2022-es adatok különbsége. Minden csemetéhez hozzárendeltem egy záródáshiány-értéket: a mintaterületen belüli elhelyezkedése alapján. A beültetett csemetékhez az 1-es (középponti) értéket, a többi csemetéhez a hozzá legközelebb eső sarokra jellemző értéket rendeltem.

Az adatok elemzését az R 4.2.2 programcsomagban végeztem (R Development Core Team 2022). A modellezés előtt ellenőriztem az adatok normalitását Kolmogorov-Smirnov próbával, ahol szükséges volt, ott a függő változókon (csemete-növekmény) $\ln$ transzformációt alkalmaztam. A növekedési adatokhoz elemzéséhez általános lineáris kevert modelleket alkalmaztam (Zuur et al. 2009), az „nlme” csomag „lme” függvényét használtam, valamint az „anova” függvényt (Pinheiro et al. 2013). Fix faktorként a modellekben a kezelés (lék vagy kontroll) és a 2023-as záródáshiányérték, random faktorként pedig a mintaterület szerepelt.

Az eredményeket egységesen $p \leq 0,0500$ esetén fogadtam el szignifikánsnak.

A kezeléshatás vizsgálata során a modelleket a 4 éves növekményre készítettem, de a dinamika alaposabb feltárása érdekében, leíró jelleggel vizsgáltam a csemeték magasságát is a különböző években. Ekkor viszont nem a növekmény adatokkal dolgoztam, hanem a különböző évek méreteit használtam. Továbbá a lombkorona-záródáshiány hatásának vizsgálatához készítettem modelleket a 2022-2023-as növekményekre, magyarázó változóként a 2023-as záródáshiány-adatokat használva.

4. Eredmények

4.1. Négy éves növekmények alakulása a mesterséges lék és zárterdei kontroll területek között

A csemeték növekménye jelentősen eltért a mesterséges lék és zárterdei kontroll területek között, de az eredmények fafajonként változóak az elmúlt 4 évre nézve (2019-2023) (1-8. táblázatok).

Magasság növekmények¹ (cm):

1. táblázat. Lék mintaterületre beültetett csemeték magasság növekményeinek leíró statisztikája (KTT – kocsánytalan tölgy, MJ – mezei juhar, HB – házi berkenye)

	Minimum	Medián	Átlag	Maximum	Szórás
KTT	-10,00	10,00	8,92	38,50	11,21
MJ	-59,50	24,00	24,04	103,50	32,36
HB	-41,50	24,00	42,48	248,00	57,97

2. táblázat. Lék mintaterületen spontán előforduló csemeték magasság növekményeinek leíró statisztikája (KTT – kocsánytalan tölgy, MJ – mezei juhar)

	Minimum	Medián	Átlag	Maximum	Szórás
KTT	-16,50	20,50	25,31	102,50	24,50
MJ	-23,00	21,50	36,68	190,00	43,34

3. táblázat. Kontroll mintaterületre beültetett csemeték magasság növekményeinek leíró statisztikája (KTT – kocsánytalan tölgy, MJ – mezei juhar, HB – házi berkenye)

	Minimum	Medián	Átlag	Maximum	Szórás
KTT	-15,50	4,00	2,37	17,00	7,30
MJ	-77,00	-6,00	-12,63	15,50	19,25
HB	-22,00	3,00	3,02	30,50	10,68

4. táblázat. Kontroll mintaterületen spontán előforduló csemeték magasság növekményeinek leíró statisztikája (KTT – kocsánytalan tölgy, MJ – mezei juhar)

	Minimum	Medián	Átlag	Maximum	Szórás
KTT	-15,00	7,25	7,526	34,50	8,10
MJ	-39,00	7,50	11,55	64,50	20,24

¹ A negatív értékek oka, hogy esetenként a csemeték részben vagy tövig elszáradtak, és utána oldalhajtás vette át a főhajtás szerepét vagy töről újjahajtottak.

Tőátmérőnövekmények¹ (mm):

5. táblázat. Lék mintaterületre beültetett csemeték tőátmérő növekményeinek leíró statisztikája (KTT – kocsánytalan tölgy, MJ – mezei juhar, HB – házi berkenye)

	Minimum	Medián	Átlag	Maximum	Szórás
KTT	-2,00	1,25	1,72	6,00	1,68
MJ	-0,50	4,00	4,34	10,00	2,74
HB	-2,00	2,50	3,29	16,00	3,82

6. táblázat. Lék mintaterületen spontán előforduló csemeték tőátmérő növekményeinek leíró statisztikája (KTT – kocsánytalan tölgy, MJ – mezei juhar)

	Minimum	Medián	Átlag	Maximum	Szórás
KTT	-1,00	3,00	3,35	11,00	2,72
MJ	-1,00	3,00	4,39	23,00	4,74

7. táblázat. Kontroll mintaterületre beültetett csemeték tőátmérő növekményeinek leíró statisztikája (KTT – kocsánytalan tölgy, MJ – mezei juhar, HB – házi berkenye)

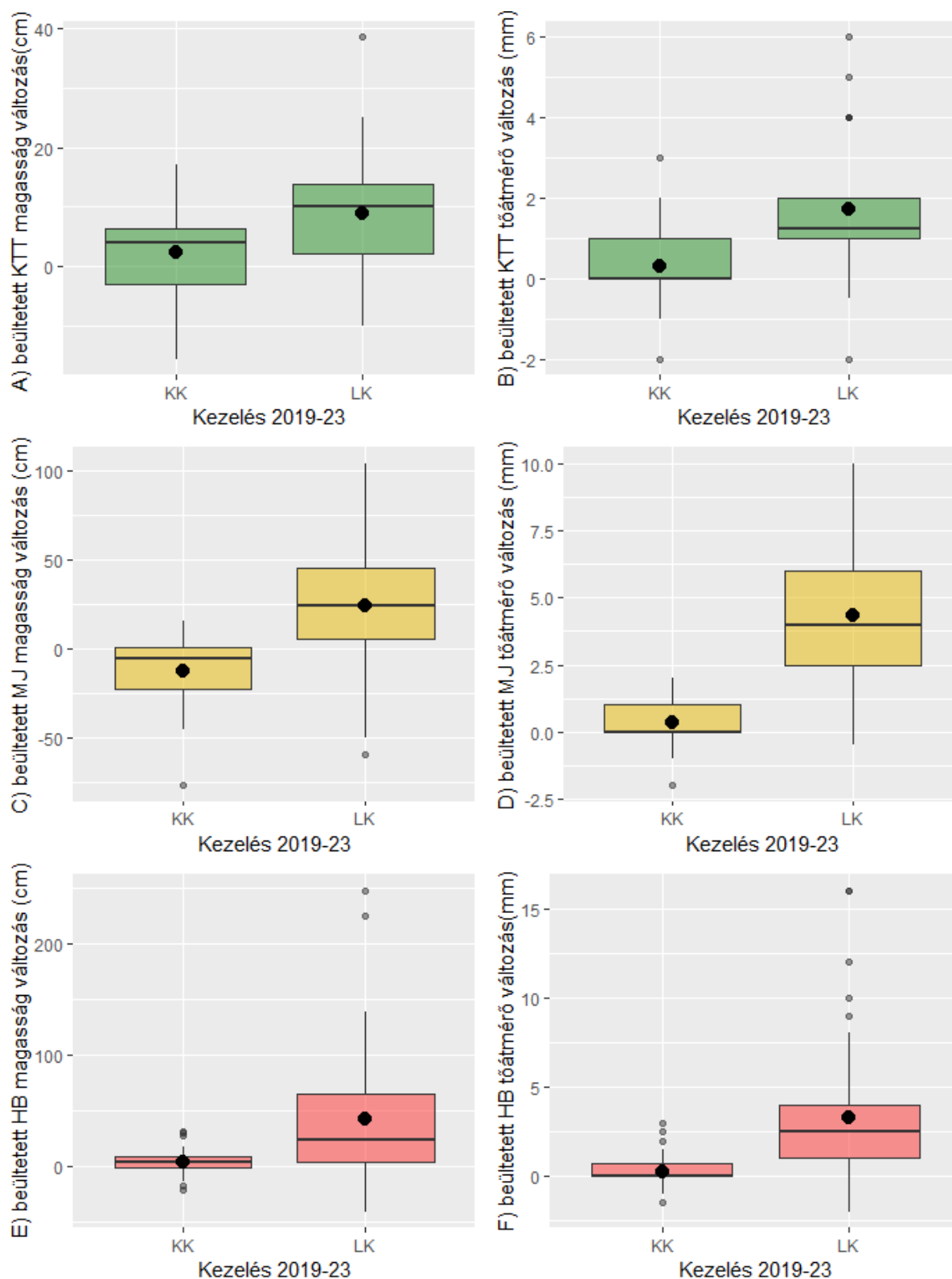
	Minimum	Medián	Átlag	Maximum	Szórás
KTT	-2,00	0,00	0,30	3,00	1,01
MJ	-2,00	0,00	0,36	2,00	0,93
HB	-1,50	0,00	0,25	3,00	0,88

8. táblázat. Kontroll mintaterületen spontán előforduló csemeték tőátmérő növekményeinek leíró statisztikája (KTT – kocsánytalan tölgy, MJ – mezei juhar)

	Minimum	Medián	Átlag	Maximum	Szórás
KTT	-2,00	1,00	1,09	5,00	1,47
MJ	-4,00	1,00	3,00	5,00	1,89

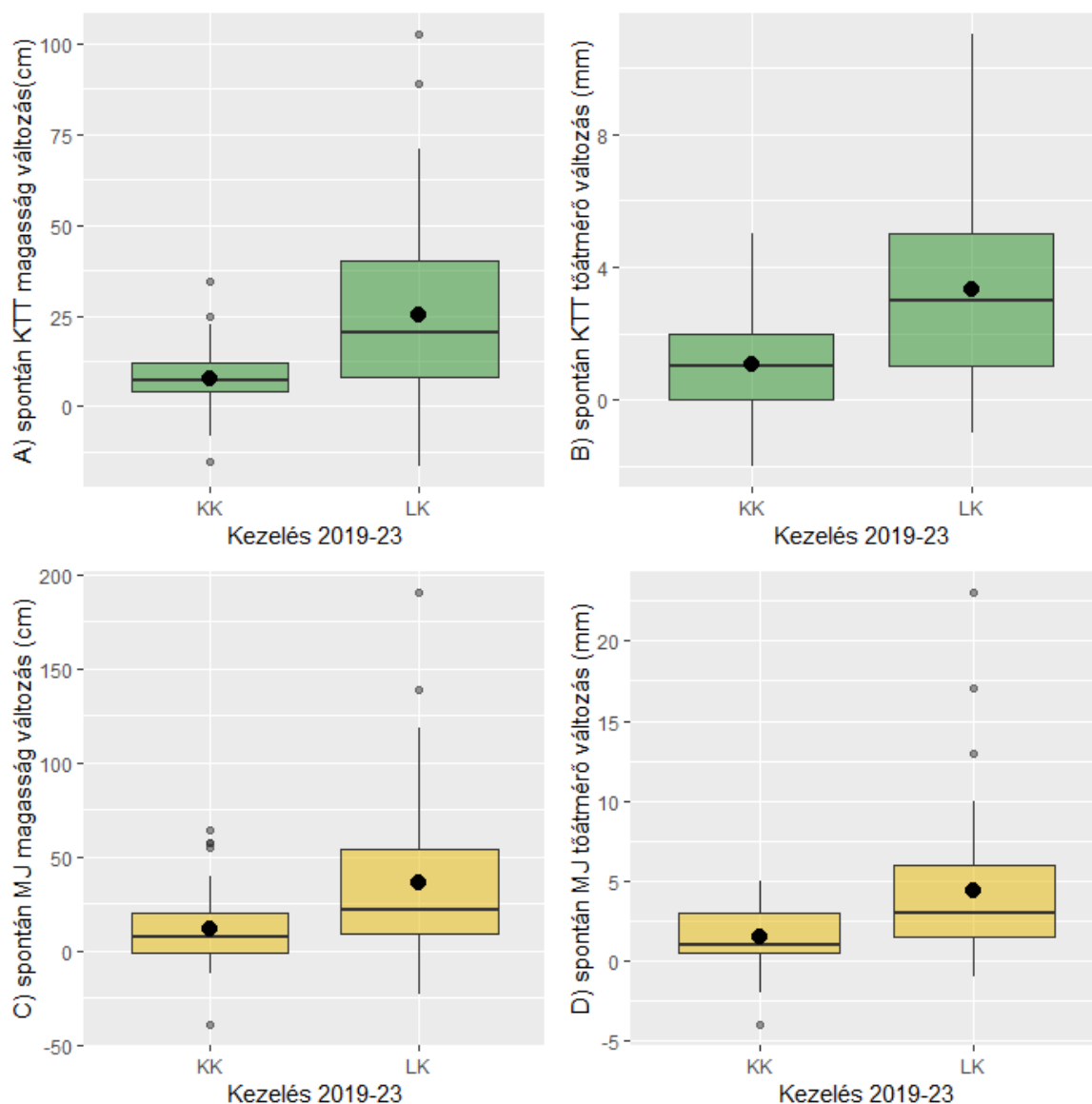
A beültetett kocsánytalan tölgy csemeték magasság növekménye nem mutatott szignifikáns eltérést ($F=2,6770$ $p=0,1771$) (4/A. ábra). A tőátmérő növekmény ugyan kifejezettebb (marginálisan szignifikáns) volt ($F=7,6382$ $p=0,0507$) (4/B. ábra) a lék és kontroll területek között, de nem érte el a szignifikáns mértéket. A beültetett elegyfa csemeték közül a mezei juhar és a házi berkenye növekménye mutatott szignifikáns eltérést a lék és kontroll területek között. (MJ: magasság $F=13,0628$ $p=0,0153$ (4/C. ábra), tőátmérő $F=29,7701$ $p=0,0028$ (4/D.

ábra); HB: magasság $F=8,1920$ $p=0,0353$ (4/E. ábra), tőátmérő $F=16,2846$ $p=0,0100$ (4/F. ábra))



4. ábra. Beültetett cseméték növekmény változásai 2019 és 2023 között. (KTT – kocsánytalan tölgy, MJ – mezei juhar, HB – házi berkenye)

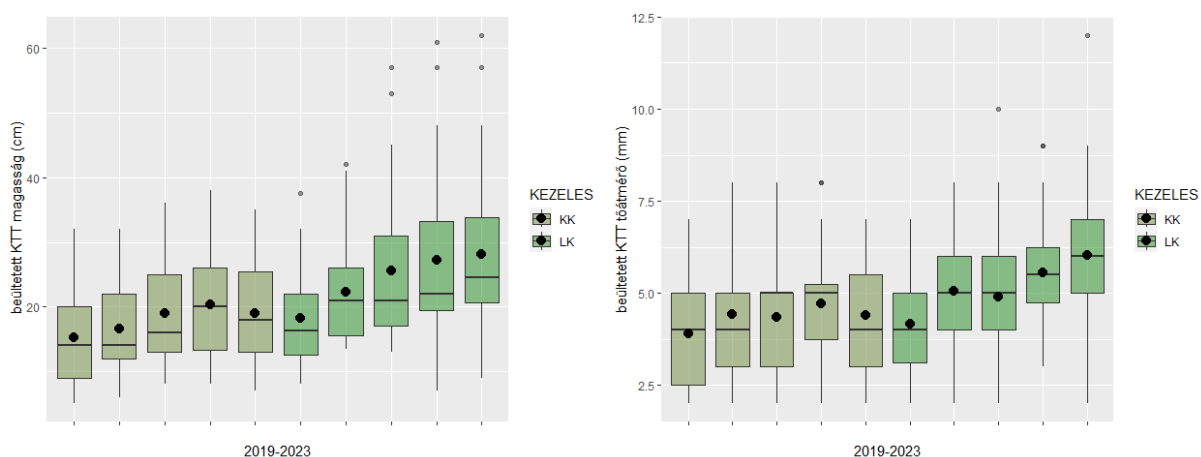
A spontán csemetéknél kevésbé volt egységes az eredmény. A kocsánytalan tölgy magoncok magasság növekménye ($F=6,85257$ $p=0,0472$) (5/A. ábra) és a tőátmérőjük is szignifikánsan nőtt ($F=29,2608$ $p=0,0029$) (5/B. ábra). A mezei juhar csemeték magassága szignifikánsan nőtt ($F=12,5814$ $p=0,0382$) (5/C. ábra), viszont a tőátmérőjük nem ($F=5,0973$ $p=0,1092$) (5/D. ábra).



5. ábra. Spontán csemeték növekmény változásai 2019 és 2023 között. (KTT – kocsánytalan tölgy, MJ – mezei juhar)

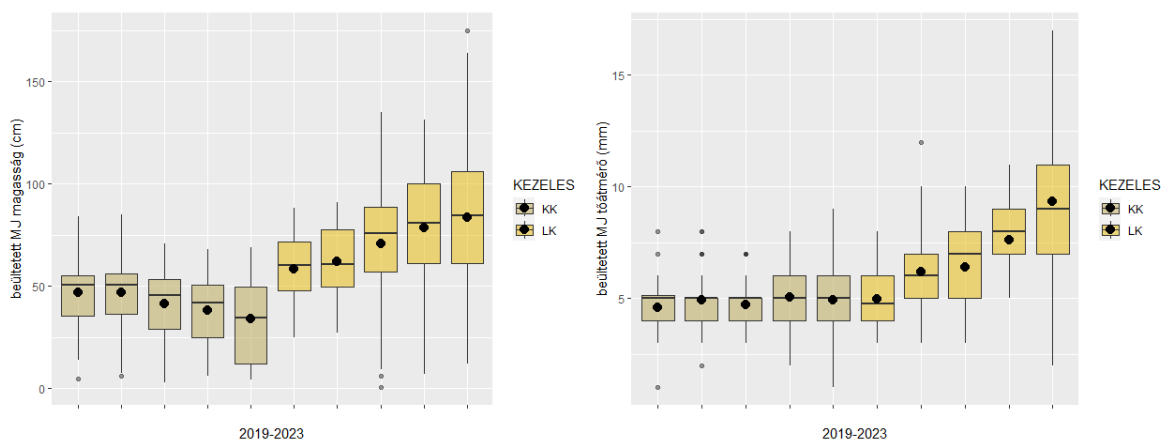
4.2. A csemeték magasságának és tőátmérőjének alakulása 2019 és 2023 között a mesterséges lék és zárterdei kontroll területeken

Az évek során jelentős különbségek rajzolódtak ki a lék és kontroll területek újulatának fejlődési üteme között. A beültetett kocsánytalan tölgy csemeték esetében jól megfigyelhető a növekménykülönbség a kezelési módok között. A kontrollban a csemeték szinte elhanyagolható növekményt mutatnak, míg a lékben található csemeték már az első évtől kezdve túlnőttek rajtuk magasság és tőátmérő tekintetében.



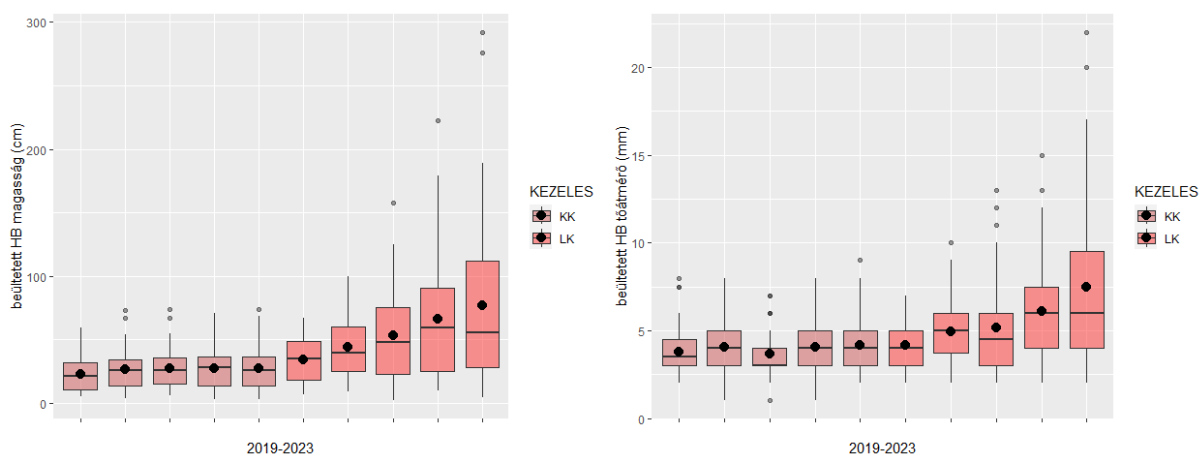
6. ábra. Beültetett kocsánytalan tölgy (KTT) csemeték magasságának és tőátmérőjének alakulása 2019 és 2023 között lék (LK) és kontroll (KK) területeken

A beültetett mezei juharok kontroll csoportja nem mutatott kimagasló növekedést az évek során. A tőátmérő nem változott jelentősen, a magasság pedig egyértelműen csökkent (egyes csemeték hajtásainak visszászáradása miatt). Ezzel ellentétben a lékben található csemeték tőátmérője látványos növekedésen ment keresztül, amit a magasság is követett.



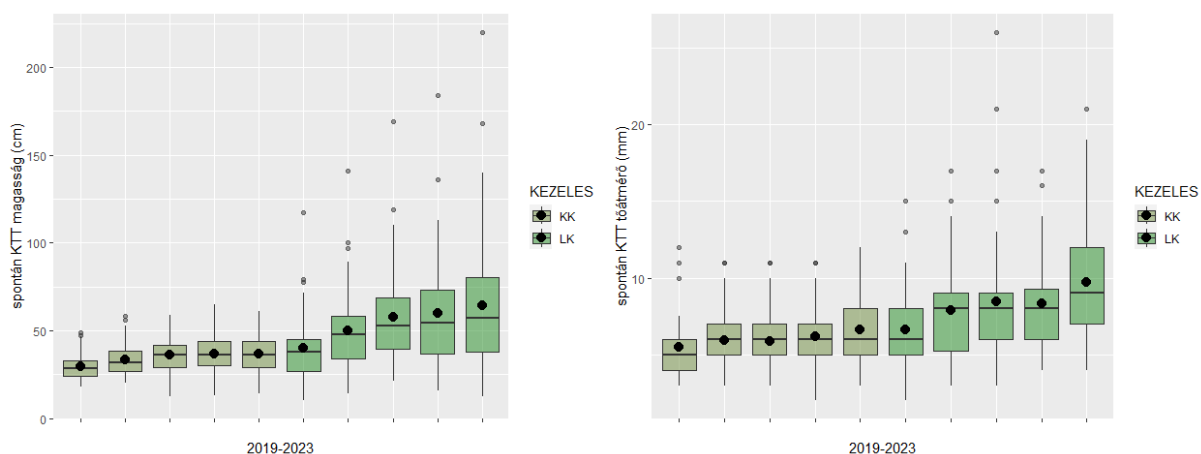
7. ábra. Beültetett mezei juhar (MJ) csemeték magasságának és tőátmérőjének alakulása 2019 és 2023 között lék (LK) és kontroll (KK) területeken

A beültetett házi berkenye magoncok magassága és tőátmérője nem mutatott jelentős változást a kontroll mintaterületeken. A lék csemeték viszont egyenletes nagymértékű növekedést mutattak magasság és tőátmérő terén is az évek során.



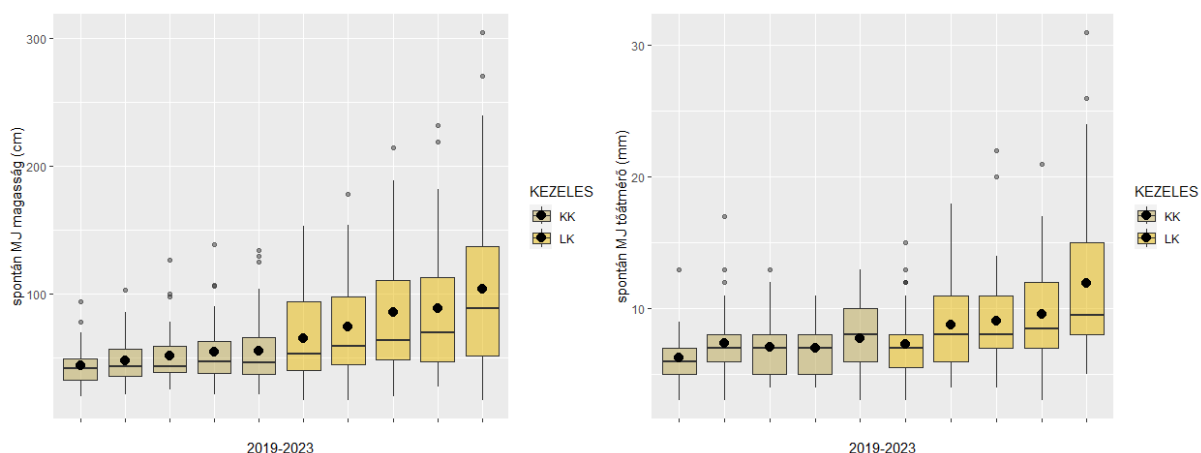
8. ábra. Beültetett házi berkenye (HB) csemeték magasságának és tőátmérőjének alakulása 2019 és 2023 között lék (LK) és kontroll (KK) területeken

A spontán csemetéknél mindkét fajnál hasonló tendenciájú fejlődés figyelhető meg. A spontán kocsánytalan tölgy magoncoknál a kontroll területeken nem volt szembetűnő a magasság és a tőátmérő változása. Lassú, egyenletes növekedést tapasztaltam a lékben lévő csemetéknél magasság és tőátmérő esetében is.



9. ábra. Spontán kocsánytalan tölgy (KTT) csemeték magasságának és tőátmérőjének alakulása 2019 és 2023 között lék (LK) és kontroll (KK) területeken

A spontán mezei juhar csemeték magasság- és tőátmérő -változásai elhanyagolhatóak voltak a kontroll területeken. A lékekben viszont a magasság kiemelkedő növekedést mutatott, amit a tőátmérő változásai is többé-kevésbé követtek.



10. ábra. Spontán mezei juhar (MJ) csemeték magasságának és tőátmérőjének alakulása 2019 és 2023 között lék (LK) és kontroll (KK) területeken

4.3. Lombkorona-záródásiány hatása a csemeték növekményére

A záródásiány-értékek a mintaterületek középpontjában markánsan elkülönültek a lék és kontroll mintaterületek között (9. táblázat).

9. táblázat. Beültetett csemetékre jellemző záródásiányértékek (%) leíró statisztikája

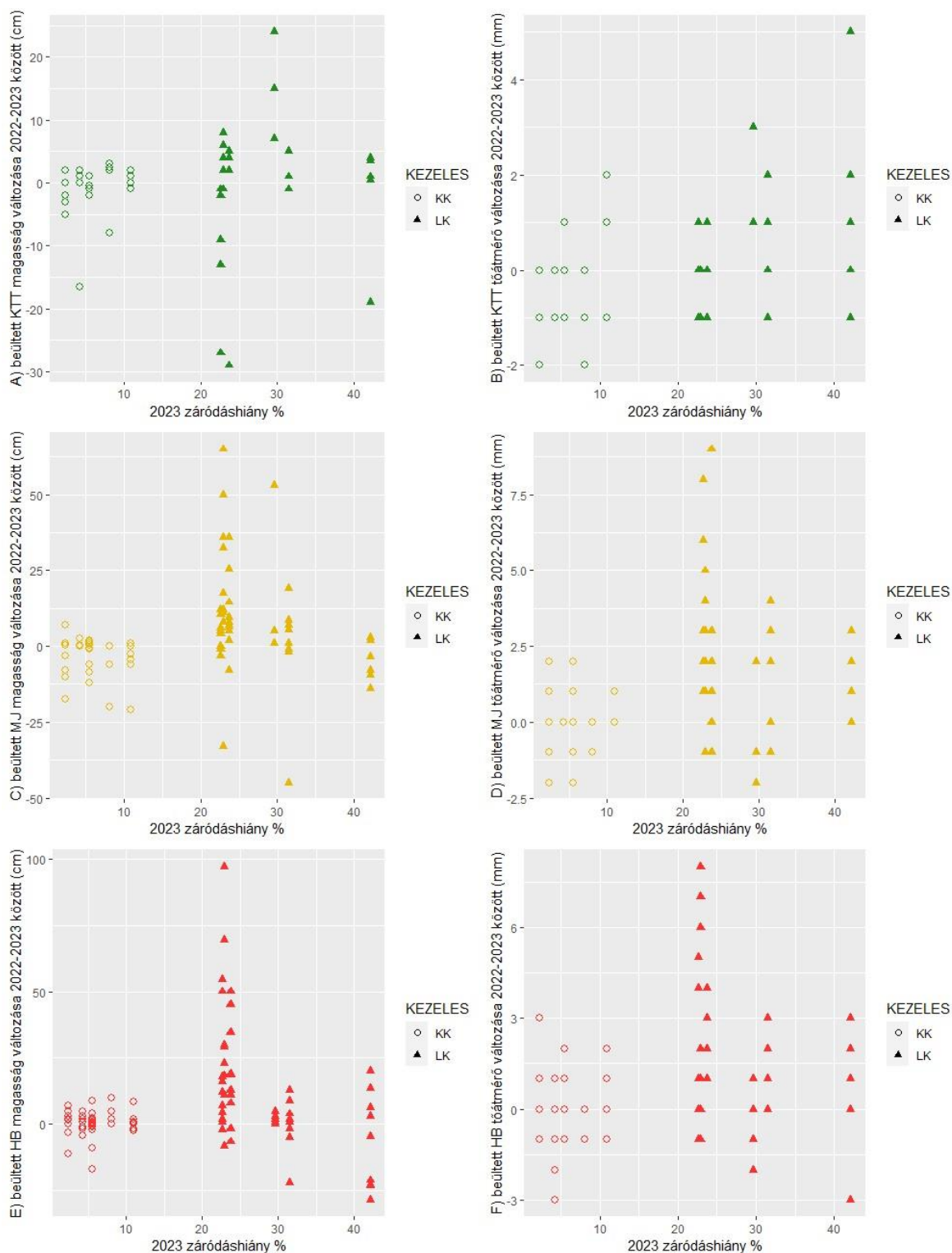
	Minimum	Medián	Átlag	Maximum	Szórás
Lék 1.	22,60	26,65	28,73	42,10	6,90
Kontroll 1.	1,00	5,50	5,91	10,90	2,77

A mintaterületek sarkában mért értékek esetében (azaz a lékek esetében a lékek széléhez közelebbi pozíciókban) már némi különbség csökkenés figyelhető meg a lék és a kontroll mintaterületek záródásiány-értékei között. (10. táblázat).

10. táblázat. Spontán csemetékre jellemző záródásiányértékek (%) leíró statisztikája

	Minimum	Medián	Átlag	Maximum	Szórás
Lék 2-5.	8,80	19,80	19,35	38,50	6,07
Kontroll 2-5.	1,00	5,20	5,62	9,60	2,36

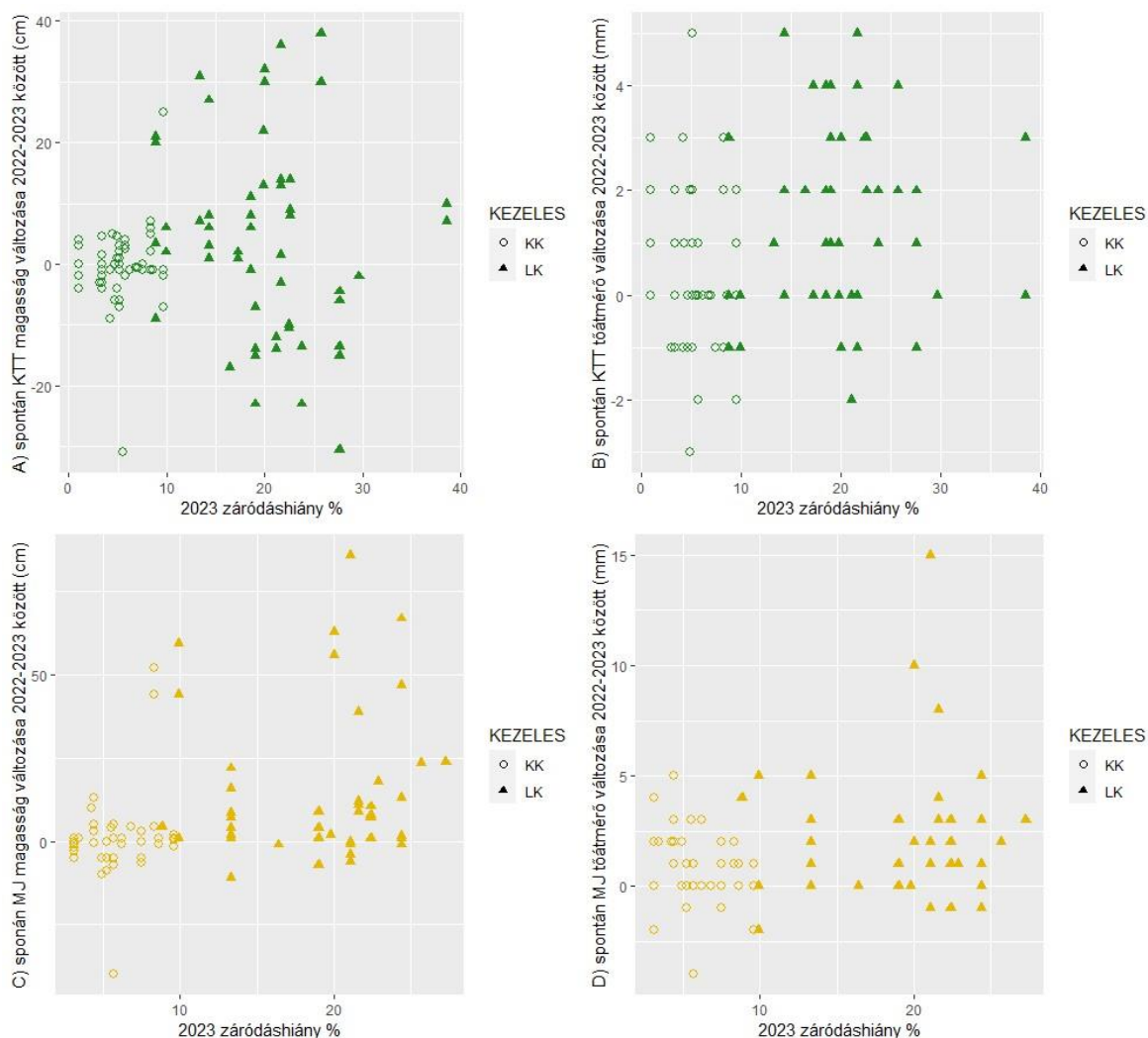
A 2022-2023-as növekményeket jelentősen befolyásolta a 2023-as záródáshiány érték. Minden vizsgált fajnál szignifikáns hatással volt a növekményre az újulati szintre jutó fény mennyisége. A beültetett csemetéknél a kocsánytalan tölgy magasság növekedésére ($F=23,0055$ $p=0,0490$) (11/A. ábra) és a tőátmérő növekedésére ($F=41,0841$ $p=0,0014$) (11/B. ábra) is szignifikánsan hatással volt a záródáshiány. A mezei juhar esetében is a magasság változására ($F=22,2887$ $p=0,0037$) (11/C. ábra) és a tőátmérő növekményére ($F=25,1825$ $p=0,0143$) (11/D. ábra) is szignifikánsan befolyásolta a záródáshiány. A házi berkenye esetében is hasonlóan, a magasságnál ($F=21,2325$ $p=0,0037$) (11/E. ábra) és a tőátmérőnél ($F=25,1825$ $p=0,0024$) (11/F. ábra) is szignifikáns összefüggés volt kimutatható a növekmény és a záródáshiány között.



11. ábra. Beültetett csemeték 2022-2023-as növekményeinek eloszlása a 2023-as záródásihiány értékek alapján. (KTT – kocsánytalan tölgy, MJ – mezei juhar, HB – házi berkenye, KK – kontroll terület, LK – lék terület)

A spontán újultnál is mindkét vizsgált fafajnál minden mért változónál az záródásihiány jelentős hatását találtam. A kocsánytalan tölgy esetében a magasság ($F=8,8336$ $p=0,0037$) (12/A. ábra) és a töltméről ($F=11,4662$ $p=0,0010$) (12/B. ábra) is szignifikánsan összefügg a

záródásiány mértékével. Hasonlóan a mezei juharnál is, a magasság ($F=11,8502$ $p=0,001$) (12/C. ábra) és a tőátmérő ($F=4,0197$ $p=0,0486$) (12/D. ábra) szignifikáns összefüggést mutatott a fény mennyiségével.



12. ábra. Spontán csemeték 2022-2023-as növekményeinek eloszlása a 2023-as záródásiány értékek alapján. (KTT – kocsánytalan tölgy, MJ – mezei juhár, KK – kontroll terület, LK – lék terület)

5. Diskusszió és kitekintés

5. 1. A kezelések és a záródáshiány hatása a csemeték növekedésére

A növekedési mintázatok jelentős különbségeket mutattak a mesterséges lék és a zárterdei kontroll területek között. Minden fafaj esetében volt olyan növekedési változó, amely szignifikánsan magasabb értéket adott a lékekben, mint a zárterdei kontroll területeken. Ez összhangban áll korábbi vizsgálatok tapasztalataival, miszerint a lékek kedvező helyszínt nyújtanak a fásszárú újulat számára (Muscolo et al. 2014, Vilhar et al. 2015).

A záródáshiány – amely jól közelíti a beérkező diffúz fény mennyiségét – mindhárom vizsgált fafaj esetében szignifikáns összefüggést mutatott a tőátmérő és a magassági növekménnyel. Számos vizsgálat alátámasztja, hogy a fény a csemeték számára az egyik meghatározó, limitáló forrás, amelynek megnövekedett mennyisége a lékekben hozzájárul a lékekben kialakuló fejlettebb újulati szinthez (Bobiec et al. 2007, Schütz et al. 2016). A csemeték növekménye alapján elmondható, hogy a záródáshiány hatással van a fejlődésükre, de nem a legmagasabb fényértékek mellett volt a legintenzívebb a növekedés. Nagy záródáshiány mellett, a nagyobb fény miatt az aljnövényzettel való feltételezhető kompetíció miatt kisebb a csemeték növekménye.

5.2. Az egyes fafajok kezelésekre adott válasza

A léknyitásra adott növekedési válaszok intenzitása fafajonként eltérő volt. A mezei juhar és a házi berkenye beültetett csemetéinek mind magassági, mind tőátmérő-növekménye szignifikánsan eltért a lék és kontroll területek között. A mezei juhar esetében spontán csemeték vizsgálatára is lehetőség volt, amelyek lékekben mutatott intenzívebb magassági növekedése összhangban állt a beültetett csemeték válaszával. Ezen faj esetében egyedül a spontán csemeték tőátmérője nem mutatott szignifikáns kezeléshatást.

A maximális csemeteméretük alapján elmondható, hogy a házi berkenyék közül kerültek ki a legmagasabbra növő csemeték (egyedek akár a 290 cm-es magasságot is meghaladták). A házi berkenyeről ismert, hogy fényigényes, kedveli a magasabb hőmérsékletet, a száraz vagy enyhén párás környezetet (Paganová 2008). A kezelésekre adott szignifikáns válaszok és az előforduló igen jól fejlődő csemeték alapján elmondhatjuk, hogy a berkenyék számára is kedvező a lékek nyitása.

A mezei juhar zártabb lombosított, üde lombosítottokban is előforduló, viszonylag árnyéktűrő faj, amely azonban mindemellett nyíltabb, fényben gazdagabb erdőkben, bokorerdőkben, ligetes erdőkben is gyakori (Nemky 1968, Király 2009). Vizsgálataink alapján elmondható, hogy a faj – árnyéktűrő volta ellenére – a lékekben kialakuló jobb megvilágítottságra intenzívebb növekedéssel reagál.

A záródásihiány és a juhar, valamint berkenye csemeték növekedése közötti szignifikáns összefüggés arra enged következtetni, hogy a csemeték a lékekben elsősorban a megnövekedett fénynek köszönhetően mutattak jobb növekedést.

A kocsánytalan tölgy esetében is megfigyelhető volt növekedési eltérés a kontroll és lékterületek között, bár ez kevésbé volt kifejezett, mint az elegyfajoknál. A beültetett csemeték magassága – bár a trend látható volt – nem növekedett szignifikánsan jobban a lékekben, mint a zárt erdőben, töltmértőjük is csak marginálisan szignifikáns összefüggést mutatott a kezeléssel. A spontán kocsánytalan tölgy magoncok a lékekben a beültetett csemetéknél jelentősen nagyobb növekedést mutattak. A magasságuk és a töltmértőjük is szignifikánsan jobban nőtt a lékterületeken. A záródásihiányra azonban a beültetett és a spontán csemeték mindkét változója szignifikánsan reagált. Korábban kimutatták, hogy a kocsánytalan tölgy magoncok csírázás után még pár évig árnyéktűrők, de utána a túlélésük kulcsa a megnövekedett fény mennyisége (von Lüpke 1998, Tinya et al. 2019b). A kocsánytalan tölgy csemetékre jellemző, hogy az első pár évben a gyökérét erősíti, közben nem nő magasra és amikor már erős gyökérrel rendelkezik és kellően jól tud vizet felszívni, akkor indul meg az extra fény hasznosítása, és beindul a magasság növekedése. Emellett a kiterjedt gyökérrendszer nagymértékben javítja a kocsánytalan tölgy csemete túlélési esélyeit, amikor a föld feletti hajtásrész sérül, vagy teljesen elpusztul (Larsen és Johnson 1998). Fontos megjegyezni, hogy a spontán csemeték a kísérlet kezdetekor magasságuk alapján lettek kiválasztva korábban kerítetlen területeken. Mivel korábban rendszeres intenzív vadragásnak voltak kitéve, így előfordulhat, hogy ezek – a hasonló magassági tartomány ellenére is – idősebbek, mint a beültetett csemeték. Feltételezhető, hogy a spontán csemeték a beültetett egyedeknél jobb gyökérzettel rendelkeztek, így a plusz fény hatására intenzívebben tudtak növekedni, mint a kontroll területen lévő társaik. A beültetett csemeték feltételezhetően fiatalabbak voltak és az első években még a gyökérzetüket fejlesztették, illetve az ültetési stressz hatása alatt lehettek. Ez magyarázhatja, hogy a beültetett csemeték esetében kevésbé jó összefüggéseket kaptunk a kezeléssel, ill. a záródásihiánnyal, valamint, hogy alacsonyabb mértékű növekedést tapasztaltunk a spontán csemetékhez képest.

A tölgy csemeték a másik két vizsgált fajnál jelentősen kisebb növekedési eréllyel rendelkeztek, és kevésbé erősen reagáltak a léknyitásra. A tölgyek gyenge regenerációja Európában és Észak-Amerikában is ismert jelenség (Petritan et al. 2013, Dey et al. 2019), melynek magyarázatára több hipotézis is létezik (Vera 2000, Bobiec et al. 2018). Elképzelhető, hogy a tölgyek lékekben is gyenge növekedése annak köszönhető, hogy a vizsgált lékek nem voltak elegendően nagyok ennek a fényigényes fajnak a fejlődéséhez (Ligot et al. 2013, Van Couwenberghe et al. 2013). Modrow et al. (2020) vizsgálatai alapján a tölgyek felújuláshoz megközelítőleg 50%-os relatív fényre van szükség, amely magasabb, mint a lékjeinkben kapott záródáshiány-értékek. Ugyanakkor több vizsgálat szerint a tölgyek már alacsonyabb relatív megvilágítottság mellett is képesek jó növekedésre (Diaci et al. 2018, Csépanyi et al. 2021). Feltehetőleg az, hogy a csemeték milyen megvilágítás mellett képesek intenzíven növekedni, a termőhelyi viszonyoktól, illetve a csemeték vitalitásától is függhet. Egy másik hipotézis szerint az inváziós kórokozó tölgy-lisztharmat csökkentheti a tölgy csemeték árnyéktűrését (Demeter et al. 2021). Mivel a vizsgált csemetéken is megfigyelhető volt lisztharmat-fertőzöttség, ez is hozzájárulhatott a gyenge növekedéshez. A tölgyekről ismert, hogy a kompetíciós képességük gyengébb számos más fafajnál (Mölder et al. 2019), így az aljnövényzettel való kompetíció is a felújulást gátló tényezők között lehet. Terepi tapasztalatok alapján a spontán csemeték esetében a legfőbb ilyen tényező a lágyszárú aljnövényzettel (elsősorban a szederrel), ill. a felújuló cserjékkel (elsősorban a veresgyűrű sommal) való kompetíció lehetett. A beültetett csemeték esetében pedig az ültetéssel járó stressz és számos csemete emiatt történő visszaszáradása lehet egy fontos tényező, illetve – ha a domináns kompetítorok (szeder, som) eltávolításra is kerültek, a lékek intenzív megvilágítást és talajnedvesség-többletet kapó középső részein a lágyszárú gypszint (fűfélék) is jelentős sűrűségű aljnövényzetet alkothattak, gyengítve az ültetés miatt amúgy is alacsonyabb fitneszű csemeték növekedését. A lágyszárú aljnövényzet csemetékre gyakorolt kompetíciós hatását számos korábbi kutatás is alátámasztja (Denslow et al. 1998, Annighöfer et al. 2015).

5.3. Konklúzió, gyakorlati vonatkozások

A vágásos erdőgazdálkodás felhagyásával lassan indulnak meg a heterogenizációs folyamatok, de ez a vizsgálat megmutatta, hogy természetvédelmi célú beavatkozásokkal, többek között mesterséges lékek létrehozásával fel lehet gyorsítani a folyamatot. A foltos mintázatban létrejövő újulat növeli az erdőszerkezet heterogenitását és lehetőséget ad egy változatosabb koreloszlású erdő kialakítására. Mivel a lékekben az elegyfajok a tölgnél erőteljesebb

növekedést mutatnak, ezért a léknyitással az állomány elegyessége is fokozható. Mindez potenciálisan maga után vonhatja további erdei élőlénycsoportok diverzitásának növekedését is. Fontos azonban tekintettel lenni a lékekben kialakuló sűrű aljnövényzet kompetíciós hatására is, amely ellen a csemeték megsegítésére a kompetitív növényzet visszaszorítására lehet szükség, illetve a lékek méretének, alakjának megfelelő beállításával szabályozható a kompetíció kimenetele (Kollár 2017, Gitau 2023). Intenzív vadhatásnak kitett területeken pedig a lékek bekerítése is szükséges a sikeres felújulás érdekében (Tóth 2019).

6. Összefoglaló magyar és angol nyelven

6.1. Összefoglaló

Magyarország erdeinek faállománya a vágásos üzem mód hatására jelentősen homogenizálódott szerkezetileg és összetételileg az elmúlt évszázadokban. A heterogenitás növekedése a vágásos gazdálkodás fokozatos felhagyásával, spontán módon lassan megy végbe, de célzott természetvédelmi beavatkozásokkal felgyorsítható. Kutatásomban az állományalkotó kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) és két elegyfaj, a mezei juhar (*Acer campestre*) és a házi berkenye (*Sorbus domestica*) csemetéinek növekedését vizsgáltam különböző mintaterületeken eltérő záródásviszonyok mellett: természetvédelmi céllal mesterségesen kialakított lékekben és kontroll zárt állományban. A mintaterületek a Bükki Nemzeti Park Igazgatóság vagyonkezelésében lévő erdőrészletekben voltak, ahol cseres-kocsánytalan tölgyes állomány jellemző. A bekerített mintaterületeken a vizsgált fajok csemetéi azonos számban lettek beültetve (fajonként 120 db), valamint a 120 tölgy és 87 juhar spontán jelen lévő csemete is ki lett jelölve. A csemeték magassága és tőátmérője volt mérve 2018 és 2023 között. A fényviszonyokat szférikus denziométerrel becsült záródáshiány-értékekkel jellemeztük.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a csemeték növekménye jelentősen eltér a lék és kontroll területeken. A lék területeken a legnagyobb növekedés a berkenyénél volt megfigyelhető, a juhar közepes növekményt mutatott, a tölgy pedig gyengébbet. A csemeték növekménye alapján elmondható, hogy a záródáshiány hatással van a fejlődésükre, de nem a legmagasabb fényértékek mellett volt a legintenzívebb a növekedés. Nagy záródáshiány mellett, a nagyobb fény miatt az aljnövényzettel való feltételezhető kompetíció miatt kisebb a csemeték növekménye.

Ezek az eredmények megmutatták, hogy lécek létrehozásával megindítható a felújulás homogén, zárt szerkezetű erdőkben, de az aljnövényzettel való kompetíció kérdésére nagy figyelemmel kell lenni a léknyitás során. A megnövekedett fényből az elegyfajok jobban profitálnak, mint a kocsánytalan tölgy csemeték, ezért ezekkel a beavatkozásokkal a faállomány jövőbeli diverzitása is fokozható.

6.2. Effects of conservation-oriented gap openings on seedlings in Pannonian-Balkan Turkey oak–sessile oak forests - Summary

Semi-natural forests in Hungary have become significantly more homogeneous in structure and tree composition over the past centuries as a result of the rotation forestry practices. The increase in structural heterogeneity occurs spontaneously and slowly with the gradual cessation of continuous cover forestry management, but can be also accelerated by conservation actions. In my research, I have investigated the growth and development of seedlings of the stand-forming sessile oak (*Quercus petraea*) and two mixed species, field maple (*Acer campestre*) and service tree (*Sorbus domestica*), under different canopy closures: artificially created gaps for conservation purposes and control in closed stands. The sample plots were located in the areas of the Bükk National Park Directorate, which consist of Pannonian-Balkan Turkey oak–sessile oak stands. The same number of seedlings of the tested tree species were planted in the fenced sample plots (120 per species), and 120 oak and 87 maple seedlings spontaneously present were also selected. The height and diameter of these seedlings were measured regularly over the years between 2018 and 2023. Canopy openness values were determined using a spherical densiometer.

The results show that the increment in seedlings' height differs significantly between the gap and control plots. In the gap areas, the highest growth was observed in service tree, maple showed medium growth and oak showed weaker growth. The growth of seedlings suggests that the lack of closure affects their development, but growth was not most intensive at the highest light levels.. With a high closure deficit, the seedling growth rate is lower due to the presumed competition with the undergrowth due to the higher light.

These results have shown that regeneration can be initiated by the creation of gaps in homogeneous, closed-structured forests, but the issue of competition with undergrowth needs to be carefully considered when opening the gap. The increased light benefits mixed tree species

more than sessile oak seedlings, and therefore these interventions can increase the future diversity of the tree population.

Irodalomjegyzék

Annighöfer, P., Beckschäfer, P., Vor, T., & Ammer, C. (2015). Regeneration Patterns of European Oak Species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L.) in Dependence of Environment and Neighborhood. PLOS ONE, 10(8), e0134935. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134935>

Balogh L, Bán I, Berki I, Bidló A, Boruzs G, Bölöni J, Czirok I, Cseke B A, Csépanyi P, Csóka Gy, Csókáné Hirka A, Csór A, Egyed K, Felső-Nemes N, Führer E, Gyenes I, Hegedűsné Horváth O, Heil B, Hoksa A, Hornyánszky A A, Horváth P B, Jagodics A, Jankó F, Kiss E É, Koltay A, Kónya T, Kovács G, Kovácsévics P, Kulbert Zs, Lajtos J, Lukács A, Mészöly K, Nagy P, Orbán J, Oroszi S, Bárány G, Oszvald F, Puskás L, Ripszám I, Sereh F, Szabó Cs, Szabó P, Szani Zs, Szemán F, Szentpéteri S, Szolnyik Cs, Tímár G, Tóth B I, Veres T, Verók T, Víg P, Führer E (Szerkesztő), Kovácsévics P (Szerkesztő): Magyarország erdészeti tájai 2. Északi-középhegység erdészeti tájcsoport. Budapest, Magyarország: Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) (2017), 574 p.

Barina, Z., Csikos, V., Csóka, Gy., Frank, T., Gálhidy, L., Gombkötő, P., Harnos, K., Korompai, T., Kovács, K., Mező, H., Siffer, S., Szitta, T., (2015): Natura 2000 erdőterületek kezelése. In: Baráz, Cs. (szerk.) Bábakalács Füzetek 20. (Gyakorlati útmutató erdőgazdálkodók és erdészeti szakszemélyzet számára) Bükk Nemzeti Park Igazgatóság, Eger

Bobiec, A. (2007) The influence of gaps on tree regeneration: A case study of the mixed lime-hornbeam (*Tilio-Carpinetum* Tracz. 1962) communities in the Białowieża Primeval Forest. Polish Journal of Ecology, 55, 441–455.

Bobiec, A., Reif, A. & Öllerer, K. (2018) Seeing the oakscapes beyond the forest: a landscape approach to the oak regeneration in Europe. Landscape Ecology, 33, 513–528.

Bölöni J., Molnár Zs., Kun, A. (szerk.) (2011): Magyarország élőhelyei: Vegetációtípusok leírása és határozója, ÁNER 2011. MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete, Vácrátót, 439 pp.

Czirok, I., Szolnyik, Cs., (2014): A folyamatos erdőborítás nyilvántartása. In: Bartha, D., Puskás, L. (szerk.) *Silva naturalis* Vol. 5. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, pp. 203–217. ISBN 978-963-334-207-7

Csépanyi P., Ódor P., Tinya F. (2021): A kocsánytalan tölgy újulat fejlődése az örökzöld változatos fényviszonyai között. In: Tinya F. (szerk.): 12. Magyar Ökológus Kongresszus – Előadások és poszterek összefoglalói, p. 151. https://www.ecology.hu/sites/default/files/12MOK_absztraktkötet_20210801_vegleges.pdf

Demeter, L., Molnár, Á.P., Öllerer, K., Csóka, G., Kis, A., Vadász, C., Horváth, F. & Molnár, Z. (2021) Rethinking the natural regeneration failure of pedunculate oak: The pathogen mildew hypothesis. Biological Conservation, 253.

Denslow, J. S., Ellison, A. M., & Sanford, R. E. (1998). Treefall gap size effects on above- and below-ground processes in a tropical wet forest. Journal of Ecology, 86(4), 597–609. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1998.00295.x>

Dey, D.C., Jacobs, D., McNabb, K., Miller, G., Baldwin, V. & Foster, G. (2008) Artificial regeneration of major oak (*Quercus*) species in the eastern United States - A review of the literature. Forest Science, 54, 77–106.

Diaci, J., Györek, N., Gliha, J. & Nagel, T.A. (2008) Response of *Quercus robur* L. seedlings to north-south asymmetry of light within gaps in floodplain forests of Slovenia. Annals of Forest Science, 65, 105.

Elek, Z., Kovács, B., Aszalós, R., Boros, G., Samu, F., Tinya, F., Ódor, P. (2018): Taxon-specific responses to different forestry treatments in a temperate forest. Scientific Reports 8: 16990. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35159-z>

Frank, T., Szmorad, F., (2014): Az erdők kezelésének elvi alapjai. In: Frank, T., Szmorad F. (szerk.) Védett erdők természetességi állapotának fenntartása és fejlesztése. Rosalia kézikönyvek 2. Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, Budapest, 11–49.

Gálhidy, L. (2008) Erdőgazdálkodás és természetvédelem. In: Gálhidy, L. (szerk.) Örökzöldek Magyarországon. WWF Füzetek 29. WWF Magyarország, Budapest, pp. 7–19; 49. ISSN 1216-28- 25

- Gálhidy, L., (2016): A lécek szerepe az erdőgazdálkodásban és az erdők természetvédelmi kezelésében. In: Korda, M. (szerk.) Az erdőgazdálkodás hatása az erdők biológiai sokféleségére. (Tanulmánygyűjtemény), Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, Budapest, pp. 421–457.
- Gitau, M.G. (2023) An evaluation of the regeneration success under different gap cuttings in an oak-hornbeam forest. MSc Thesis, Eötvös Loránd University.
- Götmark, F., (2007): Careful partial harvesting in conservation stands and retention of large oaks favour oak regeneration. *Biological Conservation* 140, 349–358.
- Götmark, F., (2013): Habitat management alternatives for conservation forests in the temperate zone: Review, synthesis, and implications. *Forest Ecology and Management* 306, 292–307.
- Götmark, F., Paltto, H., Nordén, B., Götmark, E., (2005): Evaluating partial cutting in broadleaved temperate forest under strong experimental control: Short-term effects on herbaceous plants. *Forest Ecology and Management* 214, 124–141.
- Guyot, V., Castagneyrol, B., Vialatte, A., Deconchat, M., Jactel, H., (2016): Tree diversity reduces pest damage in mature forests across Europe. *Biology Letters* 12: 20151037. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2015.1037>
- Horváth Cs. V., Kovács B., Tinya F., Schadeck Locatelli, J., Crecco, L., Németh, Cs., Illés, G., Csépanyi, P., Ódor, P. (2023): A matter of size and shape: Microclimatic changes induced by experimental gap openings in a sessile oak–hornbeam forest. *Science of the Total Environment*. 873: 162302. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162302>
- Johann, E. (2006) Historical development of nature-based forestry in Central Europe. In: Diaci, J. (Ed.) *Nature-based forestry in Central Europe – Alternatives to Industrial Forestry and Strict Preservation*. Studia Forestalia Slovenica Nr. 126. Department of Forestry and Renewable Forest Resources – Biotechnical Faculty, pp. 1–17.
- Király, G. (2009) Új magyar fűvészkönyv. Magyarország hajtásos növényei. Határozókulcsok. Aggtelek NPI, Jósavető.
- Kollár, T., 2017. Light conditions, soil moisture, and vegetation cover in artificial forest gaps in western Hungary. *Acta Silv. Lignaria Hung.* 13, 25–40. <https://doi.org/10.1515/aslh-2017-0002>
- Larsen, D. R., Johnson, P. S., (1998): Linking the ecology of natural oak regeneration to silviculture. *Forest Ecology and Management* 106, 1–7.
- Lemmon, P.E. (1956) A spherical densiometer for estimating forest overstory density. *Forest Science*, 2, 314–319.
- Ligot, G., Balandier, P., Fayolle, A., Lejeune, P. & Claessens, H. (2013) Height competition between *Quercus petraea* and *Fagus sylvatica* natural regeneration in mixed and uneven-aged stands. *Forest Ecology and Management*, 304, 391–398.
- Löf, M., Brunet, J., Filyushkina, A., Lindbladh, M., Skovsgaard, J. P., Felton, A., (2015): Management of oak forests: striking a balance between timber production, biodiversity and cultural services. *International Journal of Biodiversity Science. Ecosystem Services és Management*, DOI: 10.1080/21513732.2015.1120780
- Magnus Löf, Jörg Brunet, Anna Filyushkina, Matts Lindbladh, Jens Peter Skovsgaard & Adam Felton (2016) Management of oak forests: striking a balance between timber production, biodiversity and cultural services, *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 12:1-2, 59-73, DOI: 10.1080/21513732.2015.1120780
- Modrow, T., Kuehne, C., Saha, S., Bauhus, J., & Pyttel, P. L. (2020). Photosynthetic performance, height growth, and dominance of naturally regenerated sessile oak (*Quercus petraea* [Mattuschka] Liebl.) seedlings in small-scale canopy openings of varying sizes. *European Journal of Forest Research*, 139(1), 41–52. <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01238-7>
- Muscolo, A., Bagnato, S., Sidari, M. & Mercurio, R. (2014) A review of the roles of forest canopy gaps. *Journal of Forestry Research*, 25, 725–736.
- Nemky, E. (1968) Növényrendszertan II. Dendrológia. Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron.
- Nemzeti Földügyi Központ Erdészeti Főosztály: Magyarország erdeinek összefoglaló adatai 2021. https://nfk.gov.hu/Magyarorszag_erdeivel_kapcsolatos_adatok_news_513 (letöltés időpontja: 2023. 10. 12.)
- Nordén, B., Paltto, H., Claesson, C., & Götmark, F. (2012). Partial cutting can enhance epiphyte conservation in temperate oak-rich forests. *Forest Ecology and Management*, 270, 35–44. doi:10.1016/j.foreco.2012.01.014

- Paganová, Viera. (2008). Ecology and distribution of service tree *Sorbus domestica* (L.) in Slovakia. *Ekologia Bratislava*. 27. 152-167.
- Peterken, G.F. (1996) *Natural Woodland. Ecology and Conservation in Northern Temperate Regions*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Petritan, A.M., Nuske, R.S., Petritan, I.C. & Tudose, N.C. (2013) Gap disturbance patterns in an old-growth sessile oak (*Quercus petraea* L.)-European beech (*Fagus sylvatica* L.) forest remnant in the Carpathian Mountains, Romania. *Forest Ecology and Management*, 308, 67-75.
- Pinheiro, J., D. Bates, S. DebRoy, D. Sarkar, E. authors, and R-core. 2013. *Nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R Package Version: 3.1-160. <https://cran.r-project.org/web/packages/nlme/>.
- R Core Team (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Schütz, J.-P., Saniga, M., Diaci, J. & Vrska, T. (2016) Comparing close-to-nature silviculture with processes in pristine forests: lessons from Central Europe. *Annals of Forest Science*, 73, 911–921.
- Sebek, P., Bace, R., Bartos, M., Benes, J., Chlumska, Z., Dolezal, J., Dvorsky, M., Kovar, J., Machac, O., Mikatova, B., Perlik, M., Platek, M., Polakova, S., Skorpik, M., Stejskal, R., Svoboda, M., Trnka, F., Vlasin, M., Zapletal, M., Cizek, L. (2015) Does a minimal intervention approach threaten the biodiversity of protected areas? A multi-taxa short-term response to intervention in 57 temperate oak-dominated forests. *Forest Ecology and Management* 358: 80–89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.008>
- Tímár, G., (2016): A jelenlegi erdőgazdálkodási módok áttekintése: A hagyományos és újszerű erdőgazdálkodás útjai, alapvető hatásai és természetvédelmi szempontú javításának lehetséges irányai. In: Korda, M. (szerk.) *Az erdőgazdálkodás hatása az erdők biológiai sokféleségére (Tanulmánygyűjtemény)*, Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, Budapest, pp. 11–29.
- Tinya F., Kovács B., Aszalós R., Tóth B. Csépanyi P., Németh Cs., Ódor P. (2020) Initial regeneration success of tree species after different forestry treatments in a sessile oak-hornbeam forest. *FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT* 459: 117810.
- Tinya, F., Kovács, B., Prättälä, Aurora, Farkas, P., Aszalós, R., Ódor, P. (2019a): Initial understory response to experimental silvicultural treatments in a temperate oak-dominated forest. *European Journal of Forest Research* 138(1): 65–77. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1154-8>
- Tinya, F., Márialigeti, S., Bidló, A., Ódor, P. (2019b): Environmental drivers of the forest regeneration in temperate mixed forests *Forest Ecology and Management* 433: 720-728.
- Tóth Bence (2019): Nagyvad fajok újulatra gyakorolt hatásának kísérletes vizsgálata. Szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar.
- Van Couwenberghe, R., Gegout, J.C., Lacombe, E. & Collet, C. (2013) Light and competition gradients fail to explain the coexistence of shade-tolerant *Fagus sylvatica* and shade-intermediate *Quercus petraea* seedlings. *Annals of Botany*, 112, 1421-1430.
- Vera, F.W.M. (2000) *Grazing Ecology and Forest History*. CABI, Wallingford.
- Vilhar, U., Rozenbergar, D., Simoncic, P. & Diaci, J. (2015) Variation in irradiance, soil features and regeneration patterns in experimental forest canopy gaps. *Annals of Forest Science*, 72, 253-266.
- von Lüpke, B. (1998): Silvicultural methods of oak regeneration with special respect to shade tolerant mixed species. *Forest Ecology and Management*, 106(1), 19-26.
- Wickham H (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, <https://ggplot2.tidyverse.org>.
- Wickham H, François R, Henry L, Müller K, Vaughan D (2023). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. <https://dplyr.tidyverse.org>, <https://github.com/tidyverse/dplyr>.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A. & Smith, G. (2009) *Mixed Effects Models and Extension in Ecology with R*. Springer, New York.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az NKFIH PD 134302-es projektje és a LIFE16NAT/IT/000245 projekt támogatásával valósult meg. Szilágyi Sarolta témavezetőjét, Tinya Flórát a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatta.

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Dr. Tinya Flórának, az útmutatásért, valamint, hogy dolgozatom elkészítésében végig segített és értékes tanácsokkal látott el. Köszönöm továbbá belső konzulensemnek, Dr. Elek Zoltánnak, hogy a rengeteg jó tanácsával segítette munkám elkészültét.

Köszönettel tartozunk Frank Tamásnak, Aszalós Rékának és a Bölöni Jánosnak a kísérlet létrehozásában nyújtott közreműködésükért, Horváth Csenge Veronikának, József Júliának és Németh Csabának a terepi munkában való részvételükért, valamint a Bükk Nemzeti Park Igazgatóság munkatársainak, Kovács Árpádnak, Zagyva Gergelynek és Harmos Krisztiánnak a kísérleti infrastruktúra fenntartásában nyújtott segítségéért.