

Természetvédelmi célú léknyítások hatása egy cseres-tölgyes újulatára

Szilágyi Sarolta^{1*}, Aszalós Réka², Bölöni János², Frank Tamás², Kovács Bence², Ódor Péter^{2,3} és Tinya Flóra²

¹Állatorvostudományi Egyetem, Budapest, 1078 Budapest, István u. 2.

²HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont, Ökológiai és Botanikai Intézet, 2163 Vácrátót, Alkotmány út 2–4.

³Soproni Egyetem EMK Környezet- és Természetvédelmi Intézet, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4.

*E-mail: charlotteszilagyi@gmail.com

Összefoglaló: A természetvédelmi erdőkezelések célja a vágásos gazdálkodás által homogenizált erdők szerkezetének és fafajösszetételének változatosabbá tétele, és ezáltal a biodiverzitás fokozása. Kutatásunkban természetvédelmi célú léknyítások hatásait vizsgáltuk kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), mezei juhar (*Acer campestre*) és házi berkenye (*Sorbus domestica*) csemetéinek növekedésére, kezeletlen zárterdei kontrollhoz viszonyítva, a fény- és mikroklimatikus viszonyok tükrében. Eredményeink alapján lékek nyitásával úgy növelhető meg az újulati szintre jutó fény mennyisége, hogy közben megőrizhető a zárterdei hűvös-párás mikroklima. A léknyítás segíti minden vizsgált fafaj csemetéinek növekedését, így megindítható a homogén, zárt állományok szerkezeti heterogenizációja. A megnövekedett fényből az elegyfajok csemetéi jobban profitáltak, mint a tölgy, a léknyításokkal tehát a faállomány jövőbeli elegyessége is fokozható.

Kulcsszavak: *Acer campestre*, lék, mikroklima, *Quercus petraea*, *Sorbus domestica*, természetvédelmi erdőkezelés, záródáshiány, felújulás

Bevezetés

Hazánk területének 22,3 százalékát borítják erdők, melyeknek megközelítőleg 58 százaléka áll őshonos fafajokból (NFK Erdészeti Főosztály 2024). Ezek a faanyag biztosítása mellett változatos élőhelyeket alkotnak, továbbá rekreációs funkciókat is betöltenek, és számos egyéb ökoszisztéma-szolgáltatást nyújtanak (Löf *et al.* 2015, Guyot *et al.* 2016). Hazai erdeink mintegy 90 százalékát azonban a mai napig vágásos üzemmódban kezelik (NFK Erdészeti Főosztály 2024), amelynek elsődleges célja a gazdaságilag jövedelmező faanyagtermelés. A vágásos gazdálkodás azonban egykorú, homogén szerkezetű és összetételű állományokat

eredményez (Matthews 1991). Ez a több évszázada zajló homogenizáció a különböző szerkezeti elemekhez vagy elegyfajokhoz kötődő erdei fajok, és így a teljes erdei ökoszisztéma diverzitása szempontjából igen kedvezőtlen, és emellett az erdők által nyújtott ökoszisztéma-szolgáltatásokra is negatív hatással van (Duguid és Ashton 2013, EEA 2016, IPBES 2018).

A probléma kezelésére gazdasági erdőkben jó alternatívát nyújthat a finom léptékű beavatkozásokat használó ún. örökerdő-gazdálkodás (Pommerening és Murphy 2004, Mason *et al.* 2022). Emellett bizonyos, elsősorban védett területeken lehetőség nyílt a vágásos gazdálkodás okozta kedvezőtlen hatások ellensúlyozására az erdőállomány gazdálkodás alól történő kivonásával is (Lindenmayer és Franklin 2002). A huzamosabb ideig emberi beavatkozástól mentes környezetben megindulhatnak a természetes erdődinamikai folyamatok, amelyekről hosszú távon az erdő szerkezetének és biodiverzitásának ökológiai szempontú javulását várjuk (Bauhus 2009). Az ilyen, művelésből kivont védett területek tudományos szempontból kiemelt jelentőségűek, mivel lehetőséget biztosítanak a természetes erdődinamikai folyamatok megfigyelésére (Nagel *et al.* 2013). Sok esetben azonban az állomány szerkezeti és összetételbeli heterogenitásának növekedése, és ezáltal az erdei életközösség regenerációja spontán módon igen lassan megy végbe (Bernes *et al.* 2015), de a folyamatok felgyorsíthatók célzott természetvédelmi beavatkozásokkal (Keeton 2006, Frank és Szmorad 2014, Bernes *et al.* 2015).

A természetvédelmi erdőkezelések célja az adott területen lévő őshonos erdőállomány természetességi állapotának javítása (Bauhus 2009). Alapvetően nem erdőgazdálkodási tevékenység, a fakitermelés itt nem célja, hanem eszköze az elvégzett kezelésnek (Frank és Szmorad 2014). A beavatkozások hozzájárulnak a természetes erdődinamikai folyamatok beindításához, a mikroélőhelyek számának és sokféleségének növeléséhez, segítve az erdei biodiverzitás regenerálódását. Ilyen jellegű kezelések lehetnek a különböző típusú holtfák létrehozása, inváziós fajok eltávolítása, elegyfajok és átlagosnál vastagabb faegyedek megsegítése, vagy – a jelen tanulmányban is vizsgált, ezért az alábbiakban részletesebben bemutatott – léknyitások (Doerfler *et al.* 2017).

A mérsékelt övben jellemző finom léptékű erdődinamika lényege, hogy egyes fák vagy kisebb facsoportok elhalásával az állományban kis kiterjedésű fátlan foltok, a zárt erdőhöz képest eltérő környezeti viszonyokkal rendelkező lékek keletkeznek (Peterken 1996). A lékekben jellemzően megnövekszik a fény mennyisége, valamint a talajnedvesség (Muscolo *et al.* 2014, Vilhar *et al.* 2015, Horváth *et al.* 2023), ami segíti a természetes felújulás megindulását (Tinya *et al.* 2020). A lékek keletkezése emellett az aljnövényzet és számos erdei élőlénycsoport tömegességét és összetételét is módosítja a zárterdei körülményekhez képest (de Groot *et al.* 2016, Elek *et al.* 2018, Samu *et al.* 2023). Ugyanakkor a nagy

kiterjedésű vágásterületekhez viszonyítva a lékek – a környező állomány védőhatásának köszönhetően – megőrzik a zárt erdők hűvös, párás mikroklímáját (Abd Latif és Blackburn 2010, Kovács *et al.* 2020), megelőzve a meleg, száraz körülményeket nem toleráló fajok eltűnését (Boros *et al.* 2019).

A mesterségesen kialakított lékek a természetes dinamika során létrejövő lékeket hivatottak imitálni. Lékek kialakítása alapvető beavatkozásnak számít az örökerdő-gazdálkodás során (Mason *et al.* 2022), de emellett a természetvédelmi erdőkezeléseknek is fontos eleme (Sebek *et al.* 2015, Thom *et al.* 2020). Lékek nyitásával a korábbi vágásos gazdálkodás következtében homogén szerkezetűvé vált állományokban foltos mintázatban megindítható a felújulás, növelve az erdőszerkezet heterogenitását (Götmark 2013). Amennyiben az állományban jelen van elegyfajok újulata, vagy a környező tájból bejuthatnak propagulumaik, a lombsátor megnyitásával megsegíthető ezen fajok felújulása, ami a fajokösszetétel változatosabbá válását eredményezi (Frank és Szmorad 2014, Löf *et al.* 2015, Timár 2016).

A lékekben zajló felújulási folyamatokról viszonylag sok ismerettel rendelkezünk bükkösökre vonatkozóan (Collet *et al.* 2001, Madsen és Hahn 2008, Wagner *et al.* 2010), de a tölgy dominálta erdők esetében ezen folyamatok kevésbé feltártak. A tölgyek felújulását, fényigényességük miatt, természetes módon feltehetőleg nagyobb léptékű bolygatások biztosíthatták (Vera 2000, Bobiec *et al.* 2011, Nemens *et al.* 2018). A tölgyesek természetes dinamikájáról azért is hiányosak az ismereteink, mert az évszázadok óta tartó emberi használat miatt szinte nem maradtak fenn referenciául szolgáló tölgyes őserdők (Bölöni *et al.* 2021). Mivel azonban a cseres-tölgyesek hazánk egyik legkiterjedtebb természetes erdőtypusát jelentik (http1), és nagy részük a bennük alkalmazott vágásos üzemmód következtében napjainkban igen homogén szerkezetű és fajszegény, fontos kérdés, hogy miképpen növelhető ezen állományok szerkezeti és összetételbeli heterogenitása léknyitások segítségével.

Kutatásunkban természetvédelmi célú léknyitások újulatra gyakorolt hatását vizsgáljuk korábban vágásos üzemmódban kezelt cseres-kocsánytalan tölgyes állományban. A folyamatok jobb megértése érdekében feltárjuk a lékekben kialakuló abiotikus viszonyokat is.

Kérdéseink:

1) Hogyan alakulnak a fényt jellemző záródáshiány, valamint a levegő szárító hatását kifejező vízgőztelítési hiány természetvédelmi céllal létrehozott lékekben, zárterdei kontrollterületekhez képest?

2) Hogyan alakul három fafaj (kocsánytalan tölgy – *Quercus petraea* [Matt.] Liebl. és két elegyfaj, a mezei juhar – *Acer campestre* L. és a házi berkenye – *Sorbus domestica* L.) csemetéinek növekedése a lékekben, a zárt állományhoz viszonyítva?

2a) Hogyan alakul a csemeték fejlődése a lék, ill. a zárt állomány abiotikus körülményei között? Ezt a kérdést standardizált módon, beültetett csemetéken vizsgáltuk, amelyek körül a kompetíció zavaró hatásának elkerülése érdekében ápolást végeztünk.

2b) Hogyan fejlődnek a csemeték a lékekben és a zárt állományban, amennyiben az ott uralkodó kompetíciós viszonyokat is figyelembe vesszük? A kérdés megválaszolásához a természetes aljnövényzetben spontán jelen lévő csemeték növekedését vizsgáltuk, amelyek körül nem történt ápolás.

Anyag és módszer

A vizsgálati terület

A vizsgálati terület a Kelet-Cserhátban, a varjúbérci Garáb 9F és 9G erdőrészekben helyezkedik el (1. táblázat). A terület éves átlaghőmérséklete 8,5 °C, az átlagos éves csapadékmennyiség 600 mm (Dövényi 2010). A terület nyugati fekvésű, mérsékelt lejtésű (15–20°), 400–540 m tengerszint feletti magasságban található. Talaja andezit alapkőzeten található agyagbemosódásos barna erdőtalaj (Führer *et al.* 2017). A területen cseres-kocsánytalan tölgyesek, gyertyános-kocsánytalan tölgyesek és ezek átmenetei jellemzők, melyek közül a jelen vizsgálatra kijelölt mintaterületek cseres-tölgyesekben (L2a élőhely-kategória, Bölöni *et al.* 2011) helyezkednek el. A korábbi, vágásos üzem módú erdőkezelés eredményeként a beavatkozások előtt a terület faállománya közel egykorú, homogén szerkezetű, fajszegény volt. Uralkodó fafajai a kocsánytalan

1. táblázat. A vizsgált erdőrészek leíró adatai.

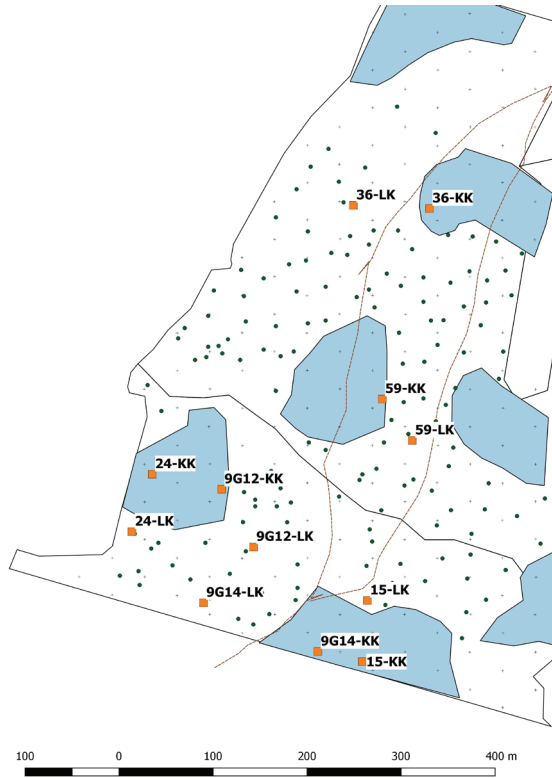
Table 1. Descriptive stand data of the studied forestry compartments. (1): Forestry compartment; (2): Tree species; (3): Proportion of the species (%); (4): Mean age (year); (5): Mean height (m); (6): Mean diameter at breast height (cm).

Erdőrészet (1)	Fafajok (2)	Elegyarány (%) (3)	Átlagos kor (év) (4)	Átlagos magasság (m) (5)	Átlagos mellma- gassági átmérő (cm) (6)
Garáb 9F	Kocsánytalan tölgy (<i>Quercus petraea</i>)	79	65	17	26
	Csertölgy (<i>Quercus cerris</i>)	10	65	17	26
	Gyertyán (<i>Carpinus betulus</i>)	11	65	15	20
Garáb 9G	Kocsánytalan tölgy (<i>Quercus petraea</i>)	85	75	16	28
	Csertölgy (<i>Quercus cerris</i>)	15	75	18	28

tölgy, gyertyános-tölgyes állományrészekben a gyertyán (*Carpinus betulus* L.), míg a cseres-tölgyes állományrészekben a csertölgy (*Quercus cerris* L.). A leggyakoribb elegyfajok a mezei juhar és a virágos kőris (*Fraxinus ornus* L.), ritkábbak a barkóca (*Sorbus torminalis* [L.] Crantz), a vadkörte (*Pyrus pyraeaster* [L.] Burgsd.) vagy a vadalma (*Malus sylvestris* [L.] Mill.).

A vizsgálati elrendezés és a terepi mintavétel

2015–2016 telén a Bükki Nemzeti Park Igazgatóság különböző természetvédelmi erdőkezeléseket alkalmazott a területen, megközelítőleg 15 hektárt érintve (1. ábra). A beavatkozások egyik célja a faállomány szerkezeti és összetételbeli heterogenitásának fokozása volt, melynek érdekében az egységesen zárt



1. ábra. A vizsgálati terület, a 2015–2016 telén elvégzett természetvédelmi célú beavatkozásokkal (zöld pontok), és azok kezeletlen kontrollterületeivel (kék foltok), valamint a jelen vizsgálatba bevont 12 mintaterülettel (narancssárga négyzetek). KK – kontrollkvadrátok, LK – lékkvadrátok.
Figure 1. The study area, with conservation-oriented interventions carried out during winter 2015–2016 (green dots) and their untreated control areas (blue patches), and the 12 sample plots included in the present study (orange squares). KK - control quadrats, LK - gap quadrats.

lombkoronát lékek nyitásával megbontották, hogy elősegítsék az újulat és a cserjeszint fejlődését, illetve az elszórtan előforduló elegyfajok növekedését. A természetvédelmi erdőkezelés keretében emellett – a biodiverzitás növelése érdekében – sor került az álló és fekvő holtfa mennyiségének növelésére és különféle mikrohabitatok kialakítására is, ezek azonban nem képezik a jelen vizsgálat tárgyát.

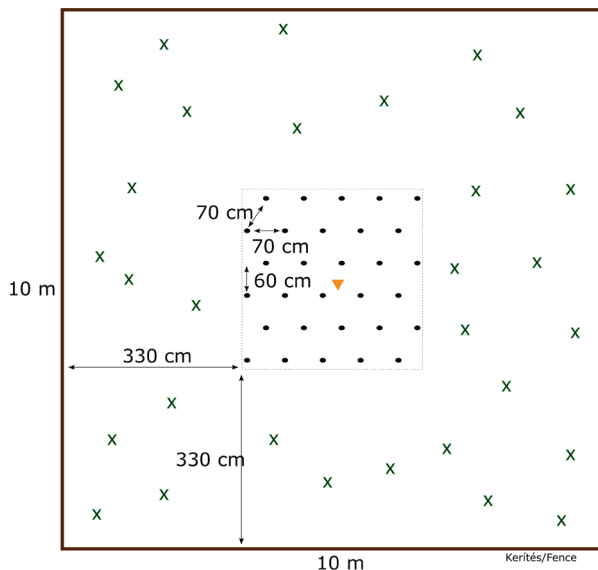
A mesterségesen kialakított lékek közül hat lék közepén 2017-ben bekerítésre került egy-egy 10 m × 10 m-es terület. A vizsgált lékek 200–420 m² területűek voltak (a szegélyező fák törzsei között). Minden lék-mintaterület mellé kijelöltünk egy-egy 10 m × 10 m-es, zárterdei kontroll-mintaterületet, hasonló termőhelyű és faállományú kezeletlen állományrészben, amelyek szintén be lettek kerítve.

2017 őszén mind a 12 vizsgált mintaterületre beültetésre került 10–10 kocsánytalantölgy-, mezei juhar- és házi berkenye-csemete (a 12 mintaterületre összesen 360 darab). A csemeték magassága 20–50 cm közötti volt. A mintaterületeken a természetes újulatban spontán fejlődő facsemeték közül a kocsánytalan tölgy és mezei juhar fordult elő statisztikailag értékelhető mennyiségben, ezek közül összesen 120 darab tölgy- és 87 juharcsemete került kijelölésre, hasonló mérettartományból (továbbiakban: „spontán csemeték”). A kocsánytalan tölgy, amely a vizsgált erdők egyik állományalkotó fafaja, és amelynek ökológiai és erdőgazdálkodási szerepe is kiemelkedő, elsődleges fontosságú volt a vizsgálatban. A természetes csertölgyújulat alacsony száma miatt ez a faj nem került be a felmérésbe. A mezei juhart mint az állomány egyik leggyakoribb elegyfaját vontuk be a vizsgálatba. Bár a természetes újulatban a varjúberci állományban nem jellemző a házi berkenye, de általában a cserestölgyeseknek egy fontos és értékes elegyfaja, ezért ezen faj ültetett csemetéi is bekerültek a kísérletbe.

Az erdészeti csemetéket a kerítések középső részére ültettük, egymástól 60–70 cm-re (2. ábra). A beültetés utáni első évben elpusztult egyedek 2018 őszén pótlásra kerültek. A spontán csemeték a beültetett csemeték középső négyzetén kívüli területeken (de szintén a kerítésen belül) kerültek kijelölésre. A beültetés esetében a csemetéknek tisztán a léknyitás miatt megváltozó abiotikus körülményekre adott válaszára voltunk kíváncsiak, így itt a kompetitív növényzetet, elsősorban a vadszedret (*Rubus fruticosus* agg. L.) és a veresgyűrű somot (*Cornus sanguinea* L.) több alkalommal eltávolítottuk, míg a spontán csemeték esetében az újulat természetes kompetíciós körülmények közötti fejlődését vizsgáltuk.

A spontán csemeték magasságát 2019-ben és 2023-ban, augusztus folyamán mértük. Ugyanezen alkalom során, 2023-ban becsültük a lombkoronazáródásihiány értékét, szférikus denziométer segítségével (Lemmon 1956), 130 cm-es magasságban. A becslés a mintaterület öt pontján történt: a középpontban, illetve a négy saroktól 1–1 méterrel a középpont felé. A hőmérsékletet és a relatív

páratartalmat 2023 nyarán (június 1-től augusztus 31-ig) mintaterületenként egy-egy MCC USB 502 típusú mikroklíma logger mérte a mintaterületek középpontjában, 60 cm-es magasságban, 15 percenként.



2. ábra. A vizsgálati elrendezés egy 10 m × 10 méteres mintaterületen belül. Fekete pontok: beültetett csemeték, X: spontán jelen lévő csemeték, ▼: mikroklíma logger.

Figure 2. The study design within a 10 m × 10 m sample plot. Black dots: planted saplings, X: spontaneously present saplings, ▼: microclimate logger.

Adatfeldolgozás

A hőmérséklet és a relatív páratartalom napi átlagadataiból napi átlagos vízgőztelítési hiányt (VPD, „vapour pressure deficit”; kPa) számoltunk, amely a levegő adott hőmérséklet melletti szárító kapacitását jellemzi (Allen *et al.* 1998). Mivel a vízgőztelítési hiány esetében nemcsak az átlagérték lehet jelentős a növényzet szempontjából, hanem a szélsőértékek is, ezért ezek hatását is vizsgáltuk. A napi abszolút minimum és maximum helyett – a közvetlen besugárzásból adódó kiugró értékek hatásának csökkentése érdekében – az 5 és 95%-os percentiliseket használtuk, azaz azokat az értékeket, amelyeknél a napi VPD 5, illetve 95%-a kisebb.

A csemeték lékekben, illetve a zárt erdőben mutatott túlélési sikerét általános lineáris modell segítségével hasonlítottuk össze, amelyekben a függő változó a 2019 és 2023 közötti egyedszámváltozás volt.

A növekedés elemzéséhez a 2023-as felvételezéskor élő csemeték adatait használtuk fel. A csemeték növekedését a 2019 és 2023 közötti magassági növekmény értékével jellemeztük.

A kezelés környezeti változókra gyakorolt hatását általános lineáris, míg a csemetenövekedésre gyakorolt hatását általános lineáris kevert modellekkel elemeztük (Zuur *et al.* 2009), amelyekben fix faktorként a kezelés (lék vagy kontroll), random faktorként pedig a mintaterület szerepelt. A modellezés előtt ellenőriztük az adatok normalitását Kolmogorov–Smirnov-próbával, és ahol szükséges volt, ott a csemetenövekmény adatokon ln-transzformációt alkalmaztunk. Az adatok elemzését és ábrázolását az R 4.4.2 programcsomagban végeztük (R Development Core Team 2024), az nlme (Pinheiro *et al.* 2013), vegan (Oksanen *et al.* 2022), ggplot2 (Wickham 2016), dplyr (Wickham *et al.* 2023) és plantecophys (Duursma 2015) csomagok használatával.

Eredmények

A lombkorona-záródáshiány és a vízgőztelítési hiány alakulása a lékekben és a zárterdei kontrollterületeken

A záródáshiány-értékek szignifikánsan elkülönültek a lék- és kontroll-mintaterületek között (2. táblázat; 3. ábra). A zárt erdőben az átlagos záródáshiány 5,6% volt, és az adatok igen szűk intervallumot öleltek fel. Ezzel szemben a lékekben átlagosan 22,5%-os záródáshiány volt jellemző, de a lékek eltérő méretéből és a lékeken belüli több pozícióban történt adatgyűjtésből adódóan az értékek sokkal jobban szórtak.

A vízgőztelítési hiány esetében az átlagértékek nem tértek el szignifikánsan a lékek és a zárt erdő között. Ugyanakkor a minimumértékek szignifikánsan alacsonyabbak, a maximumértékek pedig szignifikánsan magasabbak voltak a lékekben, mint a kontrollterületeken (2. táblázat, 4. ábra), vagyis a vízgőztelítési hiány a lékekben nagyobb napi ingadozást mutatott, mint a zárt erdőben.

A csemeték túlélése és négyéves növekményüknek alakulása

A beültetett csemeték közül 243, a spontán csemeték közül 195 maradt életben a 2023-as felvételezésig. A csemeték túlélése egyik faj esetében sem mutatott szignifikáns eltérést a lék és kontrollterületek között (2. táblázat).

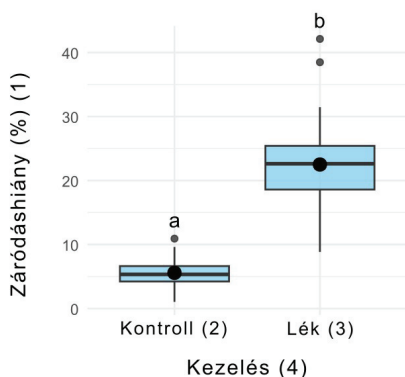
A három vizsgált faj közül a legkisebb átlagos növekedést a kocsánytalan tölgy mutatta, a mezei juhar növekedése közepes, a házi berkenyéé pedig az előző két fajénál intenzívebb volt (5. ábra). Minden faj esetében előfordultak negatív növekményértékek is, mivel esetenként a csemeték visszaszáradtak. A spontán csemeték mind a tölgy, mind a mezei juhar esetében intenzívebben növekedtek, mint a beültetett egyedek, az eltérés a tölgy esetében a lékekben több mint négyszeres volt.

2. táblázat. Az általános lineáris modellek eredményei. Fix faktor: kezelés (lék, zárt erdő). A növekmények esetében általános lineáris kevert modelleket alkalmaztunk, random faktorként a mintaterület szerepelt. VPD – vízgőztelítési hiány, p5: 5%-os percentilis, p95: 95%-os percentilis. Félkövérrrel jelöltük a szignifikáns modelleket.

Table 2. Results of the general linear models. Fix factor: treatment (gap, closed forest). In the case of the increments, general linear mixed models were applied, with the plot as random factor. VPD – vapor pressure deficit, p5: 5% percentile; p95: 95% percentile. Significant models are marked in bold. (1): Dependent variables; (2): Canopy openness; (3): VPD mean, (4): Survival; (5): Planted saplings; (6): Spontaneous saplings; (7): Increment.

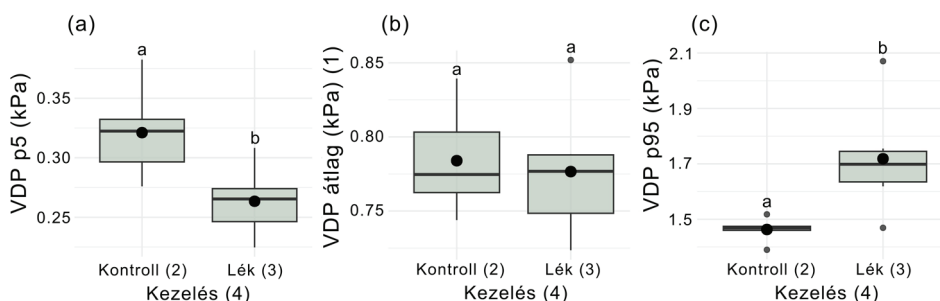
Függő változó (1)	F	p
Záródáshiány (2)	184,3425	< 0,0001
VPD p5	8,818	0,031
VPD átlag (3)	0,099	0,765
VPDp95	9,713	0,026
Túlélés (4):		
Beültetett csemeték (5):		
Kocsánytalan tölgy (<i>Quercus petraea</i>)	0,185	0,667
Mezei juhar (<i>Acer campestre</i>)	4,1176	0,069
Házi berkenye (<i>Sorbus domestica</i>)	3,077	0,110
Spontán csemeték (6):		
Kocsánytalan tölgy (<i>Quercus petraea</i>)	1,177	0,304
Mezei juhar (<i>Acer campestre</i>)	0,474	0,514
Növekmény (7):		
Beültetett csemeték (5):		
Kocsánytalan tölgy (<i>Quercus petraea</i>)	2,677	0,177
Mezei juhar (<i>Acer campestre</i>)	13,063	0,015
Házi berkenye (<i>Sorbus domestica</i>)	8,192	0,035
Spontán csemeték (6):		
Kocsánytalan tölgy (<i>Quercus petraea</i>)	6,853	0,047
Mezei juhar (<i>Acer campestre</i>)	12,581	0,038

A csemeték minden faj esetében a lékben mutatták a nagyobb magassági növekedést. A tölgy beültetett csemetéinek esetében ez nem volt szignifikáns, de a spontán csemeték esetében igen. Az elegyfajok közül a mezei juhar esetében mind a beültetett, mind a spontán csemeték növekménye szignifikánsan nagyobb volt a lékekben, mint a kontrollterületeken, és a beültetett házi berkenyék növekedésére is szignifikáns pozitív hatása volt a lékeknek (2. táblázat, 5. ábra).



3. ábra. A lombkorona-záródáshiány értékei a vizsgált lékekben és zárterdei kontrollterületeken. Az eltérő betűk szignifikáns eltérést jelölnek ($p < 0,05$).

Figure 3. Canopy openness values in the studied gaps and closed forest control plots. Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$). (1) Canopy openness; (2) Control; (3) Gap; (4) Treatment.



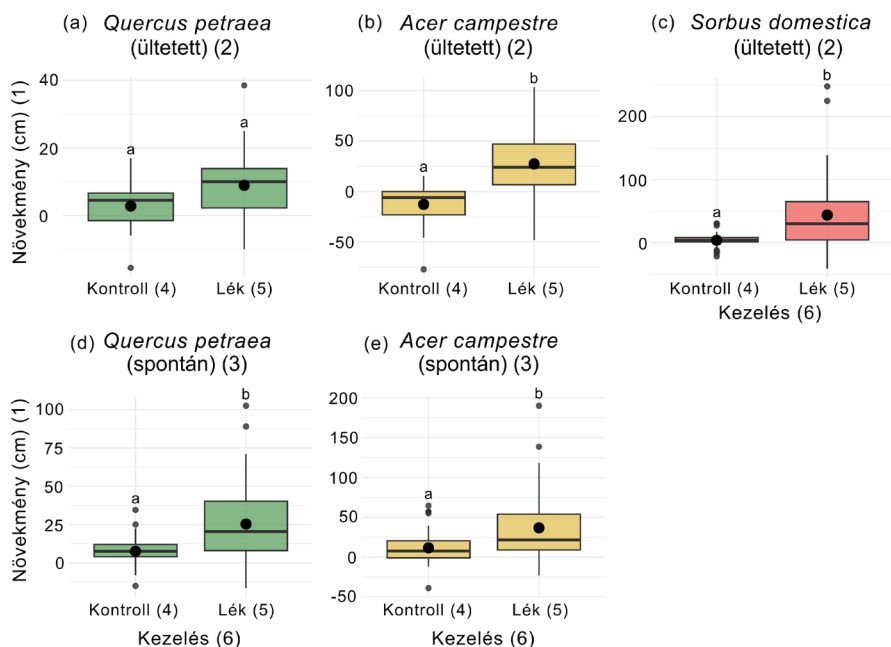
4. ábra. A napi vízgőztelítési hiány (VPD) minimuma (a), átlaga (b) és maximuma (c) 2023-ban a lékekben és a zárterdei kontrollban. Az eltérő betűk szignifikáns eltérést jelölnek ($p < 0,05$).

Figure 4. Minimum (a), mean (b) and maximum (c) of daily vapour pressure deficit (VPD) in 2023 in the gaps and closed forest control. Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$). (1) VPD mean; (2) Control; (3) Gap; (4) Treatment.

Diszkusszió

A léknyitás hatása a mikroklimatikus viszonyokra

A kísérletünkben alkalmazott 200-400 m²-es lékekkel a zárt állományra egyenletesen jellemző 5% körüli záródáshiány a lékekben megközelítőleg átlagosan 22%-ra volt növelhető, a mért maximális záródáshiány 42% volt. Sabatini és munkatársai (2014) száraz tölgyesek őserdőjellegű állományaiban 4



5. ábra. A beültetett és a spontán csemeték négyéves magassági növekménye lékekben és zárt erdőben. Az egyes alábrák Y tengelyének skálázása különböző. Az eltérő betűk szignifikáns eltérést jelölnek ($p < 0,05$).

Figure 5. Four-year height increment of planted and spontaneous saplings in gaps and closed forest. The scaling of the Y-axis of each sub-figures is different. Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$). (1) Increment; (2) planted; (3) spontaneous; (4) Control; (5) Gap; (6) Treatment.

és 23% közötti záródáshiányokat mértek. Ez alapján azt mondhatjuk, hogy az általunk alkalmazott léknyitásokkal a gazdálkodás által homogén záródásúvá alakított erdők záródás-, és ezáltal fényviszonyait közelíteni tudjuk a természetes erdőkre jellemző viszonyokhoz.

A lombkorona nyitottsága jelentős hatással van a mikroklíma szélsőségeire (Geiger *et al.* 1995). Dovčiak és Brown 2014-es, észak-amerikai elegyes bükkösökben végzett tanulmányukban kimutatták, hogy a hőmérséklet maximumai nőttek, míg a minimumai csökkentek a lombkorona-záródáshiány növekedésével. Ez egybecseng az általunk kapott eredménnyel a VPD-t, azaz a levegő szárító hatását illetően, miszerint a lékekben a szélsőségek fokozódtak, de a VPD átlagai nem mutattak jelentős eltérést a kezelések között. Kovács és munkatársai (2020) hazai gyertyános-tölgyes állományban szintén azt találták, hogy 300 m²-es lékekben a páratartalom tartománya megnőtt, de az átlagérték

a zárterdeihez hasonló maradt. Eredményeink bizonyítják, hogy a léknyításnak a szárazabb viszonyokkal jellemezhető cseres-tölgyesek esetében is hasonló hatása van a mikroklímára. 200-400 m²-es kiterjedésű lékek nyitásával tehát úgy növelhető meg a fény mennyisége, hogy közben megőrizhető a zárterdei hűvös-párás mikroklíma.

A fásszárú újulat léknyításra adott válasza

Mindhárom vizsgált faj esetében ki tudtuk mutatni, hogy a magassági növekmények szignifikánsan nagyobbak a lékekben, mint a zárt erdőben. Ez összhangban áll korábbi vizsgálatok tapasztalataival, miszerint a lékek kedvező körülményeket nyújtanak a fásszárú újulat számára (Muscolo *et al.* 2014, Vilhar *et al.* 2015). A lékekben megemelkedett fénymennyiség és a levegő szárító hatásának szélsőségesebbé válása ellentétes hatású lehet a felújulás szempontjából. Bizonyított, hogy a csemeték számára a fény az egyik meghatározó forrás, amelynek megnövekedett mennyisége hozzájárul a lékekben kialakuló fejlettebb újulati szinthez (Bobiec *et al.* 2007, Schütz *et al.* 2016). Ugyanakkor a lékekben nyári napokon a vízgőztelítési hiány magasabb maximumértékeket ér el, ami kedvezőtlen lehet a csemeték fejlődése szempontjából (Lendzion és Leuschner 2008). Eredményeink alapján a megnövekedett fény pozitív hatása erősebbnek bizonyult, mint a levegő szárító hatásának kedvezőtlen volta, mivel a csemeték ez utóbbi ellenére is jobban fejlődtek a lékekben. A két hatás mérlege azonban más termőhelyi viszonyok és szélsőségesebbé váló klíma esetén megfordulhat. Ezen összefüggések pontos feltárása további vizsgálatokat igényel.

A léknyításra adott növekedési válaszok intenzitása fafajonként eltérő volt. A legintenzívebb növekedést a házi berkenyék mutatták. A házi berkenyéről ismert, hogy fényigényes, kedveli a magasabb hőmérsékletet, a száraz vagy enyhén párás környezetet (Paganová 2008). A beavatkozásra adott szignifikáns növekedési válasz és az előforduló jól fejlett csemeték alapján elmondhatjuk, hogy a házi berkenye számára igen kedvező a léknyítás.

A mezei juhar zártabb lombosított, üde lombdombokban is előforduló, viszonylag árnyéktűrő faj, amely mindemellett nyíltabb, fényben gazdagabb erdőkben, bokorerdőkben és ligetes erdőkben is gyakori (Nemky 1968, Király 2009). Vizsgálataink alapján elmondható, hogy a faj – árnyéktűrő volta ellenére – a lékekben kialakuló jobb megvilágítottságra intenzív növekedéssel reagál. Hasonló eredményre jutottak Kovács és munkatársai (2013) borsosnyei mesterséges lékek vizsgálata során, ahol tölgyes lékekben a mezei juhar intenzív előretörését figyelték meg. A mezei juhar esetében a spontán és a beültetett csemeték egyaránt szignifikáns választ adtak a léknyításra, bár az előbbieket jobb növekedést mutattak. Ennek magyarázata lehet, hogy a faj klonális volta miatt (<http2>) a spontán jelenlévő

csemeték gyökérrendszere egymással és nagyobb egyedekkel is kapcsolt lehet, így segítve a növekedést esetlegesen kedvezőtlenebb körülmények között található rametek esetében is (Jónsdóttir és Watson 1997).

Bár kevésbé kifejezetten, mint az elegyfafajoknál, de a spontán tölgycsemeték növekedésében is szignifikáns eltérés volt az átlagosan 5%-os záródáshiányú zárt erdő és az átlagosan 22,5%-os záródáshiányú lékek között. Ez összhangban van Ádám és munkatársai (2018) eredményeivel, akik hazai cseres-tölgyesekben azt tapasztalták, hogy a kocsánytalantölgy-csemeték unimodális választ mutatnak a záródáshiányra: tömegességük 15-20%-os záródáshiány mellett a legmagasabb, míg 5%-os záródáshiánynál minimális.

A beültetett tölgycsemeték esetében azonban – bár a trend látható volt – nem tudtunk szignifikáns lékhatást kimutatni. Korábbi kutatások igazolták, hogy a kocsánytalantölgy-magoncok csírázás után néhány évig árnyéktűrők (von Lüpke 1998, Tinya *et al.* 2019). A tölgycsemeték az első években alapvetően a gyökérzetüket erősítik, miközben magassági növekedésük még nem jelentős. Néhány év elteltével az erős gyökérzetnek köszönhetően már hatékonyan tudnak vizet és tápanyagokat felvenni a talajból – ekkor válnak képessé a megnövekedett fény hasznosítására, és ekkor indulhat be a magassági növekedésük (Larsen és Johnson 1998). Kísérletünkben a spontán csemeték korábban kerítetlen területeken lettek kijelölve, ahol intenzív vadragásnak voltak kitéve. Így valószínű, hogy ezek idősebbek voltak, és fejlettebb gyökérzettel rendelkeztek, mint a hasonló kezdeti magasságú beültetett csemeték. Ez tehette lehetővé, hogy – különösen a lékek jobb fényviszonyai hatására – a spontán csemeték intenzívebben tudtak növekedni, mint a beültetettek.

A tölgycsemeték másik két vizsgált fajnál jelentősen kisebb mértékű növekedését egyéb okok is magyarázhatják. Elképzelhető, hogy a tölgyek lékekben is gyenge növekedése annak köszönhető, hogy a vizsgált lékek nem elegendően nagyok ennek a fényigényes fajnak a fejlődéséhez (Ligot *et al.* 2013, Van Couwenberghe *et al.* 2013). Ugyanakkor több vizsgálat szerint a tölgyek alacsony relatív megvilágítottság mellett is képesek jó növekedésre (Diaci *et al.* 2008, Csépanyi *et al.* 2021). Az, hogy a csemeték milyen megvilágítás mellett képesek intenzíven növekedni, függhet a termőhelyi viszonyoktól, amelyek cseres-tölgyesben az üde erdőkénél kedvezőtlenebbek a szárazabb, melegebb mikroklimának köszönhetően. Demeter és munkatársai (2021) szerint az inváziós kórokozó tölgylisztharmat is csökkentheti a tölgycsemeték árnyéktűrését. Mivel a vizsgált csemetéken is megfigyelhető volt lisztharmat-fertőzöttség, ez is hozzájárulhatott a gyenge növekedésükhöz. A tölgyekről ismert, hogy a kompetíciós képességük gyengébb számos más fafajénál (Mölder *et al.* 2019), így az aljnövényzettel való kompetíció is a felújulást gátló tényezők között lehet. Mintaterületeinken a spontán csemeték

számára elsősorban a szeder, illetve a veresgyűrű som jelenléte okozhatott erős kompetíciós hatást. A beültetett csemeték esetében a domináns kompetitorok ugyan eltávolításra kerültek, a lékek intenzív megvilágítást és talajnedvesség-többletet kapó középső részein azonban a lágyszárú gyepszint (füfélék) is jelentős sűrűségű aljnövényzetet alkotott, gyengítve az ültetés miatt amúgy is alacsonyabb fitneszű csemeték növekedését. A lágyszárú aljnövényzet csemetékre gyakorolt kompetíciós hatását számos korábbi kutatás is alátámasztja (pl. Denslow *et al.* 1998, Annighöfer *et al.* 2015). A beültetett csemeték esetében az ültetéssel járó stressz és számos csemete kezdeti években történő visszaszáradása (amely Larsen és Johnson [1998] szerint a tölgyek fejlődésének normális velejárója) is fontos tényező lehetett a lassabb növekedésben.

Konklúzió, gyakorlati vonatkozások

A vágásos erdőgazdálkodás felhagyásával erdeinkben csak lassan indul meg az állomány szerkezetének és összetételének heterogenizációja, de vizsgálatunk megmutatta, hogy léknyitásokkal a folyamat felgyorsítható. A foltos mintázatban létrejövő újulat növeli az erdőszerkezet heterogenitását, és lehetőséget ad változatosabb koreloszlású erdő kialakulására. A kocsánytalan tölgy felújulásának elősegítése érdekében érdemes a lékeket a már spontán módon jelen levő tölgyújulat foltjai fölött létrehozni, mivel ezen faj ültetett egyedei rendkívül lassan nőnek, és nagyarányú a csemeték visszaszáradása. Új makkok pedig igen korlátozott mértékben hullanak be a már meglévő lékekbe, így a léknyitás után új magoncok spontán megjelenése csak kis lékek esetén várható (Gitau 2023).

Mivel a lékekben az elegyfajok a tölgnél erőteljesebb növekedést mutatnak, ezért léknyitásokkal az állomány elegyessége is fokozható. A házi berkenye mint értékes elegyfaj kiemelkedően jól fejlődik a létrehozott lékekben. Mivel azonban spontán módon igen ritkán fordul elő tölgyeseinkben, arányának növelése érdekében szükség lehet a faj beültetésére. Ezen faj esetében az ültetési stressz sem bizonyult jelentősnek, a beültetett csemeték már az első években intenzív növekedést produkálnak.

Fontos tekintettel lenni továbbá a lékekben kialakuló aljnövényzet kompetíciós hatására. A csemeték megsegítése érdekében szükség lehet a kompetitív növényzet visszaszorítására, illetve a lékek méretének és alakjának megfelelő beállításával szabályozható a kompetíció kimenete (Kollár 2017, Tinya *et al.* 2025). Valószínűsíthető, hogy a fényigényes tölgycsemeték növekedéséhez hosszabb távon a jelen vizsgálatban létrehozott 200-400 m²-es lékek nem kellően nagyok, ugyanakkor amennyiben már kezdetben is nagyobb lékeket hozunk létre, azzal

fokozzuk a kompetíciós nyomást a csemetéken (Tinya *et al.* 2025). Célszerűbb lehet a lécek kiterjedését, és ezáltal a beérkező fény mennyiségét később, néhány év elteltével megnövelni, amikor a megerősödött tölgycsemeték már sikeresebben veszik fel a versenyt a kompetitor fajokkal. Intenzív vadhatásnak kitett területeken pedig a lécek bekerítése is szükséges lehet a sikeres felújulás érdekében (Tóth 2019).

Természetvédelmi erdőkezelés esetében – amelynek keretében a jelen kutatás is folyt – a lécek kialakításának célja eltér a gazdaság erdőkben történő léknyitások céljától. A felújulás segítése természetvédelmi kezelés esetén is cél, de nincs kijelölt célfafaj, és nincs elvárás magas gazdasági értékű faegyedek nevelésére. Kiemelt cél ugyanakkor az elegyesség növelése, a cserjeszint megsegítése és az állomány színtettségének növelése. A faállomány szerkezetének és összetételének heterogénebbé válása potenciálisan maga után vonhatja további erdei élőlénycsoportok diverzitásának növekedését is (Nagel *et al.* 2013), felgyorsítva ezáltal a teljes erdei ökoszisztéma regenerálódását. Mindezek következtében a kifejezetten természetvédelmi célú léknyitások hatásának értékeléséhez – az egyes fafajok növekedési sikerének elemzése mellett – további kutatások szükségesek, amelyek során feltárható, hogy milyen módon és mértékben teljesülnek a léknyitás hosszú távú, komplex célkitűzései.

Fontos ugyanakkor szem előtt tartanunk, hogy a természetvédelmi erdőkezelések célja nem egy konkrét állapot elérése, hanem az erdőfunkciók, a természetes erdőműködés minél teljesebb helyreállítása. Ennek egy eleme a természetes megújulás, amelynek rövid és középtávon hatékony eszköze lehet a léknyitás. Hosszabb távon a további beavatkozásokat az erdőfejlődés irányától, a természetes folyamatoktól kell függővé tenni, a természetközeli félszáraz tölgyesek összetételét és dinamikáját tekintve referenciának. Várakozásaink szerint a tölgyek elegyaránya a természetes erdődinamikai folyamatok megindulásával alacsonyabb lesz, mint a gazdasági erdőkben mesterségesen fenntartott elegyarány, közelítve a természetes tölgyesek elegyességéhez. A tölgyek hosszú élettartamából adódóan azonban a nagy méretű, idős faegyedek hosszú távú fenntartása a jövőben is biztosítani fogja a tölgyek felújulását.

Köszönetnyilvánítás – A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (PD 134302, FK145840) és az Európai Unió által finanszírozott LIFE16NAT/IT/000245 projekt támogatásával valósult meg. Tinya Flórát a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatta. Köszönettel tartozunk Horváth Csenge Veronikának, József Juliának 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 segítségével.

Irodalomjegyzék

- Abd Latif, Z., Blackburn, G. A. (2010): The effects of gap size on some microclimate variables during late summer and autumn in a temperate broadleaved deciduous forest. *International Journal of Biometeorology* 54: 119–129. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0260-1>
- Allen, R. G., Pereira, L., Raes, D. Smith, M. (1998): *FAO irrigation and drainage paper No. 56*. FAO, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- 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>
- Ádám, R., Ódor, P., Bidló, A., Somay, L., Bölöni, J. (2018): The effect of light, soil pH and stand heterogeneity on understory species composition of dry oak forests in the North Hungarian Mountains. *Community Ecology* 19: 259–271. <https://doi.org/10.1556/168.2018.19.3.7>
- Bauhus, J., Puettmann, K., Messier, C. (2009): Silviculture for old-growth attributes. *Forest Ecology and Management* 258: 525–537. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.01.053>
- Bernes, C., Jonsson, B. G., Junninen, K., Löhmus, A., Macdonald, E., Müller, J., Sandström, J. (2015): What is the impact of active management on biodiversity in boreal and temperate forests set aside for conservation or restoration? A systematic map. *Environmental Evidence* 4: 25. <https://doi.org/10.1186/s13750-015-0050-7>
- 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., Jaszcz, E., Wojtunik, K. (2011): Oak (*Quercus robur* L.) regeneration as a response to natural dynamics of stands in European hemiboreal zone. *European Journal of Forest Research* 130: 785–797. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0471-3>
- Boros, G., Kovács, B., Ódor, P. (2019): Green tree retention enhances negative short-term effects of clear-cutting on enchytraeid assemblages in a temperate forest. *Applied Soil Ecology* 136: 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.12.018>
- Bölöni, J., Molnár, Zs., Kun, A. (szerk., 2011): *Magyarország élőhelyei: Vegetációtípusok leírása és határozója, ÁNÉR 2011*. MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete, Vácrátót, 439 p.
- Bölöni, J., Aszalós, R., Frank, T., Ódor, P. (2021): Forest type matters: Global review about the structure of oak dominated old-growth temperate forests. *Forest Ecology and Management* 500: 119629. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119629>
- Collet, C., Lanter, O., Pardos, M. (2001): Effects of canopy opening on height and diameter growth in naturally regenerated beech seedlings. *Annal of Forest Science* 58: 127–134. <https://doi.org/10.1051/forest:2001112>
- Csépányi, 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.
- de Groot, M., Eler, K., Flajsman, K., Grebenc, T., Marinsek, A., Kutnar, L. (2016): Differential short-term response of functional groups to a change in forest management in a temperate forest. *Forest Ecology and Management* 376: 256–264. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.025>
- Demeter, L., Molnár, Á. P., Öllerer, K., Csóka, Gy., Kis, A., Vadász, Cs., Horváth, F., Molnár, Zs. (2021): Rethinking the natural regeneration failure of pedunculate oak: The pathogen mildew hypothesis. *Biological Conservation* 253: 108928. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108928>
- 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: 597–609. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1998.00295.x>

- 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. <https://doi.org/10.1051/forest:2007077>
- Doerfler, I., Müller, J., Gossner, M. M., Hofner, B., Weisser, W. W. (2017): Success of a deadwood enrichment strategy in production forests depends on stand type and management intensity. *Forest Ecology and Management* 400: 607–620. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.013>
- Dovčiak, M., Brown, J. (2014): Secondary edge effects in regenerating forest landscapes: vegetation and microclimate patterns and their implications for management and conservation. *New Forests* 45: 733–744. <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9419-7>
- Dövényi, Z. 2010. *Magyarország kistájainak katasztere*. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.
- Duguid, M. C., Ashton, M. S. (2013): A meta-analysis of the effect of forest management for timber on understory plant species diversity in temperate forests. *Forest Ecology and Management* 303: 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.04.009>
- Duursma, R. (2015): Plantecophys – An R Package for Analysing and Modelling Leaf Gas Exchange Data. *PLOS ONE* 10: e0143346. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143346>
- EEA (2016): *European forest ecosystems. State and trends*. EEA Report. European Environmental Agency, Luxembourg.
- 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. (szerk., 2014). *Védett erdők természetességi állapotának fenntartása és fejlesztése. Rosalia kézikönyvek* 2. Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, Budapest, 160 p.
- Geiger, R., Aron, R. H., Todhunter, P. (1995): *The Climate Near the Ground*. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Gitau, M. G. (2023): *Regeneration success of sessile oak under different gap cuttings in an oak-hornbeam forest*. MSc Thesis, Eötvös Loránd University, Faculty of Science, Center for Environmental Science, Budapest, 52 p. <https://piliskiserlet.ecolres.hu/node/147>
- Götmann, F. (2013): Habitat management alternatives for conservation forests in the temperate zone: Review, synthesis, and implications. *Forest Ecology and Management*, 306: 292–307. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.014>
- 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. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.1037>
- Horváth, Cs. V., Kovács, B., Tinya, F., Schadeck Locatelli, J., Németh, Cs., Crecco, L., 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>
- IPBES (2018): The IPBES Regional Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for Europe and Central Asia. p 978-973-947851-947808-947859 in M. Rounsevell, M. Fischer, A. Torre-Marín Rando, and A. Mader, editors. *Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*, Bonn, Germany.
- Jónsdóttir, I. S., Watson, M. A. (1997): Extensive physiological integration: an adaptive trait in resource-poor environments? In: de Kroon, H., van Groenendael, J. (eds.): *The Ecology and Evolution of Clonal Plants*. Backhuys, Leiden. <https://eurekamag.com/research/031/395/031395435.php>
- Keeton, W. S. (2006): Managing for late-successional/old-growth characteristics in northern hardwood-conifer forests. *Forest Ecology and Management* 235: 129–142. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.005>

- Király, G. (2009): *Új magyar fűvészkönyv. Magyarország hajtásos növényei. Határozókulcsok.* Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság, Jósvafő, 616 p.
- Kollár, T. (2017): Light conditions, soil moisture, and vegetation cover in artificial forest gaps in western Hungary. *Acta Silvatica Lignaria Hungarica* 13: 25–40. <https://doi.org/10.1515/aslh-2017-0002>
- Kovács B., Kelemen K., Ruff J., Standovár T. (2013): Üzemi léptékben alkalmazott átalakító üzemmód lékes felújításának tapasztalatai a királyréti erdészeti területén. *Erdészettudományi Közlemények* 3: 55–70. <http://www.erdtudkoz.hu/cikkek/2013-004.pdf>
- Kovács, B., Tinya, F., Németh, Cs., Ódor, P. (2020): Unfolding the effects of different forestry treatments on microclimate: results of a 4-year experiment. *Ecological Applications* 30: e02043. <https://doi.org/10.1002/eap.2043>
- Larsen, D. R., Johnson, P. S., (1998): Linking the ecology of natural oak regeneration to silviculture. *Forest Ecology and Management* 106: 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00233-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00233-8)
- Lemmon, P. E. (1956): A spherical densiometer for estimating forest overstory density. *Forest Science* 2: 314–319.
- Lendzion, J., Leuschner, C. (2008): Growth of European beech (*Fagus sylvatica* L.) saplings is limited by elevated atmospheric vapour pressure deficits. *Forest Ecology and Management* 256: 648–655. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.008>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.050>
- Lindenmayer, D. B., Franklin, J. F. (2002): *Conserving Forest Biodiversity. A Comprehensive and Multiscaled Approach.* Bibliovault OAI Repository, the University of Chicago Press. Island Press, Washington, 352 p.
- 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 and Management* 12: 59–73. <https://doi.org/10.1080/21513732.2015.1120780>
- Madsen P., Hahn K. (2008): Natural regeneration in a beech-dominated forest managed by close-to-nature principles — a gap cutting based experiment. *Canadian Journal of Forest Research* 38(7): 1716–1729. <https://doi.org/10.1139/X08-026>
- Mason, W. L., Diaci, J., Carvalho, J., Valkonen, S. (2022): Continuous cover forestry in Europe: usage and the knowledge gaps and challenges to wider adoption. *Forestry* 95: 1–12. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpab038>
- Matthews, J. D. (1991): *Silvicultural Systems.* Clarendon Press, Oxford, 285 p.
- Mölder, A., Sennhenn-Reulen, H., Fischer, C., Rumpf, H., Schönfelder, E., Stockmann, J., Nagel, R. V. (2019): Success factors for high-quality oak forest (*Quercus robur*, *Q. petraea*) regeneration. *Forest Ecosystems* 6: 49. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0206-y>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0521-7>
- Nagel, T. A., Zenner, E. K., Brang, P. (2013): Research in old-growth forests and forest reserves: implications for integrated forest management. In: Kraus, D., Krumm, F. (eds.): *Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity.* European Forest Institute, pp. 44–51.
- Nemens, D. G., Varner, J. M., Kidd, K. R., Wing, B. (2018): Do repeated wildfires promote restoration of oak woodlands in mixed-conifer landscapes? *Forest Ecology and Management* 427: 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.023>

- Nemky, E. (1968) *Növényrendszertan II. Dendrológia*. Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron, 209 p.
- NFK (Nemzeti Földügyi Központ) Erdészeti Főosztály (2024): *Magyarország erdeinek összefoglaló adatai 2023*. Agrárminisztérium, Budapest.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Sólymos, P., Henry, M., Stevens, H., Wagner, H. (2022): *Vegan: Community Ecology Package*. R Package Version: 2.6-4. <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/>
- Paganová, V. (2008): Ecology and distribution of service tree *Sorbus domestica* (L.) in Slovakia. *Ekológia (Bratislava)* 27: 152–167.
- Peterken, G. F. (1996): *Natural Woodland. Ecology and Conservation in Northern Temperate Regions*. Cambridge University Press, Cambridge, 522 p.
- Pinheiro, J., D. Bates, S. DebRoy, D. Sarkar, EISPACk authors, R Core Team (2022): *Nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R Package Version: 3.1-160. <https://cran.r-project.org/web/packages/nlme/>
- Pommerening, A., Murphy, S. T. (2004): A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry* 77: 27–44. <https://doi.org/10.1093/forestry/77.1.27>
- R Core Team (2022) R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. <https://www.r-project.org/>
- Sabatini, F. M., Jimenez-Alfaro, B., Burrascano, S., Blasi, C. (2014): Drivers of herb-layer species diversity in two unmanaged temperate forests in northern Spain. *Community Ecology* 15: 147–157. <https://doi.org/10.1556/ComEc.15.2014.2.3>
- Samu, F., Elek, Z., Ruzicková, J., Botos, E., Kovács, B., Ódor, P. (2023): Can gap-cutting help to preserve forest spider communities? *Diversity-Basel* 15: 240. <https://doi.org/10.3390/d15020240>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0579-9>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.008>.
- Thom, D., Sommerfeld, A., Sebal, J., Hagge, J., Müller, J., Seidl, R. (2020): Effects of disturbance patterns and deadwood on the microclimate in European beech forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 291: 108066. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108066>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117810>
- Tinya, F., Márialigeti, S., Bidló, A., Ódor, P. (2019): Environmental drivers of the forest regeneration in temperate mixed forests *Forest Ecology and Management* 433: 720–728. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.051>
- Tinya, F., Csépanyi, P., Horváth, Cs. V., Kovács, B., Németh, Cs., Ódor, P. (2025): Fine-scale interventions can reinforce the forest character of the understory vegetation – The effects of

- different artificial gaps in an oak-dominated forest. *Forest Ecology and Management* 578: 122471. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122471>
- Tóth B. (2019): *Nagyvad fajok újulatra gyakorolt hatásának kísérletes vizsgálata*. Szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, 87 p. <https://piliskiserlet.ecolres.hu/node/91>
- 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. <https://doi.org/10.1093/aob/mct200>
- Vera, F. W. M. (2000): *Grazing Ecology and Forest History*. CABI, Wallingford, 528 p.
- Vilhar, U., Rozenberger, 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. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0424-y>
- von Lüpke, B. (1998): Silvicultural methods of oak regeneration with special respect to shade tolerant mixed species. *Forest Ecology and Management*, 106: 19–26. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00235-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00235-1)
- Wagner S., Collet C., Madsen, P., Nakashizuka T., Nyland R. D., Sagheb-Talebi K. (2010): Beech regeneration research: From ecological to silvicultural aspects. *Forest Ecology and Management* 259: 172–2182. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.02.029>
- Wickham, H. (2016): *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag, New York, <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, 574 p.

Internetes források:

- http1: Nemzeti Szisztematikus Erdőleltár, <https://erdoleltar.nfk.gov.hu/> (letöltés időpontja: 2025. 01. 10.)
- http2: CLO-PLA - a database of clonal growth in plants, <https://clopla.butbn.cas.cz/> (letöltés időpontja: 2025. 01. 24.)

Effects of conservation-oriented gap-cuttings on the regeneration of a Pannonian-Balkan Turkey oak–sessile oak forest

Sarolta Szilágyi^{1*}, Réka Aszalós², János Bölöni², Tamás Frank²,
Bence Kovács², Péter Ódor^{2,3} & Flóra Tinya²

¹University of Veterinary Medicine Budapest, István u. 2, H-1078 Budapest, Hungary

²Institute of Ecology and Botany, HUN-REN Centre for Ecological Research,
Alkotmány u. 2-4, H-2163 Vácrátót, Hungary

³Institute of Environmental Protection and Nature Conservation, Faculty of Forestry,
University of Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4, H-9400 Sopron, Hungary

*E-mail: charlotteszilagyi@gmail.com

The aim of conservation-oriented forest management is to enhance the structural and compositional diversity of forests homogenised by rotation forestry management, and thereby increase biodiversity. In our study, we investigated the effects of conservation-oriented gap-cutting on the growth of the seedlings of sessile oak (*Quercus petraea*), field maple (*Acer campestre*), and service tree (*Sorbus domestica*), compared to uncut closed forest controls. We also evaluated the light and microclimatic conditions. Our results suggest that opening gaps can increase the amount of light reaching the understory level while maintaining the cool and humid microclimate of closed forests. The opening of gaps facilitated the growth of seedlings of all studied species, thus initiating the structural heterogenisation of a homogeneous closed stand. Seedlings of admixing tree species benefited more from the increased amount of light than oak seedlings, so opening gaps could also increase the future heterogeneity of the stand.

Keywords: *Acer campestre*, canopy openness, conservation-oriented forest management, gap, microclimate, *Quercus petraea*, regeneration, *Sorbus domestica*

Beérkezett/Received: 2025. 01. 30. Elfogadva/Accepted: 2025. 05. 09.

© A Szerzők/The Authors

2025 Ez egy szabad hozzáférésű cikk, amely a Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) licenc alatt jelenik meg./This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).

