

Lékdinamikai vizsgálatok a Völgyfő Projekt 35 éve magára hagyott tölgyesében

36. OTDK Biológia Szekció

Szerző:

Tóth Balázs

Biológus MSc II.

Témavezető: Dr. Standovár Tibor

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Növényrendszertani, Ökológiai és Elméleti Biológiai Tanszék

Budapest, 2023

Tartalom

I. Absztrakt	3
II. Bevezetés	4
III. Anyagok és módszerek.....	8
III.1. Kutatási terület.....	8
III.2. A területen található lécek leszármazásvizsgálata.....	8
III.3. 2020-as lágyszárúszintből származó adatok további elemzése	9
III.4. Terepi munka	10
IV. Eredmények és megvitatásuk.....	11
IV.1. A leszármazásvizsgálat eredményei	11
IV.2. A lékdinamika vizsgálata a cönótípusok szempontjából.....	15
IV.3. A bolygatásjelző lágyszárúak és a lékdinamika kapcsolata	19
IV.4. Lécek újulatának faji alapú elemzése.....	20
IV.5. A lágyszárúszintbe tartozó fafajok elterjedése	24
V. Összegzés	29
VI. Köszönetnyilvánítás	31
VII. Irodalomjegyzék	31
VIII. Függelék	34

I. Absztrakt

Jelen kutatás a Völgyfő Projekt folytatása, amely 1986-ban indult azzal a céllal, hogy feltárják egy tölgyes erdőrészleten belül a légyszárúszt mintázatát és az általa indukált termőhelyi változatosságot. Az 5,5 hektáros kutatási terület a Dél-Bükkben helyezkedik el, 450-600 méter tengerszint feletti magasságban. Az állomány egykorú (kb. 120 éves), sarjeredetű és elegyetlen, a fő állományalkotó fafaja a kocsánytalan tölgy. A tölgypusztulás által súlyosan érintett állományt a kutatás megkezdésekor kivonták az erdészeti kezelés alól. A területet évtizedekig körülvevő vadvédelmi kerítést kb. 10 éve elbontották. Előzetes megfigyeléseink alapján 35 év alatt a lombkorona záródott, továbbá fokozódott a vadfajok jelenléte és hatása a növényzetre. 2020 nyarán elvégeztem a teljes terület szisztematikus felvételezését a területet lefedő 354 darab, egyenként $12,5 \times 12,5$ méteres érintkező kvadrátban. A rendelkezésre álló bináris és frekvencia adatok alapján kimutattam a lombkorona záródásához köthető mezofilizáció jelenségét és a vadhatás fokozódására utaló bolygatásjelző fajok térnyerését, valamint a légyszárúszt homogenizációját. Az 1970-es évek végén megjelent tölgypusztulás következtében az egyedek pontszerűen jelentkező megbetegedésével és pusztulásával a lombkoronában lékek keletkeztek. A 2000-es évekre a korábban keletkezett lékek a fák regenerációjával vagy alulról történő betöltődéssel többségében záródtak, azonban a 2008-as növényzeti felmérést követően a légyszárúszt indikációja arra utal, hogy újabb lékek nyílásával a lombkorona ismét nyíltabbá vált. A lékdinamika vizsgálatát légi felvételek alapján végeztük el. Felvételt a 2000-es évtől kezdődően több évből is elértünk, illetve 2021 nyarán saját drónfelvételt is készítettünk, így összesen 21 év adatait tudjuk elemezni. A lékek digitalizálását és a leszármazásvizsgálatot az ArcGIS programcsomag segítségével végeztük el. A vizsgálat állományban intenzív lékdinamika figyelhető meg. 21 év alatt számos lék záródott és számos új lék keletkezett. Az új lékek nyílása viharkárokkal, szélöntéssel, hótöréssel állnak összefüggésben, nem a korábbi évtizedekben jelentkező tölgypusztulással. A finom lékdinamika hatással van az állomány szerkezetére, az újulatra és a légyszárúsztire is. A lékekben vagy a záródott lékek helyén megfigyelhetők fiatalos foltok, amelyek egy vegyes korú és elegyes erdő kialakulásának alapjai lehetnek.

II. Bevezetés

Európában az ember évezredek óta jelen van, azonban a táj- és forráshasznosítás mértéke az elmúlt évszázadokban a népességgel együtt drasztikusan megnövekedett. Napjainkban a biodiverzitás csökkenésének problémaköre kiemelt téma mind a tudományos világban, mind a laikusok körében. A fajszámcsökkenés és a tágabb értelemben vett biodiverzitás (genetikai diverzitás, taxondiverzitás, ökológiai diverzitás) csökkenésének legfőbb okozója világszerte a súlyos méreteket öltő, ember okozta élőhelypusztítás és tájatalakítás (Bernhardt-Römermann és mtsai, 2015). Ezen túl az ember okozta globális klímaváltozás nem csak a természetes életközösségekre van nagy hatással, hanem a mezőgazdaságot is komoly kihívások elé állítja.

A növényökológiai kutatásoknak általában az a végső célja, hogy feltárják és leírják azokat a szabályozó faktorokat, amelyek meghatározzák egyes fajok populációinak térbeli és időbeli elterjedését, valamint abundanciáját (Standovár, 1993). A lágyszárúsztint vizsgálata kiemelt fontosságú az erdőkben zajló folyamatok megfigyelésekor, ugyanis az „általános fitométer elmélet” értelmében a lágyszárú fajok az elterjedésüket korlátozó környezeti tényezők indikátorai, vagyis az erdei aljnövényzet faji összetételéből és arányaiból következtethetünk adott termőhely minőségére (Juhász-Nagy, 1970, 1986). Az elmúlt bő egy évtizedben egyre több ökológus végzett megismételt vizsgálatot olyan társulásokban, amelyeket évtizedekkel korábban már felvételeztek, hogy ezáltal megismerhessék a faji összetétel hosszú távú változásait és a változások háttérében álló ökológiai tényezőket (Verheyen és mtsai, 2017). A Völgyfő Projekt tárgyát képező tölgyes is lehetőséget biztosít az ehhez hasonló ismételt felvételezésen alapuló kutatásokhoz, ugyanis több mint 30 évre visszamenőleg rendelkezünk adatokkal a növényzetéről. Középhegységi lomhullató erdőkben ökológiai hajtóerő lehet például a lombkorona záródása vagy felnyílása, a savas eső, a nitrogénülepedés, a fokozódó vadhatás stb. (Standovár és mtsai, 2017).

Az emberi tevékenység Magyarországon is hatással van valamennyi élőhelyre és társulásra. Habár hazánk erdősültsége az elmúlt 100 évben növekedett (elsősorban ültetvények telepítése miatt), természetközeli erdeink fogyatkozóban vannak. A több évszázados erdőművelés és az erdészeti gyakorlatot korábban meghatározó szemlélet következtében erdeink többségében egykorú, elegyetlen állományok jöttek létre, amelyekben nem valósul meg a természetes térbeli mozaikosság. Pickett és White (1985) szerint az erdők dinamikáját a fák növekedése, halála és pótlódása biztosítja. Ezeket a folyamatokat nagyban befolyásolják a természetes bolygatások. Definíciójuk értelmében bolygatásnak minősül minden olyan időben viszonylag diszkrét esemény, amely megváltoztatja egy közösség vagy populáció struktúráját,

a források hozzáférhetőségét vagy a fizikai környezetet. A mérsékelt övi lombhullató erdők természetes bolygatási rendszerére a kisebb méretű lékkelletkezés jellemző, ami különböző fejlődési fázisok finomléptékű mozaikját hozza létre, míg intenzív, nagyobb területet érintő bolygatások viszonylag ritkán fordulnak elő (Standovár, 2006). A lombkorona felnyílásához vezető, időről időre visszatérő természetes bolygatások hozzájárulhatnak a légyszárúsztint faji sokféleségének fenntartásához, mivel tartósan zárt lombkorona esetén számos faj abundanciája csökkenhet (Brewer, 1980).

Habár a lombkorona időről időre történő felnyílása egy természetes folyamat és szükséges számos, természetvédelmi szempontból fontos faj fennmaradásához, a zárt lombkorona hatékony lehet a klímaváltozás hatásainak mérséklésre. De Frenne és munkatársai (2013) szerint a földfelszín felett mérhető mikroklíma a növényzet struktúrája és a lombkorona árnyékolása miatt, valamint a topográfia és a kitettség hatására eltérhet a légköri hőmérséklettől (makroklímától). Az erdők minden esetben hőmérsékleti pufferhatásúak, mivel hűtik a felszínt, ha az erdön kívüli hőmérséklet magas (vagyis az extrém hőhullámoktól is védnek) és megtartják a meleget, ha a külső hőmérséklet alacsony (De Frenne és mtsai, 2019). Zellweger és munkatársai (2020) a lombkorona szabályozó szerepe és a klimatikus késés (adósság) közti kapcsolatokat vizsgálták. A mikroklímában a legnagyobb melegedést ott mérték, ahol csökkent a lombkorona borítása és ezáltal a puffer képessége is. Megállapítják, hogy a klímaváltozás hatásai a hőmérsékleti pufferhatás miatt a magasabb és zártabb állományokban csökkenhetnek.

Magyarországon a XX. század második felében az erdész szakmának számos problémával kellett megküzdenie a magyarországi erdők hanyatlása és a kocsánytalan tölgyesek természetes regenerációjával kapcsolatos nehézségek miatt. A Völgyfő Projekt 1986-ban indult el azzal a céllal, hogy feltárják egy tölgyes erdőrészen belül a légyszárúsztint mintázatát, és az általa indikált termőhelyi változatosságot (Standovár, 1988). A kutatási terület kiválasztásában fontos szerepet játszott, hogy a völgyfői állományt is súlyosan érintette a Magyarországon az 1970-es évek végén megjelent tölgypusztulás, így a természetes felújulás kontextusában lehetett nyomon követni a tölgyes sorsát. Vannini és Anselmi (1997) szerint a tölgypusztulás egy olyan komplex ökológiai válasz volt, ami az ember közreműködésével létrejött tölgyesek pusztulásában nyilvánult meg. A tölgypusztulás jelensége Magyarországon az 1990-es évekre gyakorlatilag megállt, és a 2000-es években a völgyfői kutatási területen is kimutathatóvá vált némi javulás a fák egészségi állapotában (Vései, 2001).

A Völgyfő Projekt keretében több publikáció, szakdolgozat és doktori disszertáció is született az elmúlt évtizedekben. A projekt első állomása az 1986-os felmérés volt, amely során

elvégezték a légyszárúszt szisztematikus felvételezését és elkészítették az állomány fatérképét (Standovár, 1988). 1989-ben 19 darab 25×25 m²-es kvadrátban végeztek rétegzett random mintavételt, amely során többek között minden mintavételi négyzetben regisztrálták a légyszárúszt és a cserjeszt fásszárú fajait és 10 kvadrátban a légyszárú fajok frekvencia adatait (Cserép, 1990, Standovár, 1993a). Az adatsorok alapján több publikációban is elemezték például az újulat mintázatát, az előforduló légyszárú fajcsoportokat, illetve a talajnedvesség és a légyszárúak nedvesség indikációjának kapcsolatát (Cserép és mtsai, 1991, Standovár, 1993b, Standovár és Rajkai, 1994). Szirmai (1991) megállapítja, hogy a területen különböző egészségi állapotú állományrészek találhatók, amely feltételezése szerint akár a termőhelyi különbözőséghez is köthető. Standovár és Somogyi (1998) a vizsgált erdőrészletben öt alkalommal mérte fel 1987 és 1993 között a fák növedékeit és egészségi állapotát. Megállapítják, hogy a megbetegedések eloszlása nem volt egyenletes: a legsavanyúbb és legszárazabb termőhelyen betegedtek meg a fák legkevésbé, habár a fák növedékei alapján ez minősült a legrosszabb termőhelynek; míg a kevésbé savas és üdőbb termőhelyen található fák magasabb fahozamot produkáltak, azonban érzékenyebbek voltak a megbetegedésre. Továbbá feltételezik, hogy utóbbi termőhelyen természetes körülmények között a fő állományalkotó fafaj nem a kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) lenne, hanem inkább a bükk (*Fagus sylvatica*). Ezt a hipotézist alátámaszthatják az olyan régi földrajzi nevek is, mint a kutatási terület közelében és azzal nagyjából azonos tengerszint feletti magasságban elhelyezkedő Odvas-Bükk-tető. A későbbiekben további három szakdolgozat született a Völgyfő Projekt témakörében. Faragó (2001) a területen található lékeket, míg Vései (2001) a faállomány egészségi állapotát vizsgálta. Botlik (2009) a növényzet szemiszisztematikus mintavételezése által a fajkészlet és a légyszárúszt mintázatának változásait vizsgálta, amely során megállapította, hogy a lombkorona záródásával fényigényes fajok tűntek el a területről.

Egy magára hagyott, erdészeti munkálatok aló kivont erdőrészlet Magyarországon nagy értéket képvisel, ezért időszerű volt, hogy 2020-ban a projektet folytatva megkezdjem a növényzet ismételt felmérését. 35 év változásai átfogó képet adhatnak arról, hogy mely ökológiai hajtóerők vannak jelen egy középhegységi tölgyesben. Előzetes megfigyeléseink alapján 35 év alatt a lombkorona záródott, továbbá fokozódott a vadfajok jelenléte és hatása a növényzetre. Fontos kiemelni, hogy a 2008-as vizsgálatot követően a nagyvadak kizárását szolgáló kerítést elbontották. 2020 nyarán elvégeztem a teljes terület szisztematikus felvételezését. Korábban a területet 354 darab, egyenként $12,5 \times 12,5$ méteres érintkező kvadráttal fedték le, amelyek ismételt kijelölése egy fatérkép alapján történt. Kvadrátonként 30

db $\frac{1}{4}$ m²-es körben regisztráltam minden jelenlévő, lágyszárúszintbe tartozó faj prezencia-abszencia adatait, továbbá a mintakörökből kimaradó fajokat is feljegyeztem. Eddigi vizsgálataim során meghatároztam az 1986-os és 2020-as bináris adatok alapján a teljes területen lezajlott változásokat a fajkészlet, a cönotípusok és a kvadrátszintű dinamika szintjén. Az 1989-ből, 2008-ból és 2020-ból, a területnek csak egy kisebb hányadáról származó frekvencia adatokon statisztikai analízist végeztem. A teljes területet lefedő 2008-as és 2020-as mintavétel fajfrekvencia adatai alapján elemeztem különböző nem florisztikai jellemzők relatív gyakoriságának változását, valamint a hierarchikus klasszifikációval elkülöníthető cönotípusokat és fajcsoportokat. A frekvencia adatok elemzése által markánsan kirajzolódik a lombkorona záródásához köthető mezofilizáció jelensége, valamint a vadfajok fokozott jelenlétére utaló zavarástűrő fajok térnyerése. Az osztályozások eredményei a lágyszárú szint homogenizációjára utalnak. A lágyszárúszint elszegényedését és visszahúzódását jól mutatja, hogy az összes észlelések száma jelentősen csökkent 2020-ra. A fényigényes fajok visszaszorulásáért és az üdeségjelző fajok térnyeréséért a lombkorona záródása és ezzel együtt a zártabb állományklíma felelős. Az általam tapasztalt mezofilizáció jelensége nem egyedülálló jelenség mérsékelt övi lombhullató erdőkben, ahol gyakran késik a növényzet által a makroklíma melegedésére (globális felmelegedésre) adott válasz, illetve a válasz nem követi a makroklíma melegedésének mértékét (Bertrand és mtsai, 2011).

A lágyszárúszint vizsgálatát követően a faállomány vizsgálatát tűztem ki célul. Elsődlegesen szeretnénk volna nyomon követni a tölgypusztulás során keletkezett lécek sorsát. A lágyszárúszintben tapasztalt változások arra engedtek következtetni, hogy ezen lécek záródásával a lombkorona 2008-ra záródott, azonban a lágyszárúindikáció azt sejtette, hogy az elmúlt két évtizedben is intenzív lékdinamika zajlott a területen, illetve a terepi megfigyelések is alátámasztották, hogy számos új lék is keletkezett a területen különböző fák kidőlésének hatására. A fák kidőlését jelen esetben azonban természeti jelenségek okozták, például szél vagy hó, nem pedig egy megbetegedés. Kíváncsiak voltunk, hogy a régi lécek mikor és hogyan záródtak be, illetve az új lécek mikor, hol nyíltak meg, és van-e valami kapcsolat a termőhelyi változatossággal. Ennek megállapításához a 2020-as saját lágyszárú adatsorokat, illetve a 2008-as és 1986-os adatsorokat is bevontuk az elemzésbe. A természetes lékdinamika lehetőséget biztosít, hogy hosszútávon egy egykorú és elegyetlen erdő is vegyeskorúvá és elegyessé váljon, azonban ennek vizsgálatához folyamatos nyomon követés és a sajátomhoz hasonló vizsgálatok szükségesek.

III. Anyagok és módszerek

III.1. Kutatási terület

A vizsgált terület a Dél-Bükkben, Felsőtárkány és Bükkzsérc között, Völgyfő közelében található a Bükki Nemzeti Park területén. Az 5,5 hektáros erdőrészlet a Tábor-hegy oldalában, 450-600 méter tengerszint feletti magasságban fekszik. Az alapkőzet triász kori sötétszürke palaösszlet 30 fokos rétegdőléssel és mészkő berakódással (Balogh, 1964). A területen az agyagbemosódásos barna erdőtalaj a jellemző, azonban a hegy tetején, a palaréteg valószínűsíthető lekopása miatt kibukkanó sötétszürke mészkövön rendzina talaj alakult ki (Cserép, 1990, Standovár, 1993a). A talaj mára sokfelé erősen erodált, az aljnövényzet gyér, továbbá számos túrás és vadcsapás figyelhető meg.

Az anyaállomány a több évszázadra visszanyúló erdőgazdálkodás hatására egykorú és szinte elegyetlen, azonban az újulatban számos elegyfaj is megtalálható. Az állomány kb. 120 éves, fő állományalkotó fajtája a kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), azonban a magasabban fekvő részekben némi csertölgy (*Quercus cerris*) is található, amely a rendzina talaj lemosódását megakadályozó véderdő foltjaként maradt meg. Az anyaállomány sarjeredetű, de vágásos szálerdő üzem módban kezelik. A mageredetű állományokkal ellentétben, az erdészeti szempontból előnytelenebbnek tartott sarjeredetű erdők természetvédelmi szempontból értékesebbek, mivel az idős tönkök speciális élőhelyet kínálnak számos élőlénycsoport számára, továbbá a helyi állományok megőrzésével hozzájárulhatunk a tölgyesek genetikai diverzitásának fenntartásához. Az erdészeti gyakorlat szerint a sarjeredetű tölgyeket 85-90 éves korukban általában kivágják, így érdemes nyomon követni, hogy az általunk vizsgált művelés alól kivont állományban milyen erdődinamika tapasztalható.

III.2. A területen található lécek leszármazásvizsgálata

A lékdinamika vizsgálatához légi felvételeket alkalmaztunk, amelyeken láthatók a különböző hatásokra a lombkoronában nyílt lécek. A célunk az volt, hogy a lehető legtöbb évből rendelkezünk felvétellel, ami a lékdinamika minél finomabb léptékű vizsgálatát teszi lehetővé. Ehhez szükséges, hogy a kép kellő felbontású legyen, lehetőleg a területről felülnézetből készüljön a kép és a fák lombos állapotban legyenek. Az ortofotókat a www.geoshop.hu weboldaltól töltöttük le ingyenesen vagy vásároltuk meg. Az ortofotókon kívül egy drón segítségével saját felvételt is készítettünk 2021 nyarán, ami az összes közül a legnagyobb felbontású képet adja nekünk.

A felvételeket az ArcGIS 10.5. térinformatikai programcsomag segítségével elemeztük. A képek megjelenítését és georeferálását követően megkezdődhetett a látható lécek digitalizálása. A digitalizálás során minden (rendelkezésünkre álló) év esetén berajzoltam a léceket. A lécek és árnyékok elkülönítése gyakorlatot igénylő, nehéz feladat, amely a hosszadalmassá teheti a munkát. A leszármazásvizsgálat során a különböző rétegek (évek) során átfedésbe kerülő lécek között kapcsolatot állapítunk meg, amely során egy egyedi foltcsoport azonosítót kapnak ezek a lécek. A leszármazásvizsgálathoz Pataki Zsolt ArcView 3. alatt futó *PatchStructure extension mini* eszközt használtuk.

A lécek elemzése során kiszámoltam a lécek számát a vizsgált években, valamint az új lécek és a záródások számát adott évben. Továbbá meghatároztam adott év esetén a lécek által elfoglalt összes területet és az átlagos léckméretet.

III.3. 2020-as lágyszárúszintből származó adatok további elemzése

A lékdinamika mintázatának és a lágyszárúak által indikált termőhelyi minőség közötti kapcsolat vizsgálatához hierarchikus osztályozással különböző növényzeti típusokat, azaz cönótípusokat különítettünk el. Az 1986-ból származó bináris, a 2008-as frekvencia és a saját korábbi munkám során gyűjtött 2020-as frekvencia adatokkal elvégeztük a kvadrátok hierarchikus osztályozását. Az 1986-os bináris adatsoron alapuló osztályozást a SYN-TAX 2000 program (Podani, 2001) HierClus modulja segítségével a Ward-féle eltérésnégyzetösszeg-növekedés minimalizálása módszerrel (*Incremental sum of squares*) végeztük el, ami az egyik legáltalánosabban alkalmazott homogenitás-optimalizáló kombinatorikus módszer. A hasonlósági formula az euklidészi távolsághoz hasonló egyezési koefficiens (*simple matching coefficient*) volt, amely az egyezések száma osztva a változók számával.

A 2008-as és 2020-as frekvencia adatok esetén is, a 50 előfordulásnál többet mutató fajok alapján elvégeztük az osztályozást. Ezesetben a Ward-féle eltérésnégyzetösszeg-növekedés minimalizálása módszert (*Incremental sum of squares*) használtuk, ami az egyik legáltalánosabban alkalmazott homogenitás-optimalizáló kombinatorikus módszer. A hasonlósági formula az euklidészi távolság, valamint a „simple match” koefficiens volt. A legegyszerűbb függvények egy ilyen hányados segítségével fejezik ki az objektumok hasonlóságát (Podani, 1997). Az elkülönített cönótípusokat szintén az ArcGIS programmal ábráztuk térképen.

2020-ból rendelkezésünkre állnak a lágyszárúszintbe tartozó lágyszárú és fásszárú fajokról is szisztematikus bináris és frekvencia adatok. Ezek alapján kíváncsiak voltunk, hogy

a természetes léknyílások hogyan hatnak a bolygatásjelző lágyszárú fajok gyakoriságára. 2008 és 2020 esetén is kiszámoltam a bolygatásjelzők relatív gyakoriságát kvadrátonként, majd térképen is ábrázoltam az ArcGIS programmal. A lékek felújulási lehetőségeinek vizsgálatához a fásszárú facsemeték területi eloszlását is ábrázoltam, illetve meghatároztam a leggyakoribb fafajokat a lágyszárúsztintben.

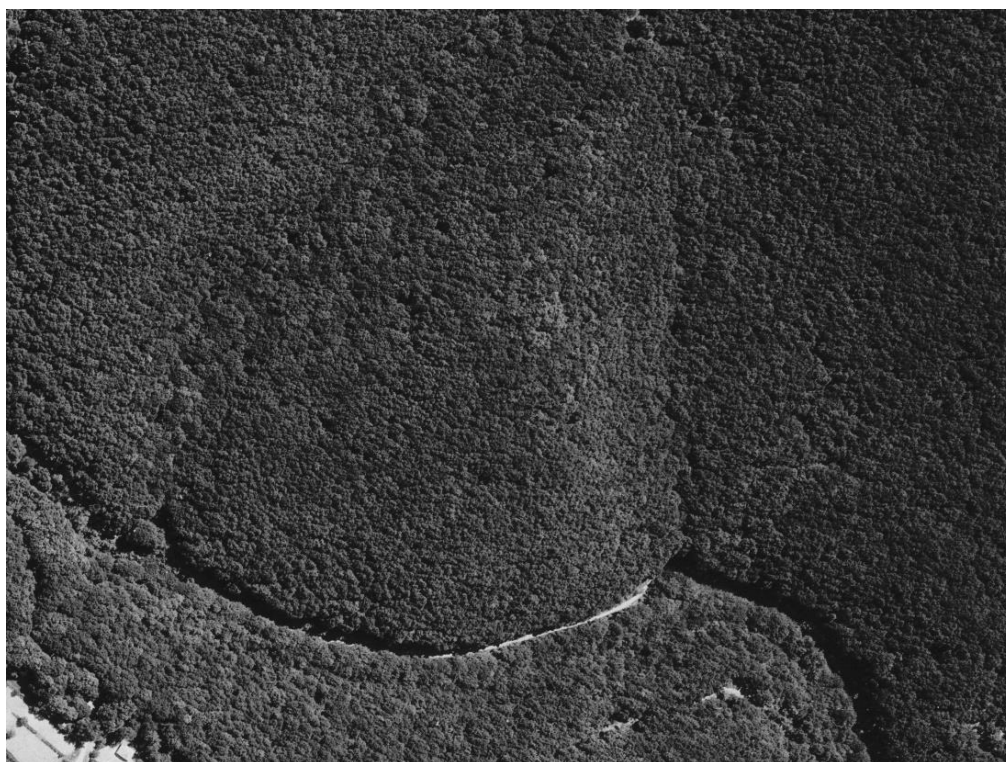
III.4. Terepi munka

Faragó (2001) diplomamunkájában részletesen elemezte a 2000-es évben alulról felvett lékeket, ezért ezen évben regisztrált lékek sorsának nyomon követését különösen érdekesnek tartottuk. Mivel előzetes megfigyeléseink során megállapítottuk, hogy a lombkorona az elmúlt évtizedek alatt záródott, ezért kíváncsiak voltunk, hogy ezekben a lékekben milyen az újulat faji összetétele. 2022 novemberében a terepi munka során a fatérkép segítségével visszakerestem a lékeket és regisztráltam a bennük található fásszárú fajokat, illetve megállapítottam a záródás mértékét.

IV. Eredmények és megvitatásuk

IV.1. A leszármazásvizsgálat eredményei

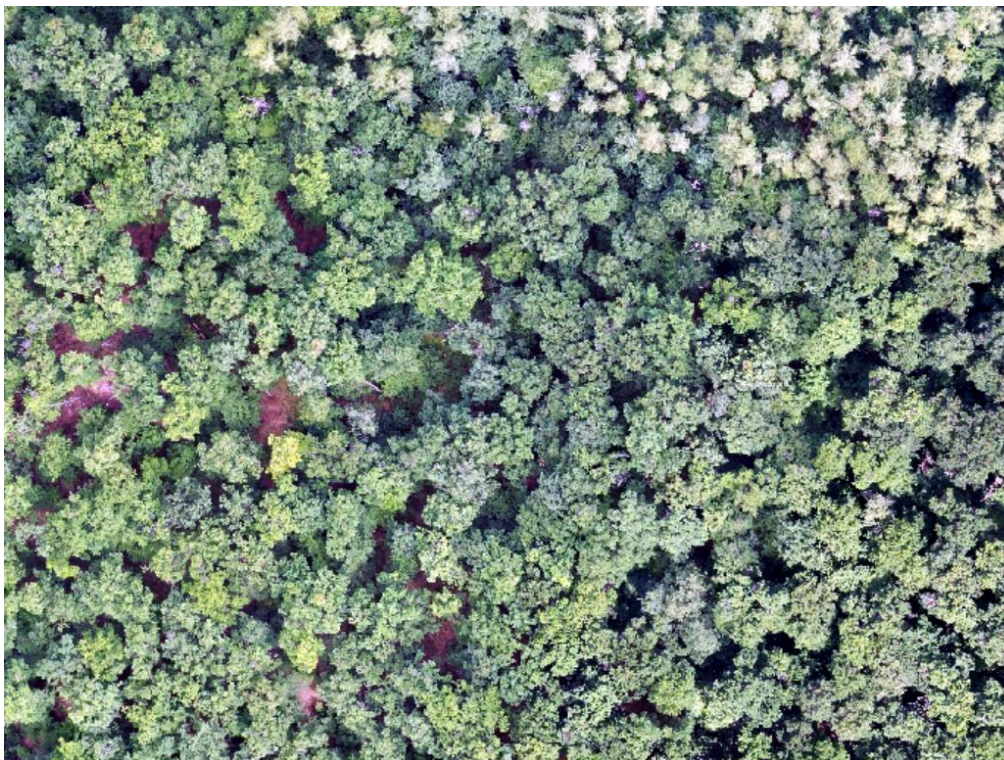
Az internetről sajnos nem tudtunk légi felvételeket elérni az 1970-es és 1980-as évekből, amikor a tölgypusztulás hatására lécek nyíltak a területen, így ezt az időszakot a lékdinamika szempontjából nem tudjuk vizsgálni. A legkorábbi elérhető felvétel 1967-ből származik (*1. ábra*), amikor még egy teljesen homogén állományt láthatunk, nem fedezhetők fel lécek a lombkoronaszintben. Ezt követően van felvételünk 1969-ből és 1992-ből (*2. ábra*), azonban ezek téli időszakban, lombtalan állapotban készültek, így a lécek nem detektálhatók. Az első használható felvétel 2000-ből származik, amikor már láthatóak a lécek a fák lombos állapotában. Ezt követően rendelkezésünkre áll ortofotó 2005-ből, 2007-ből, 2010-ből, 2011-ből, 2014-ből, 2015-ből, 2016-ból, 2017-ből, 2019-ből, 2020-ból. Ezek közül a kép minősége miatt a 2015-ös felvételt kihagytuk az elemzésből. Mivel a lécek az általunk készített drónos felvételen (*3. ábra*) detektálhatóak a legnagyobb bizonyossággal, ezért a korábbi évekből származó felvételek esetén is ehhez igazítottuk a berajzolt léceket. Összességében tehát a 2000-től 2021-ig terjedő időszakban tudtuk vizsgálni a lékdinamikát 11 darab felvétel segítségével.



1. ábra: Légi felvétel 1967-ből



2. ábra: Légi felvétel 1992-ből



3. ábra: Drónnal készített felvétel 2021-ből

A leszármazás-vizsgálat eredményeként 243 darab identikus foltcsoportot tudtunk elkülöníteni. A lékek darabszámát évenként, és az adott évre megnyílt, illetve bezáródott lékek számát az *1. táblázat* tartalmazza. A digitalizált lékek térképes megjelenítése a Függelékben

található (1-11. függelék). A kiindulási évben, 2000-ben, 162 darab léket regisztráltam, azonban ez az érték a következő vizsgált évig, 2005-ig, lecsökkent 137-re. A csökkenést számos lék záródása okozta, nem pedig lécek egybenyílása, ugyanis 2005-re 42 darab foltcsoport eltűnését detektáltuk, míg mellette csak 13 darab új lék nyílt. 2005-öt követően fokozódott a lécek keletkezésének mértéke (2007-ig 46 darab új, 2010-ig 32 darab új lék), ami a lécek számának növekedéséhez vezetett a területen. A legtöbb lék 2011-ben volt a vizsgált állományban (176 darab), azonban ezt követően számuk 2021-ig monoton csökkent, hozzávetőlegesen megfeleződött (92 darab lék). Míg a vizsgálat első évtizedében (2000-2010) számos lék keletkezett, addig 2011-től évente csak 0-6 darab lék nyílt meg. A záródások is a kezdeti időszakban történtek a legnagyobb számban, ami számos eredeti lék záródásával járt. 2010-től kezdődően viszonylag kevés lék záródott, ugyanakkor a 2017-es és 2019-es év valamelyest kiemelkedőnek tekinthető: 2017-re 24 darab foltcsoport tűnt el, 2019-re pedig újabb 18 darab.

1. táblázat: A lécek darabszáma, az új lécek száma és a záródások száma a vizsgált években

Évszám	Lécek száma (db)	Új lécek száma (db)	Záródások száma (db)
2000	162	-	-
2005	137	13	42
2007	156	46	41
2010	172	32	8
2011	176	3	3
2014	167	5	11
2016	155	1	7
2017	119	5	24
2019	100	6	18
2020	98	0	11
2021	92	1	7

A lécek összes területét és a lécek átlagos területét évenként a 2. táblázat tartalmazza. 2000-ben, az első évben a léceknek 5185 m² volt az területük összesen, ami az 5,5 hektáros állománynak közel az 1/10-ét teszi ki (9, 43 %). A lécek által elfoglalt terület 2005-re némileg csökkent, azonban ezt követően nőni kezdett, és 2011 és 2016 között volt legnagyobb a kiterjedésük, habár közben, 2014-re, volt némi visszaesés. 2016-ban (a maximális állapotban) 8583 m²-t fedtek le a lécek, ami a teljes terület 15,61 %-a. 2021-re a lécek teljes területe jelentősen lecsökkent 3596 m²-re, ami már csak a teljes terület 6,54 %-át jelenti. A lécek átlagos területe 2000-ben 32 m² volt. A lécek számával és a lék összes területével összevetve ez arra utal, hogy a területen jellemzően sok apró lék volt jelen. Ez a szám 2005-ben és 2007-ben is hasonlóan kicsi volt (némileg csökkent is), azonban 2010-re megugrott 41 m²-re. 2010 után számos lék egybenyílásával vagy oldalról történő kiszélesedésével tovább növekedett a lécek

átlagos mérete. Átlagosan 2017-ben voltak a legnagyobbak a lékek, ekkor ez az érték 66 m² volt. 2017 után, a záródás fokozódásával jelentősen lecsökkent a lékek mérete, 2021-ben átlagosan már csak 40 m²-esek voltak.

2. táblázat: A lékek összes területe és a lékek átlagos területe a vizsgált években

Évszám	Lékek összes területe (m ²)	Lékek átlagos területe (m ²)
2000	5185	32
2005	4111	30
2007	4361	28
2010	7125	41
2011	8547	49
2014	7917	47
2016	8583	55
2017	7864	66
2019	5761	58
2020	4278	44
2021	3596	40

Az ArcGIS programban történő megjelenítés lehetőséget biztosít, hogy a lékek elhelyezkedésében térbeli mintázatot keressünk (1-11. függelék). Alapvetően elmondható, hogy lékek minden évben előfordultak a terület minden részén, azonban az új lékek nyílása, korábbiak egybenyílása és záródása nem véletlenszerűen jelentkezik térben. 2000-ben a nagy számú, egységesen kis méretű lékek a teljes területen eloszolva voltak jelen, ami még a fák tölgypusztuláshoz köthető, pontszerűen megjelenő megbetegedéséhez köthető mintázat. Látványos, hogy 2005-re több lék is záródott a terület délkeleti részén, ami a vastag termőrétegű és mára már sűrűn záródott erdőrészek közé tartozik. Habár számos lék zárult 2005-re feltehetően a beteg fák regenerálódásával vagy a lékek oldalról történő benövésével, megfigyelhető, hogy a terület északi oldalán futó gerincen kis méretű lékek nyíltak. 2005 és 2007 között szinte a teljes területen nyíltak apróbb lékek, azonban a legtöbb új lék a terület déli és délkeleti részén nyílt. Gerinc mentén végig jelentős számú lék záródott be 2010-re, amellett, hogy mindenhol nyíltak kis méretű lékek, a gerincen jóval nagyobb méretű lékek is keletkeztek, ami nagyobb dőlésekre utalhat. Eközben a déli és délkeleti részekén is a korábbi lékek kiszélesedésével nagy méretű lékek jöttek létre, míg ebben az időszakban nem jellemző a lékek záródása. 2011-re a délkeleti részekén további nagy méretű lékek keletkeztek új nyílásokkal és korábbi lékek összenyílásával, valamint fokozódott a gerinc mentén és az terület északkeleti részén elhelyezkedő meredek hegytető körül található lékek kiszélesedése. 2014-re a délkeleti részekén számos nagyobb lék záródott be. 2016-ra a gerincen és délkeleten elhelyezkedő lékek

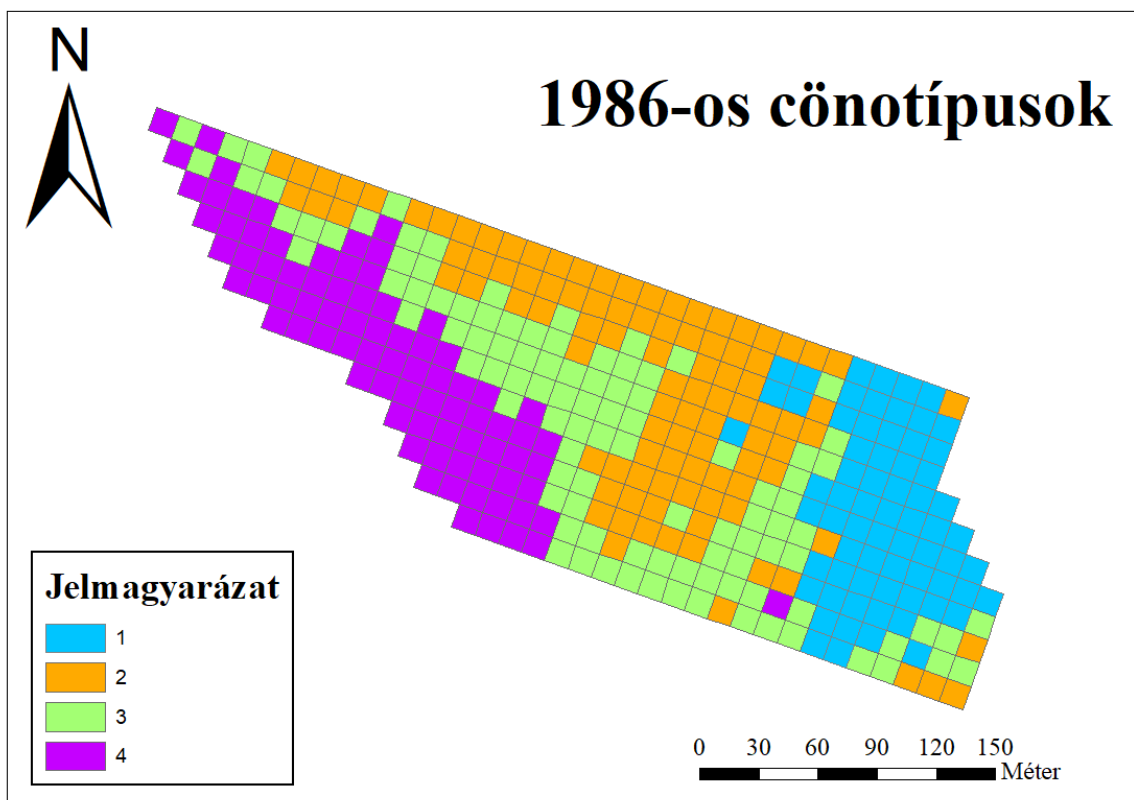
esetén szélesedés figyelhető meg, továbbá az állomány középső-nyugati részén is megindult nagyobb lécek keletkezése kisebbekből. Utóbbi helyszín egy lankás terület vastag termőréteggel, ahol az állomány jellemzően kevésbé zárt. Habár 2016-ban a lécek átlagos mérete nagyobb a kiszélesedések következtében, ugyanakkor a különösen nagy lécek, amik 2014-ben még előfordultak, mostanra összébb húzódtak. 2017-re a terület közepén elhelyezkedő kisebb völgyben történt nagy méretű, dominószerű dőlés, ami több kisebb léket is egybe nyitott, ugyanakkor a délkeleti oldalon található nagy méretű lécek záródása megkezdődött. 2019-re a középső részeken folytatódott a lécek kiszélesedése, ugyanakkor a délkeleti és gerinc menti nagy méretű lécek záródása folytatódott. 2020-ra már egyértelműen a lécek záródása dominál a területen a lécek méretének növekedésével szemben, amelynek következtében már csak néhány nagyobb méretű lék figyelhető meg a területen, míg a többség már idős, kis méretű, záródó lék. 2020 és 2021 között sincs már jelentős változás, ugyanakkor a lécek további szűkülése a jellemző jelenség.

A vizsgált két évtized során 2 súlyos méreteket öltő, nagy kiterjedésű bolygatásról tudunk, ami komoly erdészeti károkat okozott a térségben. A 2010-es tavaszi időjárás következtében hazánk erdeiben már a tavasz folyamán jelentős széldöntések, széltörések alakultak ki (Hirka és Csóka 2010). Ezen viharok hatásai a mi kutatási területünk esetén a szélnek kitettebb gerincen jelentkezett, ahol nagy méretű lécek alakultak ki az erdő szegély mentén. 2017. április 19-i hótörés és széldöntés nyomán a Bükkben 4409 hektáron keletkezett erdőkár, amely leginkább az 500-600 m tszfm. régióban jelentkezett (Molnár és mtsai. 2019). A hótörés komoly károkat okozott a vizsgálati területünk északi oldalán elhelyezkedő vörös fenyvesben. Az általunk vizsgált állományban a 2017-re keletkezett nagy méretű lék köthető a hótöréshez, amely a terület középső részén, a kisvölgyben helyezkedik el. A hó hatására dominóeffektus játszódott le, és a kisvölgyben hosszú sávban döltek ki fák, amely több korábbi léket is egybenyitott.

IV.2. A lékdinamika vizsgálata a cönótípusok szempontjából

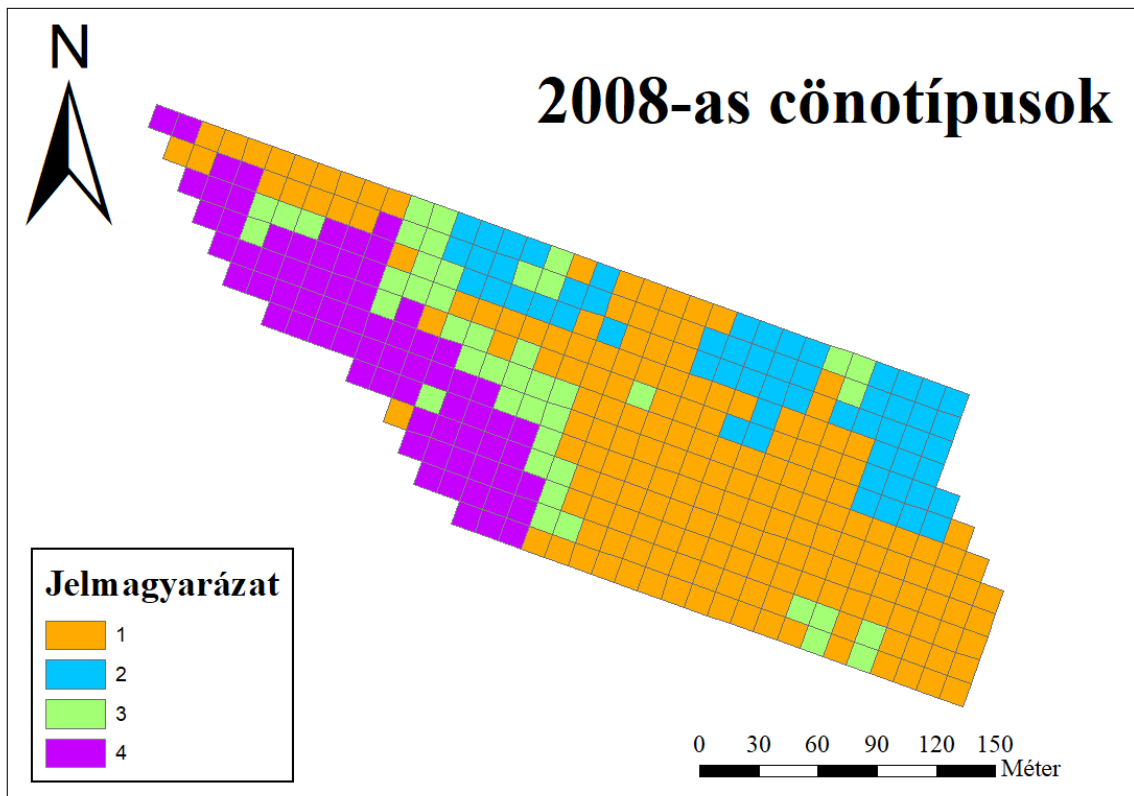
A hierarchikus osztályozás eredményei a 4., 5. és 6. ábra térképein láthatók megjelenítve. 1986 esetén (4. ábra) a bináris adatok alapján 4 cönótípust tudtunk elkülöníteni a világoskék 1-es cönótípus helyezkedik el a terület legmagasabban fekvő, mészkőbúvós részén, ahol sekély rendzina talaj alakult ki. Ezen a termőhelyen az állomány nyíltabb és a fák is kisebb méretűek, ami azzal a hipotézissel állhat összefüggésben, hogy ezek a termőhelyi viszonyok szuboptimálisak tölgyesek számára, és itt a fő állományalkotó faj inkább már a bükk lenne. A narancssárga 2-es cönótípus jellemzi a vastagabb termőrétegű, zártabb állományú részeket, ami

elsősorban a terület északi oldala mentén futó gerincen, illetve az északkeleti sarkon található hegytetőt környezően helyezkedik el. A zöld színű 3-as cönótípus szintén a vastagabb termőrétegű területeken fordul elő, azonban ez egy átmeneti típus a 2-es és a lila színű 4-es cönótípus között. A 4-es típus a 2-es típussal ellentétben egy száraz, meredek hegyoldalon helyezkedik el, ami az állomány délnyugati részén található, és ahol az állomány is kevésbé zárt.



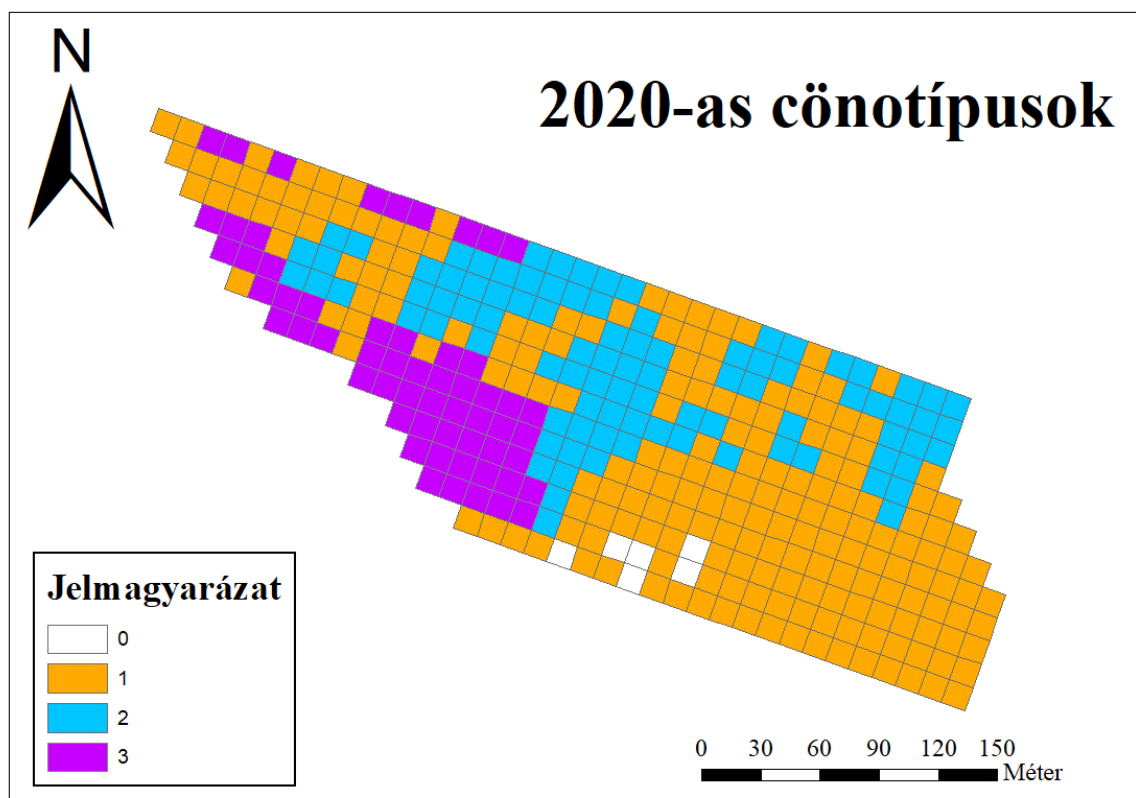
4. ábra: Hierarchikus klasszifikációval elkülönített cönótípusok az 1986-os bináris adatok alapján

A 2008-as frekvencia adatok alapján az 1986-os évhez hasonlóan (és annak megfeleltethetően) négy növényzeti típust különítettünk el (5. ábra). A leglátványosabb különbség a világoskék 1-es és a narancssárga 2-es típus esetén található. A 2-es típus jelentősen növelte területét elsősorban az 1-es és a 3-as típus kárára, így kiterjedt a vizsgált erdőrészlet azon területeire, amelyek kevésbé meredek, így vastagabb termőréteg tudott rajtuk kialakulni. A vastagabb termőréteg esetén feltételezhetően a fák regenerálódása és a lékek záródása is gyorsabban zajlott, amely zárt állományra jellemző lágyszárúsíntet tudott kialakítani. Az 1-es cönótípus eközben lehúzódt a gerinc alacsonyabban fekvő részeire nyugati irányba. A 4-es cönótípusról elmondható, hogy kiterjedésében egy konzervatív típus, ugyanis nem ment keresztül jelentős változásokon. Ez a jelenség azzal állhat összefüggésben, hogy ezen a helyen kevésbé volt intenzív a lékdinamika.



5. ábra: Hierarchikus klasszifikációval elkülönített cönótípusok a 2008-as frekvencia adatok alapján

2020 esetén a frekvencia adatok alapján csak 3 jól elkülönülő cönótípust határoztunk meg (6. ábra). Ez esetben is a narancssárga 2-es típus a domináns, ami zártabb erdőket jelöl, míg a lila színű 4-es típus (habár némileg beszűkült) megmaradt a völgybe lefutó meredek hegyoldalon. A kék színű 1-es cönótípus jelentős területi változásokon ment keresztül. Alapvetően megállapítható, hogy a korábbi 3-as cönótípus egybeolvadt az 1-essel, illetve a 2-es típus közepén elhelyezkedő részeit is magába olvasztotta. Hat darab lék fehér színnel van jelölve a térképen, ugyanis ezekben a mintavételi kiskörökből nem került elő lágyszárú faj.



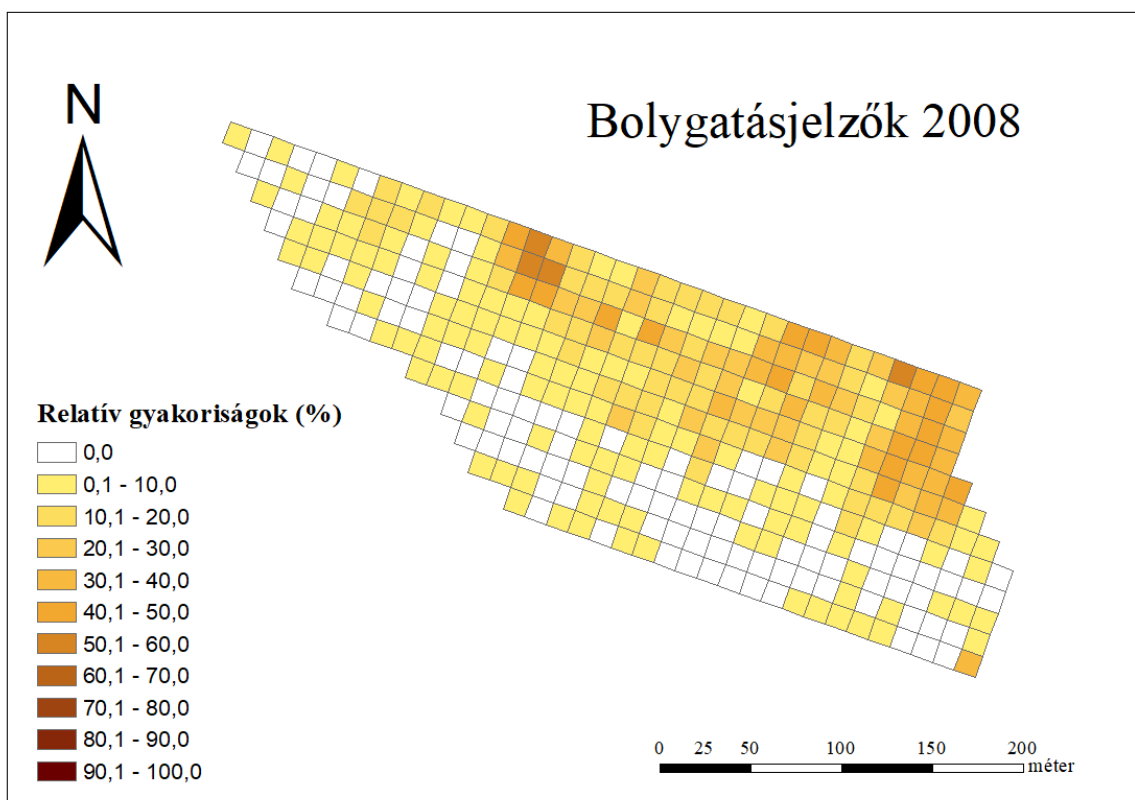
6. ábra: Hierarchikus klasszifikációval elkülönített cönótípusok a 2020-as frekvencia adatok alapján

Az osztályozások eredményei és a különböző nem florisztikai jellemzők relatív gyakoriságának változásaiból korábban arra következtettünk, hogy a tölgypusztulás következtében kialakult lécek záródásával 1986 és 2008 között mezofilizáció zajlott a területen, amely fényigényes fajok visszaszorulásában és üdeségjelző fajok megjelenésében mutatkozott meg. Habár a lombkoronaszint záródása által kiváltott mezofilizáció 1986 és 2020 között is szignifikánsan kimutatható, 2008 és 2020 között a lágyszárúszintből a fényigényes lágyszárú fajok relatív gyakoriságának enyhe növekedését, míg az üdeségjelző fajok relatív gyakoriságának enyhe csökkenését mutattuk ki. Ezt a jelenséget az elmúlt két évtized intenzív lékdinamikájához kötöttük, amely során ismételten nyíltabbá vált az erdő. Annak ellenére, hogy a terület délkeleti részén 2000 és 2010 között intenzív volt lékképződés, a 2008-as lágyszárú adatok egy viszonylag zártabb állományt jeleznek. 2010-et követően ugyan nagyobb méretű lécek nyíltak össze, azonban ezek hamar záródtak, így a 2020-as felmérés továbbra is alacsonyabb fényigényt és magasabb nedvesséigényt jelzett erre a területre. Megállapítható, hogy a finom lékdinamika során zajló kis erdőciklust adott lágyszárú fajok képesek lehetnek átvészelni. Erőteljesebb bolygatást jelez az 1-es cönótípus 2008-ra, majd 2020-ra történő területi növekedése. Ennek a típusnak az új elhelyezkedése egybevág a gerinc mentén, majd

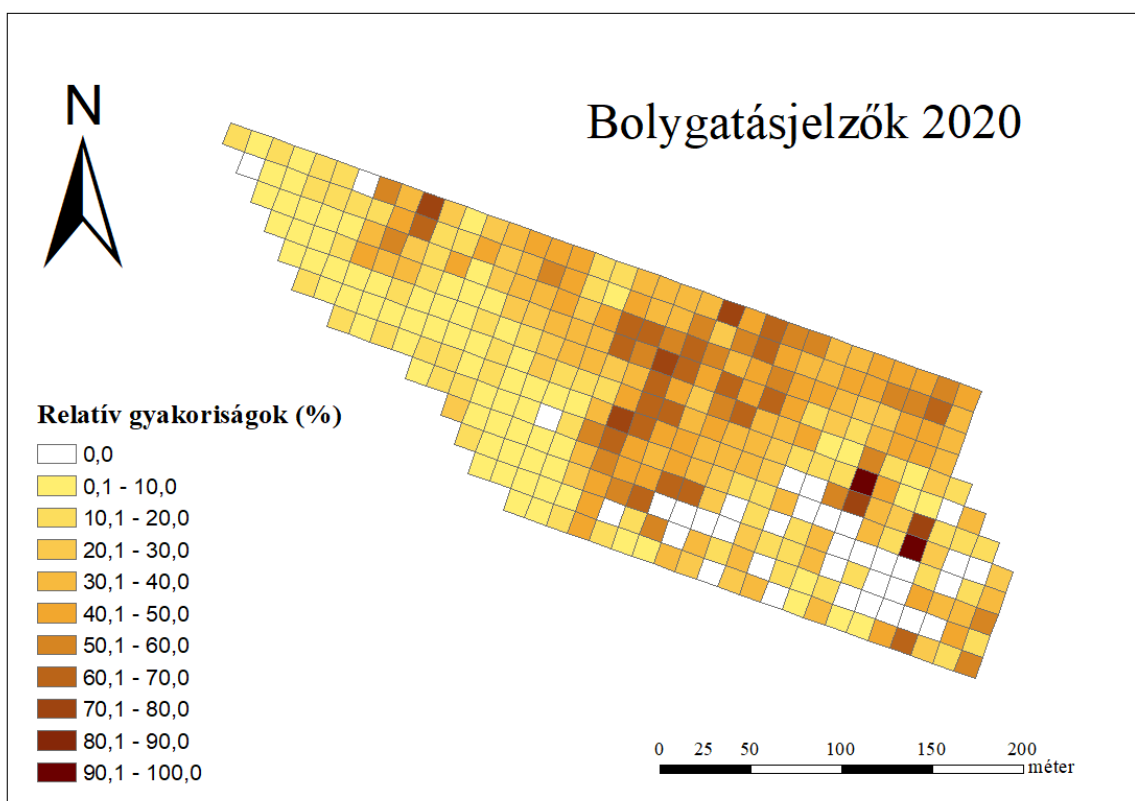
később a gerinc alatt is tapasztalt intenzív lékdinamikával, amely során nagy méretű lékek keletkeztek.

IV.3. A bolygatásjelző lágyszárúak és a lékdinamika kapcsolata

A bolygatások mértékének területi vizsgálatához térképen ábrázoltam a 2008-as és 2020-as adatok alapján a bolygatásjelző fajok lágyszárú fajok relatív gyakoriságát kvadrátonként. A vizsgált fajokat és elemi előfordulásaiknak számát a teljes terület tekintetében a *12. függelék* tartalmazza. 2008 esetén (*7. ábra*) a bolygatásjelzők a hegytetőn (1986-os 1-es cönotípus magasabban fekvő részén) és a gerinc alacsonyabban fekvő részén, továbbá a középső részeken (1986-os 3-as cönotípusban) voltak a leggyakoribbak. Mivel 2008-ban még állt a területet körülvevő vadvédelmi kerítés, ezért a lágyszárúszint által indikált bolygatások a lékdinamikával magyarázhatók. A 2020-as 1-es cönotípus elterjedése nagyon jól követi ezt a mintázatot, de már a 2008-as 1-es cönotípus is közelít felé. Jelen esetben egyfajta késést mutathatunk ki a lágyszárúszint reakciójában, ugyanis a 2008 környékén nyílt lékek hatására csak a léknyílást követő években növekedett meg a bolygatásjelzők relatív gyakorisága, ami még 2020-ban is kimutatható volt, habár a léknyílási események száma csökkent, és inkább a lombkorona záródásának jelensége érvényesült. 2020 esetén (*8. ábra*) látványos a bolygatásjelzők gyakoriságának növekedése és térnyerése. A terület délnyugati részén is megjelent ezek a fajok, amelyek jól mutatják, hogy a vadhatás fokozódásához köthető bolygatások a kerítés elbontását követően már a teljes területet érintik. Ezen túl a terület déli széle mentén egy szórót is kihelyeztek, amely szintén vadak jelenlétét fokozza. A hegytetőhöz közel továbbra is viszonylag magas a bolygatásjelzők relatív gyakorisága, ugyanakkor a középső területeken legabundánsabbak, ami a nagy méretű középső dőlésekhez és a megnövekedett vadhatáshoz köthető. Fontos megjegyezni, hogy a jelentősen megnövekedett vadhatást taposásban és nagy kiterjedésű vaddisznó túrásokban is megmutatkozik. A lágyszárúszint rendkívül gyérre vált az elmúlt években, nagy felületen látható szabad talajfelszín és talajeróziói. Korábbi statisztikai elemzéseink a vadhatás növekedéséhez köthető bolygatásjelzők relatív gyakoriságában nagy mértékű, szignifikáns növekedést mutatott ki. A bolygatásjelzők térnyerésével párhuzamosan az erdei kompetitorok relatív gyakorisága 2008 után csökkent.



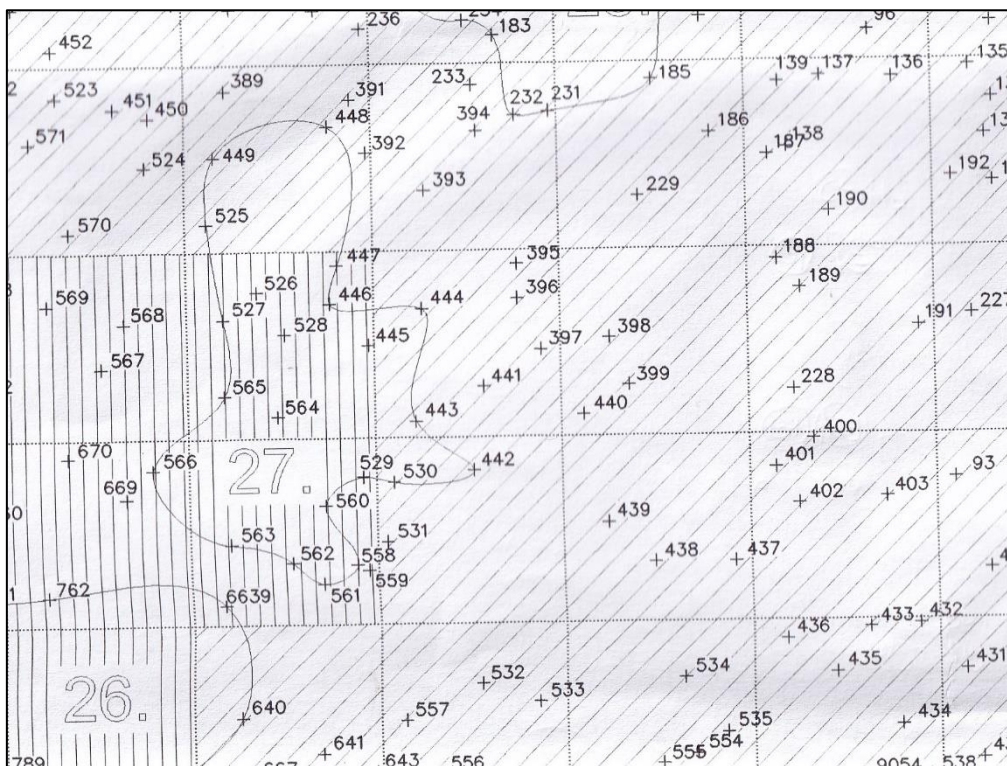
7. ábra: Bolygatásjelző lágyszárú fajok relatív gyakorisága (%) mintavételi kvadrátonként 2008-ban



8. ábra: Bolygatásjelző lágyszárú fajok relatív gyakorisága (%) mintavételi kvadrátonként 2020-ban

IV.4. Lékek újulatának faji alapú elemzése

Faragó (2001) munkája során 40 darab léket mért fel a 2000-es évben. A fatérképen ábrázolt lékek tényleges mérete és alakja eltérhet a valóságtól, ugyanis a lékek szélének megjelölése a lékeket szegélyező fák törzse mentén történt, nem pedig a lombkorona által kirajzolt szegély mentén (9. ábra). Ebből kifolyólag nehézkessé vált, hogy a papíralapú térképen berajzolt lékek beazonosítása a 2000-ből származó légi felvételen. Számos esetben bizonytalan volt az azonosítás, ezért ebben a dolgozatban ezzel nem foglalkozunk. Megállapítható, hogy ezekben a viszonylag idős lékekben jellemzően megindult a záródás, ami történhetett az adott léket szegélyező fák oldalirányú növekedésével vagy a lékben fejlődő újulat általi betöltődéssel. Ennek megállapításához terepi munka során a fatérkép segítségével megkerestem a vizsgált lékeket, és regisztráltam a bennük megjelenő újulatot.



9. ábra: Fatérkép (részlet) és a 2000-ben berajzolt lékek

A vizsgált állományban a lékek alulról történő detektálásában segítséget nyújt, hogy a koruktól és záródásuk mértékétől függetlenül megtalálható a cserjeszint bennük. A lékekben kialakult cserjeszint-foltok pontszerűen helyezkednek el a területen a lékekben, míg a terület egészen a rendkívül gyér cserjeszint jellemző. Ennek egyik oka a záródással fellépő fényhiány, másik pedig a megnövekedett vadhatás. A lékekből előkerült, cserjeszintbe vagy esetenként már a lombkoronaszintben tartozó fásszárú fajokat, illetve adott lék zártságát a 3. táblázat tartalmazza. A lékekben (egy üres lék kivételével) és alapvetően a teljes területen is a gyertyán

(*Carpinus betulus*, GY) újul fel a legnagyobb mértékben. Egy-két egyed már az anyaállományban is megtalálható volt, de az elmúlt 35 évben is tudtak olyan gyertyánok felnőni, amelyek lékeket betöltve elérték a lombkoronaszintet. Második leggyakoribb faj a mezei juhar (*Acer campestre*, MJ), amely a gyertyánnal ellentétben csak lékekben vagy korábbi lékek helyén jelenik meg az állományban. Ezek a fák azonban jellemzően kisebb méretűek, erősen rágottak a nagyvadak által, és a lombkorona záródásával gyakran el is pusztulnak. Szintén sokfelé előfordul vadcsereesznye is (*Prunus avium*, CSNY), azonban megfigyelhető, hogy ezek a fák sérülékenyebbek, és ezért nagyon sok kidőlt fiatal vadcsereesznyével lehet találkozni. Kis mértékben előfordultak tovább fajok, amelyek megkezdték a lékek betöltését: korai juhar (*Acer platanoides*, KJ), magas kőris (*Fraxinus excelsior*, MK), vadalma (*Malus sylvestris*, AL) és vadvadkörte (*Pyrus pyraster*, KT). Érdekes, hogy egyetlen egy helyen találtam cserjeszintbe tartozó kocsánytalan tölgyet is (*Quercus petraea*, KTT). Sajnos ezen a területen a tölgy egyelőre nem tudott felújulni, a magoncok néhány év után jellemzően elhalnak. A cserje fajok közül a húsos som (*Cornus mas*, HUSO) és az egybibés galagonya (*Crataegus monogyna*, GG) dominál, majd őket követi a közönséges mogoró (*Corylus avellana*, MO), illetve egy helyen előfordult egy tekintélyes méretű fekete bodza is (*Sambucus nigra*, FB). A lombkorona záródásával fellépő fényhiány miatt ezek azonban idővel visszahúzódnak.

3. táblázat: Faragó (2001) által felvett lécek újulat és záródásának mértéke 2022-ben

ID	Fafajok	Cserjék	Zártság
1	GY	-	nyitott, de alulról erős GY újulat
2	GY, CSNY	-	oldalról zárodott és erős GY újulat
3	GY, CSNY, MJ	MO	oldalról zárodott és erős GY újulat
5	GY, MJ, AL	GG, MO, HUSO	alulról betöltődött
6	GY	GG	oldalról zárodott
7	GY	-	nyitott, de gyér újulat
8	GY, CSNY, MJ	-	nyitott, de oldalról erősen záródik
9	GY, CSNY	MO, GG	nyitott, de gyér újulat
10	GY, CSNY	MO	oldalról zárodott
11	GY, MJ, KTT	MO, GG	nyitott, de oldalról erősen záródik
12	GY, CSNY	HUSO	nyitott, de oldalról és alulról záródik
13	GY, CSNY	MO	nyitott, de gyér újulat
14	GY, CSNY, MJ	HUSO, GG	oldalról zárodott
15	CSNY, GY, MJ	HUSO, MO	oldalról zárodott
16	GY, MJ	HUSO, MO	nyitott, de alulról erős GY újulat
17a	GY, MJ	HUSO	oldalról zárodott
17b	GY, MJ	HUSO, GG	nyitott, de oldalról záródik
17c	GY, MJ	HUSO	nyitott, de oldalról záródik
18	GY, CSNY	HUSO, GG	oldalról és alulról is záródott
19	GY, MJ	GG, HUSO	oldalról és alulról is záródott
20	GY	HUSO, GG	nyitott, de gyér újulat
21	-	-	nyitott, de nincs újulat
22	GY, KT	-	oldalról zárodott
23	GY	GG	oldalról zárodott
24	GY, CSNY	GG	nyitott, de gyér újulat
25	GY, MJ	GG, MO	nyitott, de alulról erős újulat
26	GY, MJ	HUSO, MO	nyitott, de alulról erős újulat
27	GY, CSNY, MJ, KJ	HUSO, MO, FB	nyitott, de oldalról és alulról záródik
28	GY, MJ, CSNY	GG, HUSO	nyitott, de alulról erős újulat
29	GY, MJ	HUSO, GG	nyitott, de alulról erős újulat
30	GY, MJ	HUSO	oldalról zárodott
31	GY, MJ	HUSO, GG	nyitott, de alulról erős újulat
32a	GY, MJ	MO, HUSO	nyitott, de alulról erős GY újulat
32b	GY, CSNY, MJ	HUSO, MO	nyitott, de alulról erős GY újulat
33	GY, CSNY, MJ	HUSO, MO	nyitott, de oldalról záródik
34	GY	HUSO, MO	oldalról zárodott
35	GY, CSNY	HUSO, GG	oldalról zárodott
36	GY, MJ, KJ, MK	HUSO	oldalról zárodott
37	GY, CSNY, MJ	HUSO	oldalról zárodott
39	GY, CSNY	-	nyitott, de oldalról záródik

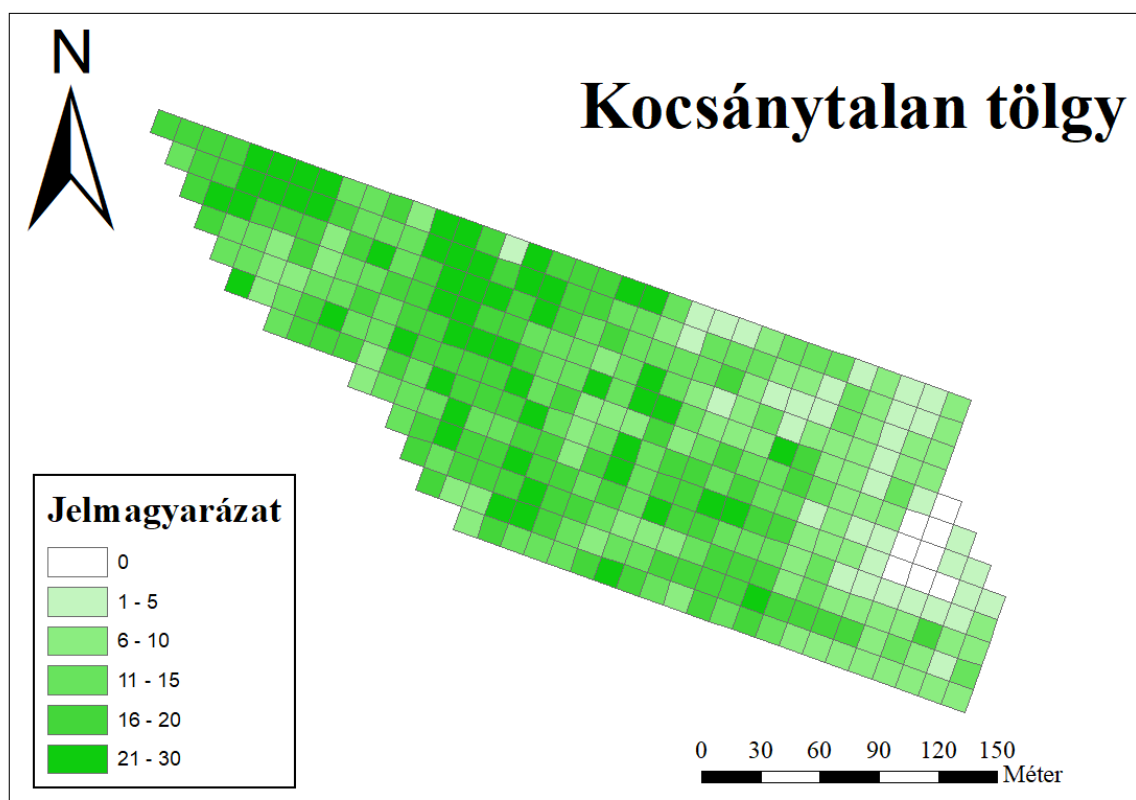
A Faragó (2001) által felvett lécek közül 18-ról tudtam 2022 őszén megállapítani, hogy a lombkorona bezárult, míg 22 lék továbbra is valamilyen szinten nyílnak tekinthető, habár jellemzően megindult a záródás a lék szélén álló fák oldalirányú növekedésével vagy az alulról történő betöltődéssel. A vizsgált lécek esetén az oldalról történt záródás a leggyakoribb, mivel a tölgypusztulás során keletkezett lécek kis méretűek, azonban néhány esetben az újulat is erősen hozzájárult a záródáshoz. Utóbbi esetekben lehet csak olyan elegyfajokat megfigyelni, amelyek elérték a lombkoronaszintet. 3 esetben megfigyelhető, hogy a záródáshoz hozzájárult a lék közepén álló fák regenerálódása, amelyek még 2000-ben is valószínűleg erősen csonkolt lombkoronával rendelkeztek. 6 lék esetén a nyitottság fenntartásához hozzájárult, hogy a széleken új dölések történtek, amelyek egyben megnövelték a lécek méretét is. Megfigyelhető egy olyan jelenség, hogy az újulat és a cserjeszint azokban a lécekben rendkívül gyér, amelyek a meredekebb hegyoldalakon helyezkednek el (hegytető: *1-es cönótípus*, délnyugati hegyoldal: *4-es cönótípus*). Ezek esetén még ha nem is záródott a lék, a sekély termőréteg nem kedvezett az újulat fejlődésének.

IV.5. A lágyszárúszintbe tartozó fafajok elterjedése

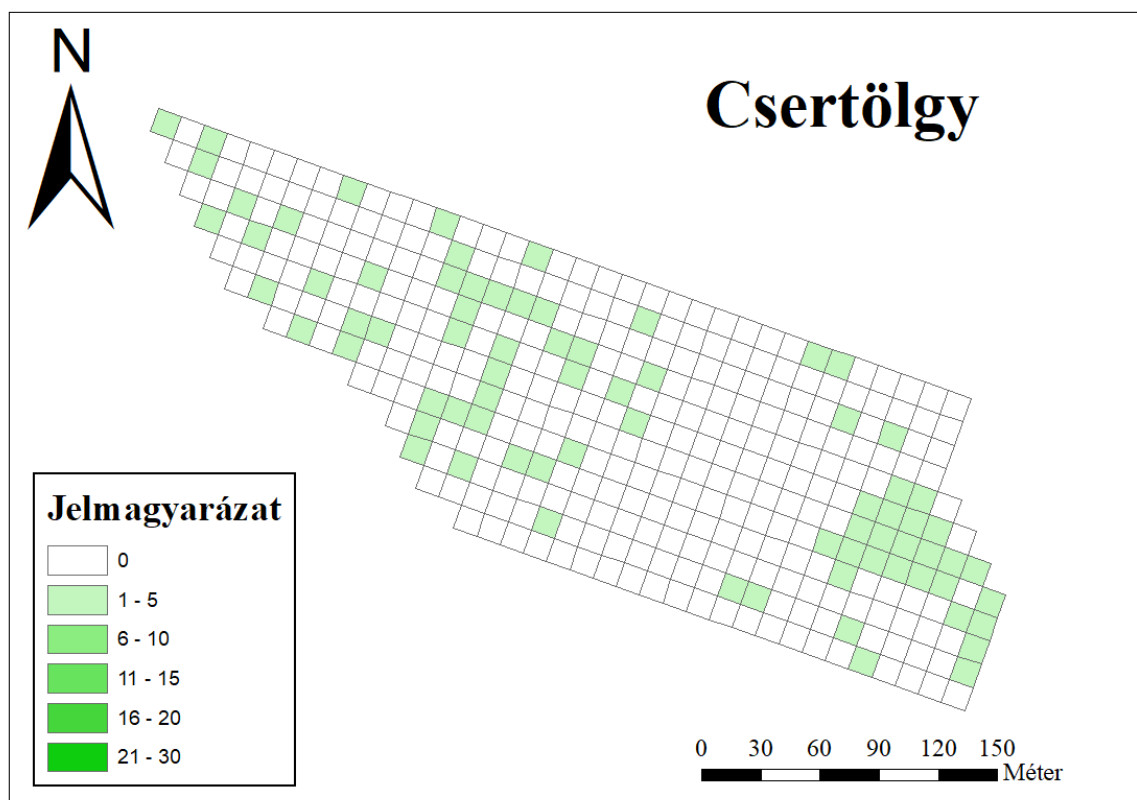
A 2022-es terepi megfigyelések során megállapítottuk, hogy azokban a lécekben is, amelyeket Faragó nem vett fel 2000-ben (vagy mert már addigra záródtak, vagy mert csak később alakultak ki) tapasztalhatunk fejlett újulatot, ahol más fafajok is megjelennek nagyobb számban. Ugyan ez a felmérés nem terjedt ki minden lékre, de 2020-ban regisztrált lágyszárúszintbe tartozó (50 cm alatti) fásszárú adatok képet adhatnak arról, hogy a teljes terület tekintetében milyen fásszárú fajok vannak jelen, illetve a léceknek milyen további felújulási lehetőségei vannak. A lágyszárúszintből előkerült legdominánsabb fafajok a következők gyakoriság szerint csökkenő sorrendben: kocsánytalan tölgy (KTT, 4796 kiskör), vadcserezsnye (CSNY, 804 kiskör), közönséges gyertyán (GY, 705 kiskör), mezei juhar (MJ, 457 kiskör), csertölgy (CS, 105 kiskör), korai juhar (KJ, 90 kiskör), magas kőris (MK, 86 kiskör). Ezeken kívül előfordul még többek között barkócaberkenye, házi berkenye, hegyi szil, hegyi juhar stb.

A 10-16. ábrák-on a leggyakoribb fajok elterjedése látható a kis körökből (mintavételi kvadrátonként 30 darab) gyűjtött frekvencia adatok alapján. A kocsánytalan tölgy (10. ábra) a teljes területről nagy számban előkerült, kivéve egy foltban a keleti oldalon, ahol is az anyaállományt csertölgyek alkotják. Ezzel szemben a csertölgy csemeték éppen ebből a foltból kerültek elő nagy számban, ugyanakkor fontos kiemelni, hogy a teljes területen elszórtan megjelentek a magoncai (11. ábra). A gyertyán esetén az állomány déli részén látható

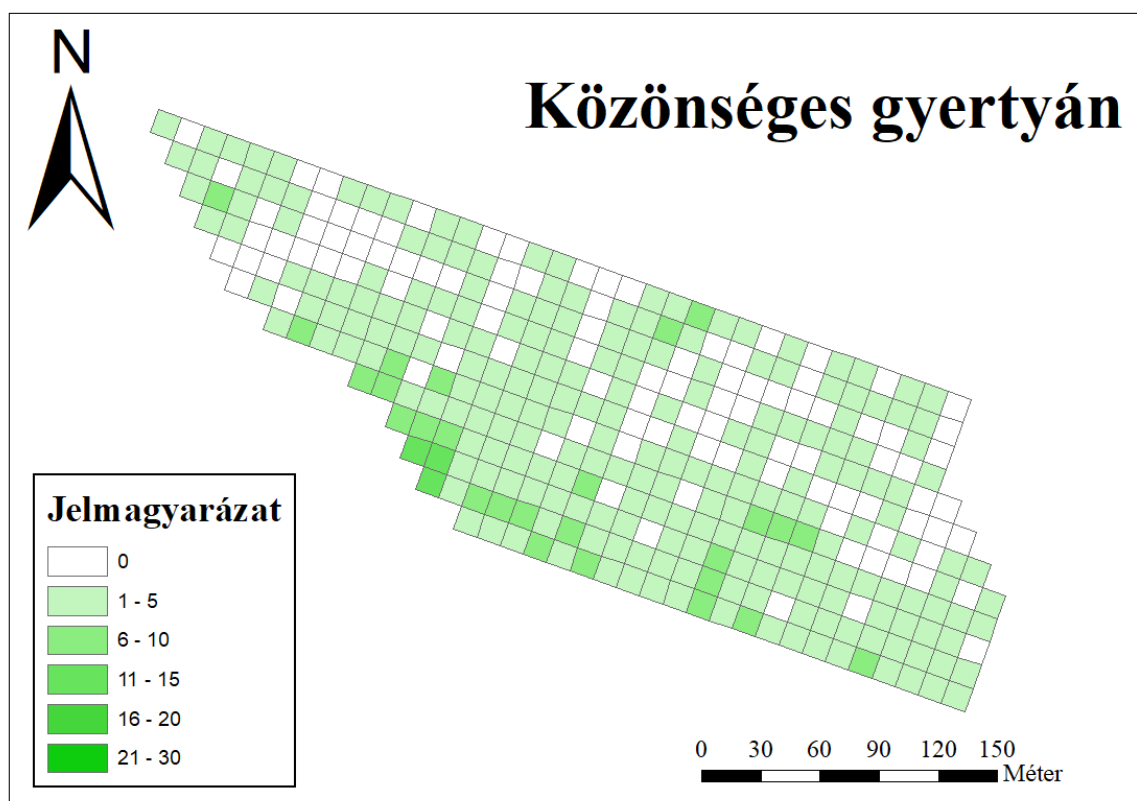
kiemelkedő gyakoriság (12. ábra). Ez azzal magyarázható, hogy a korábban a vadvédelmi kerítés védelmében a terület déli oldala mentén egy vékony sávban vágást végeztek. Ebben a sávban mostanra erőteljesen feljött a gyertyán, ugyanakkor a vizsgálati terület szegélye mentén is érvényesült a vágás hatása, és így sűrű gyertyán újulat található ott meg, amelyek már több méteresek. A vadcsereznye is előfordul majdnem a teljes területen, kivéve a keleti részeken, ahol a lombkoronaszint a legzártabb (13. ábra). Megfigyelhető ugyanakkor, hogy egy két foltban viszonylag gyakoribb a cseresznye. Ezeken a foltokon korábban nagy méretű lékek nyíltak, amelyek kedveztek a cseresznye növekedésének. A juharok esetén a mezei juharról (14. ábra) elmondható, hogy a teljes területen megjelenik a lágyszárúszintbe, kivéve a meredekebb 4-es cönótípusban és a hegytetőn. A korai juhar csemeték két helyen centralizálódnak, ahol az elmúlt 20 évben is intenzív lékdinamikát tapasztaltunk, és ahol nagy valószínűséggel magászó fák találhatóak a régebbi lékekben felnőve (15. ábra). A magas köris újulat is két helyen koncentrálódik, amelyek közül az egyik az a cseres folt (16. ábra).



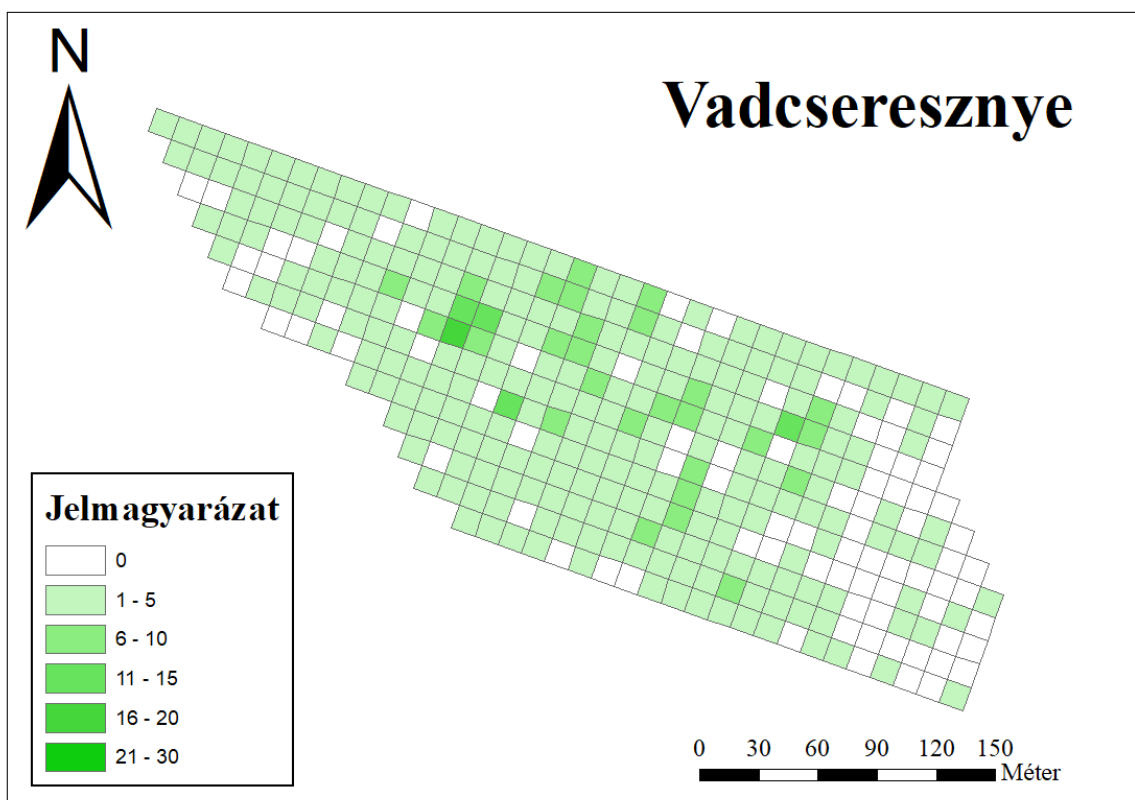
10. ábra: A lágyszárúszintbe tartozó kocsánytalan tölgy újulat 2020-as előfordulásainak száma a mintavételi kvadrátonként kihelyezett 30 darab kis kör alapján



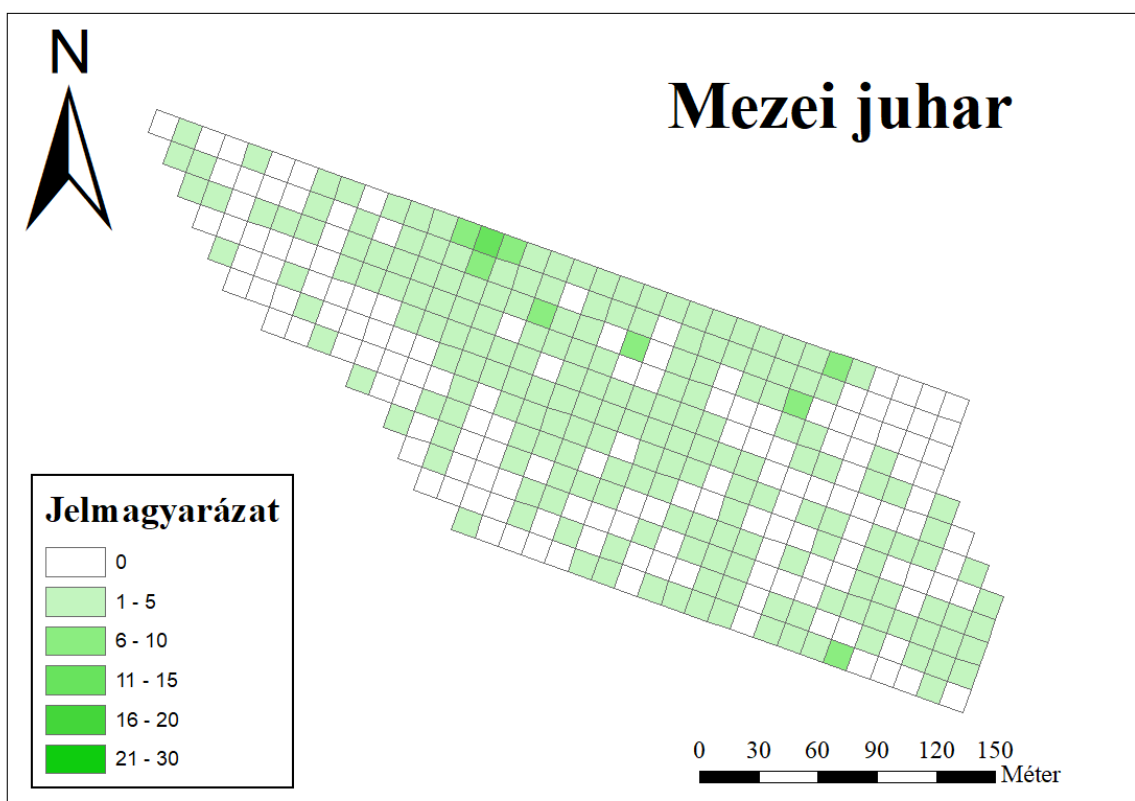
11. ábra: A lágyszárúszintbe tartozó csertölgy újulat 2020-as előfordulásainak száma a mintavételi kvadrátonként kihelyezett 30 darab kis kör alapján



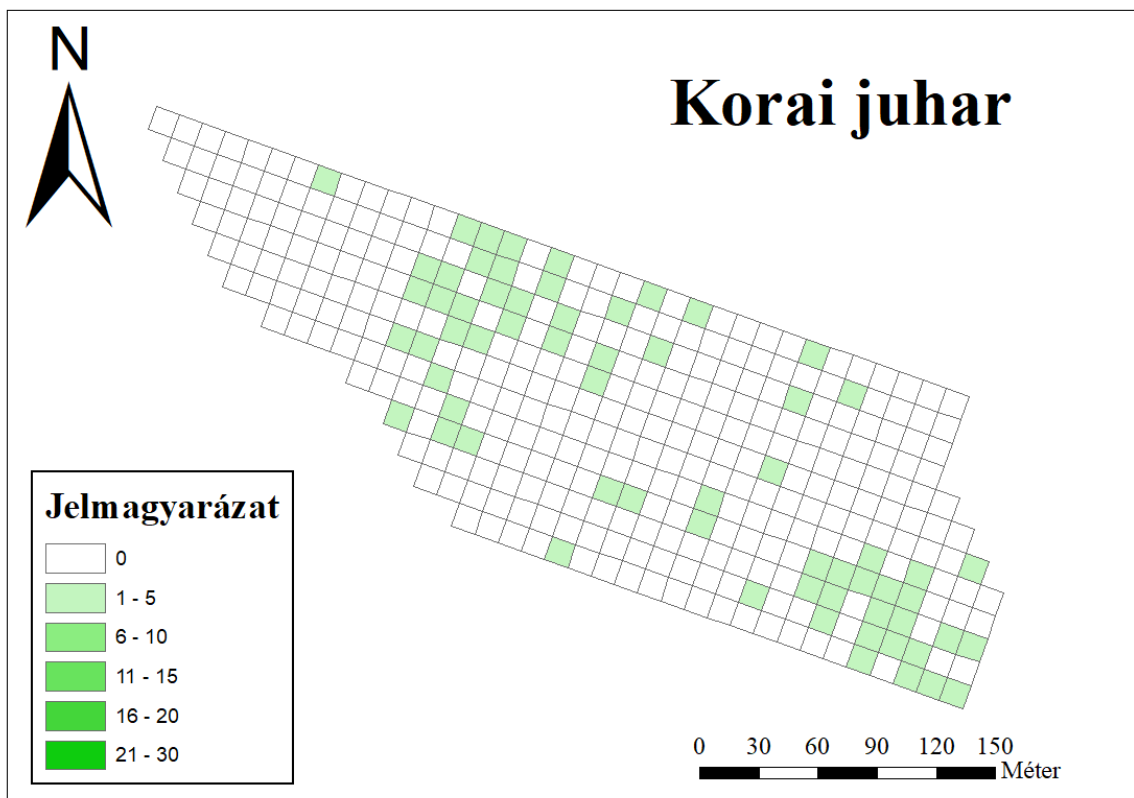
12. ábra: A lágyszárúszintbe tartozó közönséges gyertyán újulat 2020-as előfordulásainak száma a mintavételi kvadrátonként kihelyezett 30 darab kis kör alapján



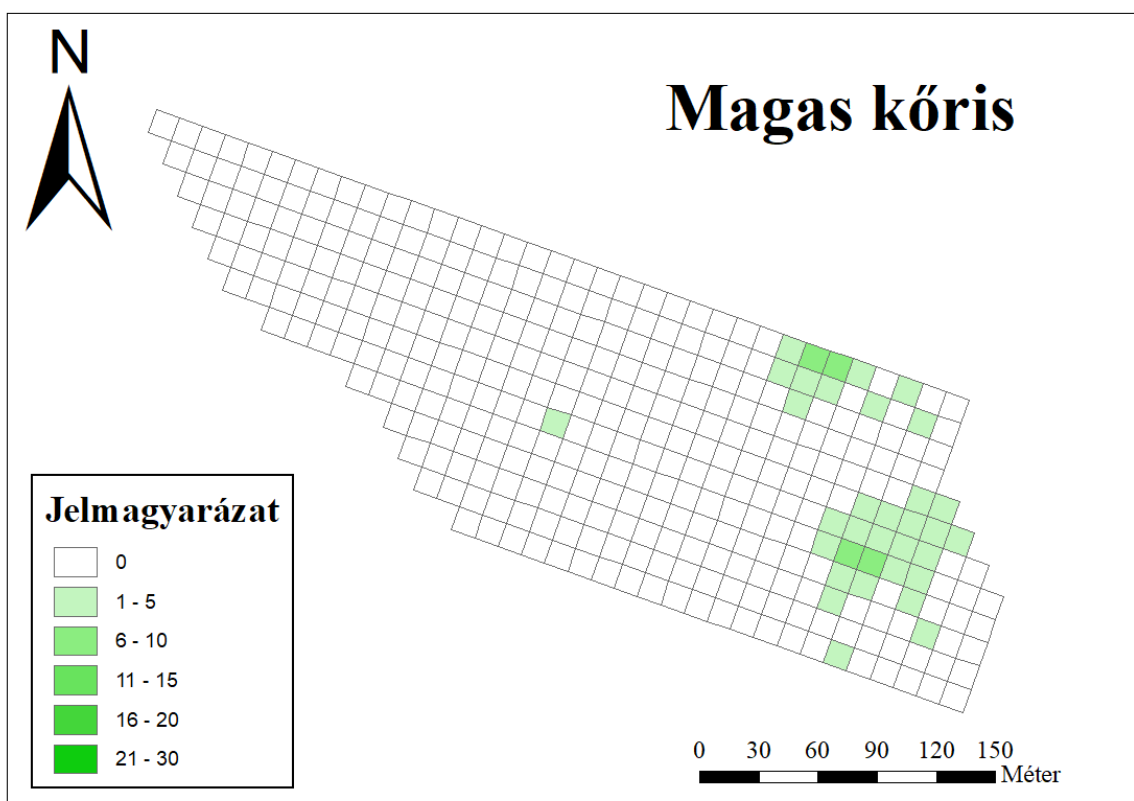
13. ábra: A lágyszárúszintbe tartozó vadcseresznye újulat 2020-as előfordulásainak száma a mintavételi kvadrátonként kihelyezett 30 darab kis kör alapján



14. ábra: A lágyszárúszintbe tartozó mezei juhar újulat 2020-as előfordulásainak száma a mintavételi kvadrátonként kihelyezett 30 darab kis kör alapján



15. ábra: A lágyszárúszintbe tartozó korai juhar újulat 2020-as előfordulásainak száma a mintavételi kvadrátonként kihelyezett 30 darab kis kör alapján



16. ábra: A lágyszárúszintbe tartozó magas kőris újulat 2020-as előfordulásainak száma a mintavételi kvadrátonként kihelyezett 30 darab kis kör alapján

V. Összegzés

Munkám során a lékdinamikát vizsgáltam a Völgyfő Projekt 35 éve magára hagyott tölgyesében 2000 és 2021 között. Habár nem állt rendelkezésünkre használható légi felvétel a 2000 előtti időszakból, amikor is a tölgypusztulás zajlott, azonban a tölgypusztulástól függetlenül, természetes hatásokra nyílt lékeket tanulmányozhattuk az elmúlt két évtizedben. Korábbi munkák megállapították, hogy a megbetegedett fák jelentős része képes volt regenerálódni, és 2000-re a lombkorona jelentős záródáson ment keresztül. A lágyszárúszint változásai szintén a lombkorona kezdeti záródására utalnak, majd feltételezhetően új lécek következtében ismét nyíltabbá vált némileg a lombkoronaszint. Jelen vizsgálataim lehetővé teszik, hogy a kiindulási állapotokhoz képest hogyan alakult a lombkoronaszint zártsága természetes hatásokra a tölgypusztulástól függetlenül.

A kezdeti évben, 2000-ben, még sok, kis méretű lék volt megtalálható az állományban, amely a pontszerűen jelentkező tölgypusztulás hagyatéka lehet. Az első 5-10 évben volt a legintenzívebb a lékdinamika, ugyanis ekkor az eredeti lécek többsége záródott, míg nagy számban keletkeztek újabbak. A vizsgált 21 év alatt megfigyelhető, hogy a területen egyre nagyobb lécek keletkeztek új dölések következtében, azonban 2021-re az állomány ismét erőteljesen záródott. A folyamatosan jelentkező dölések mellett ismerünk olyan nagy volumenű eseményeket is, amelyek súlyosan érintették a kutatási területünket is. Ilyenek a 2010-es viharok, amelyek Völgyfőn és az egész országban is okoztak komoly döléseket. Egy másik példa a 2017 április hótörés, amelynek hatására szintén nagyméretű lécek keletkeztek.

Megfigyelhető, hogy a gyakori és nagy méretű lécek keletkezésével járó bolygatások mentén a nyíltabb állományokat jelölő 1-es cönótípus 2020-ra nagy területen helyezkedett el, amely a hegytetőn és a gerincen túl kiterjedt a kevésbé meredek, vastag termőrétegű középső területekre is. Habár a zárt állományra utaló 2-es cönótípus 2008 és 2020 között területének jelentős részét elvesztette az 1-es típus javára, a déli és délkeleti részekben meg tudott maradni, ahol az aktív lékdinamika ellenére is viszonylag zártnak tekinthető az állomány. A bolygatásjelzők 2008-as relatív gyakorisága is kirajzolja, hogy hol érintették komolyabban a bolygatások a lágyszárúszintet, ugyanakkor ezt követően a vadvédelmi kerítés elbontása miatt jelentősen megnövekedett a vadhatás a teljes területen, amely elősegítette a bolygatásjelző fajok relatív gyakoriságának megugrását.

A Faragó (2001) által felvett lécek többsége 2022-re záródott vagy részben záródott. Legtöbb esetben az egy-egy fa pusztulásával kialakult lécek a szélső fák oldalirányú növekedésével záródtak, azonban sok helyen az erőteljesen fejlődő újulat is elkezdte alulról

betölteni a lékeket. A vizsgált állomány újulatában (lékekben és lékeken kívül egyaránt) a gyertyán a leggyakoribb fafaj. A lékekben továbbá gyakori még a mezei juhar és a vadcserezsnye, azonban a tölgy jelen körülmények között nem képes felújulni. A 2020-as lágyszárúszintből gyűjtött fásszárú fajok adatai azt mutatják, hogy a kiemelkedően nagy számú tölgy csemete mellett a teljes területen vagy legalább a terület bizonyos részein számos elegyfaj van jelen nagy számban, ami a jövőben egy elegyes erdő létrejöttének biztosítója lehet.

A lékdinamika vizsgálat hozzásegít minket ahhoz, hogy jobb képet kapjunk az állomány szerkezetéről és annak hatásáról a lágyszárúszintre, valamint a termőhelyi változatosságról. A továbbiakban arra is kíváncsiak vagyunk, hogy milyen a vitalitása az erdészek által előnytelennek tartott és 85-90 éves korukban általában kivágott sarjeredetű tölgyeknek 120 éves korukban. A lombkorona zártsága és a lágyszárúszint faji összetétele közti kapcsolat vizsgálata során szem előtt kell tartani, hogy habár a zárt lombkorona mikroklímátikus pufferként megvédi az aljnövényzetet a globális felmelegedés hatásaitól, azonban a természetvédelmi szempontból értékes fényigényes erdei fajok hosszútávú fennmaradásához nélkülözhetetlen, hogy a lombkorona természetes bolygatások vagy szükség esetén mesterséges beavatkozások hatására időről időre felnyíljon. A jövőben szeretnék egy új fatérképet készíteni az állományról, majd ezt követően megmérni az egyes fák növedékeit és megbecsülni az egészségi állapotukat. A tervezett kutatás egyedülálló lehetőséget biztosít ahhoz, hogy a Völgyfő Projekt keretében évtizedekkel korábban felmért kocsánytalan tölgy állományban nyomon követhessük a fák sorsát a tölgypusztulást követő évtizedekben, és ezáltal kapcsolatot találjunk a faállomány és az aljnövényzet mintázata között.

VI. Köszönetnyilvánítás

Első sorban köszönöm a szakmai és minden egyéb irányú segítséget témavezetőmnek, Standovár Tibornak, aki évek óta fáradhatatlanul lehetőséget biztosít számomra a kutatáshoz. Külön köszönet Kenderes Katának, aki hasznos tanácsokkal látott el a lécek digitalizációjával kapcsolatban, és aki segített nekünk a leszármazásvizsgálat elkészítésében. Továbbá köszönöm Uhrin Mártonnak a segítséget a terepi munkában.

VII. Irodalomjegyzék

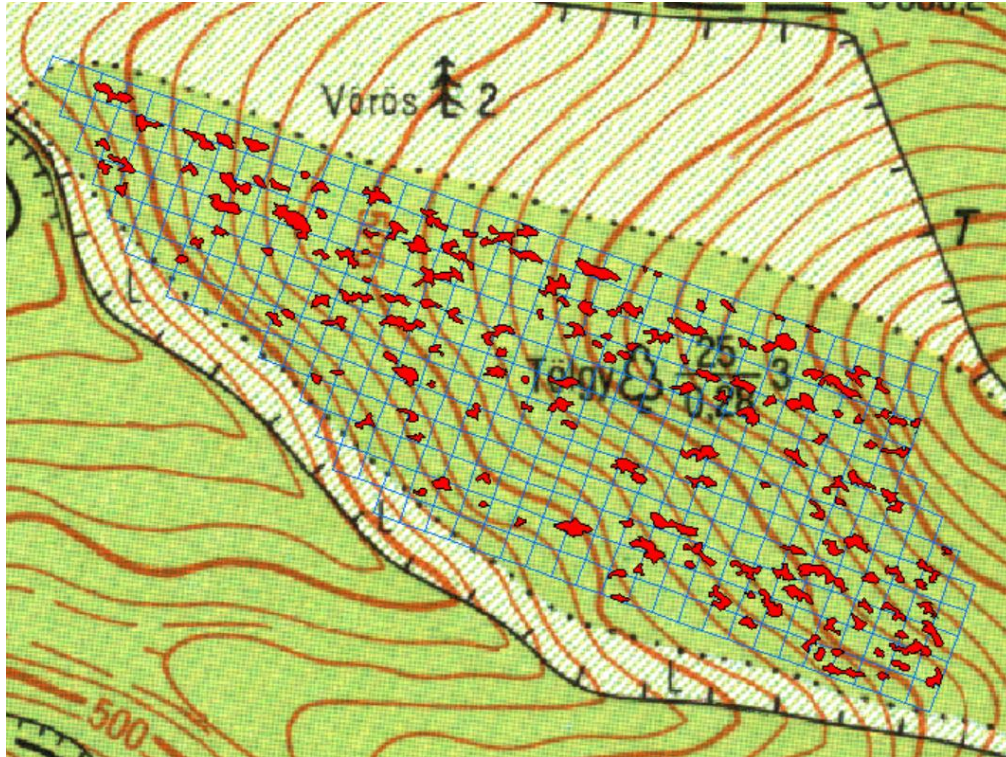
- Balogh, K. 1964. A Bükk-hegység és környékének földtani térképe 1:100 000 méretarányban. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- Bernhardt-Römermann, M., Baeten, L., Craven, D., De Frenne, P., Hédli, R., Lenoir, J., Bert, D., Brunet, J., Chudomelová, M., Decoq, G., Dierschke, H., Dirnböck, T., Dörfler, I., Heinken, T., Hermy, M., Hommel, P., Jaroszewicz, B., Keczynski, A., Kelly, D., Kirby, K.J., Kopecky, M., Macek, M., Mális, F., Mirtl, M., Mitchell, F.J.G., Naaf, T., Newman, M., Peterken, G., Petrik, P., Schmidt, W., Standovár, T., Tóth, Z., Van Calster, H., Verstraeten, G., Vladovic, J., Vild, O., Wulf, M., Verheyen, K. 2015. Drivers of temporal changes in temperate forest plant diversity vary across spatial scales. *Global Change Biology* 21: 3726-3737.
- Bertrand, R., Lenoir, J., Piedallu, C., Riofrío-Dillon, G., De Ruffray, P., Vidal, C., Pierrat, J-C., Gégout, J-C. 2011. Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests. *Nature* 479: 517-520.
- Botlik, D.F. 2009. Változások egy kocsánytalan tölgyes aljnövényzetének mintázatában. Szakdolgozat, ELTE, Budapest.
- Brewer, R. 1980. A half-century of changes in the herb layer of a climax deciduous forest in Michigan. *Journal of Ecology* 68: 823-832.
- Cserép, Sz. 1990. Fásszárú és lágyszárú növényzet-mintázatok összehasonlító elemzése egy tölgyerdőben. Szakdolgozat, ELTE, Budapest.
- Cserép, Sz., Standovár, T., Vanicsek, L. 1991. Tree seedling composition as a function of site quality indicated by herbaceous species in a sessile oak stand. *Vegetatio* 95: 71-85.
- De Frenne, P., Rodríguez-Sánchez, F., Coomes, D.A., Baeten, L., Verstraeten, G., Vellend, M., Bernhardt-Römermann, M., Brown, C.D., Brunet, J., Cornelis, J., Decocq, G.M., Dierschke, H., Eriksson, O., Gilliam, F.S., Hédli, R., Heinken, T., Hermy, M., Hommel,

- P., Jenkins, M.A., Kelly, D.L., Kirby, K.J., Mitchell, F.J.G., Naaf, T., Newman, M., Peterken, G., Petrik, P., Schultz, J., Sonnier, G., Van Calsten, H., Waller, D.M., Walther, G.-R., White, P.S., Woods, K.D., Wulf, M., Graae, B.J., Verheyen, K. 2013. Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 110(46): 18561-18565.
- De Frenne, P., Zellweger, F., Rodríguez-Sánchez, F., Scheffers, B.R., Hylander, K., Luoto, M., Vellend, M., Verheyen, K., Lenoir, J. 2019. Global buffering of temperatures under forest canopies. *Nature Ecology & Evolution* 3: 744-749.
- Faragó, N. 2001. Felújulási folyamatok vizsgálata egy Bükk-hegységi tölgyállományban. Szakdolgozat, ELTE, Budapest.
- Hirka, A., Csóka, Gy. 2010. Abiotikus károk Magyarország erdeiben. *Növényvédelem* 46(11): 513-517.
- Juhász-Nagy, P. 1970. Egy operatív ökológia hiánya, szükséglete. *MTA Biológiai Osztály Közleményei* 12: 441-464.
- Juhász-Nagy, P. 1986. Egy operatív ökológia hiánya, szükséglete és feladatai. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Molnár, T., Birinyi, M., Király, G., Móricz, N., Koltay, A., Hirka, A., Csóka, Gy., Somogyi, Z. 2019. Egy bükki hótörés távérzékelési elemzése MODIS és Sentinel-2 műholdképek alapján. *Geomatikai Közlemények XXII*: 53-63.
- Pickett, S.T.A., White, P.S. 1985. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press.
- Podani, J. 1997. Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeldtárás rejtelseibe. Scientia Kiadó, Budapest.
- Podani, J. 2001. *SYN-TAX 2000 User's Manual*. Scientia Kiadó, Budapest.
- Standovár, T. 1988. Vegetation pattern in a sessile oak (*Quercus petraea*) stand. *Abstracta Botanica* 12: 189-206.
- Standovár, T. 1993a. Vegetation studies and their application to site indication in a sessile oak forest. Doktori értekezés, ELTE, Budapest.
- Standovár, T. 1993b. Interspecific relationship of herbs in a sessile oak (*Quercus petraea*) stand. *Abstracta Botanica* 17(1-2): 159-172.

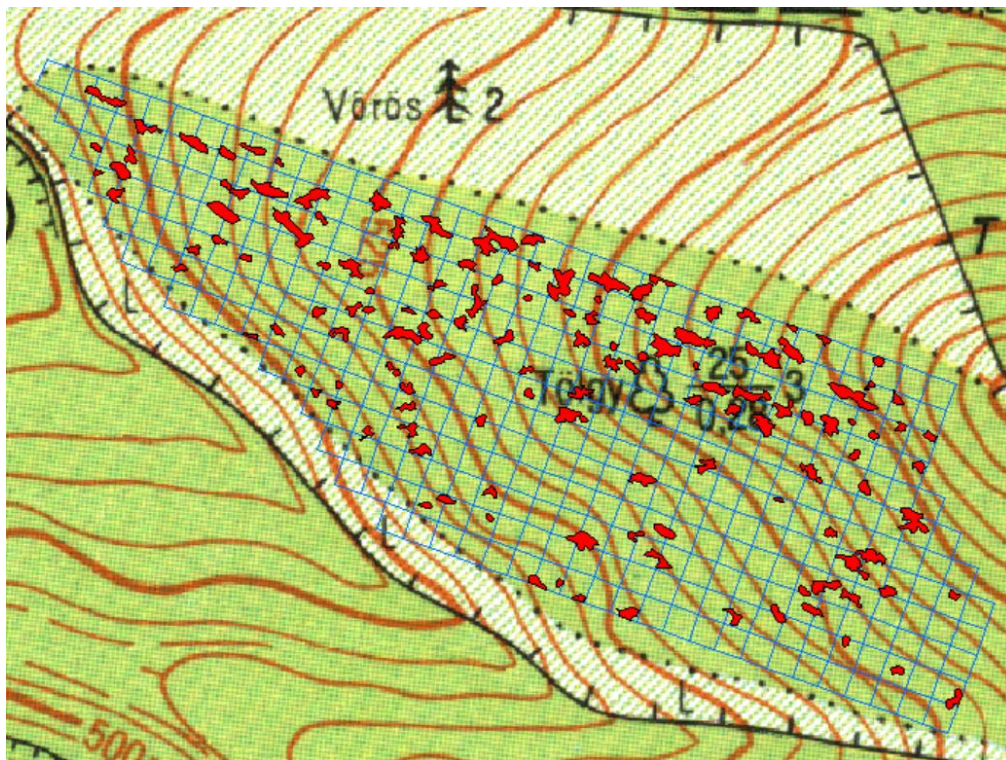
- Standovár, T. & Rajkai, K. 1994. Herbs as soil moisture indicators within a sessile oak stand. *Abstracta Botanica* 18(2): 71-78.
- Standovár, T. & Somogyi, Z. 1998. Corresponding patterns of site quality, decline and tree growth in a sessile oak stand. *European Journal of Forest Pathology* 28: 133-144.
- Standovár, T., Ódor, P., Aszalós, R., Gálhidy, L. 2006. Sensitivity of ground layer vegetation diversity descriptors in indicating forest naturalness. *Community Ecology* 7(2): 199-209.
- Standovár, T., Horváth, S., Aszalós, R. 2017. Temporal changes in vegetation of a virgin beech woodland remnant: stand-scale stability with intensive fine-scale dynamics governed by stand dynamic events. *Nature Conservation* 17: 35-56.
- Szirmai, J. 1991. A lágyszárú vegetáció mintázata és a kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) hervadásos pusztulásának összehasonlító vizsgálata egy Bükk-hegységi állományban (Völgyfő Project). Szakdolgozat, ELTE, Budapest.
- Vannini, A., Anselmi, N. 1997. Oak decline: an ecological sanction? 1st International Plant Protection Symposium at DAU, Debrecen. Konferencia összefoglaló.
- Verheyen, K., De Frenne, P., Baeten, L., Waller, D.M., Hédli, R., Perring, M.P., Blondeel, H., Brunet, J., Chudomelová, M., Decocq, G., De Lombaerde, E., Depauw, L., Dirnböck, T., Durak, T., Eriksson, O., Gilliam, F.S., Heinken, T., Heinrichs, S., Hermy, M., Jaroszewicz, B., Jenkins, M.A., Johnson, S.E., Kirby, K.J., Kopecky, M., Landuyt, D., Lenoir, J., Li, D., Macek, M., Maes, S.L., Mális, F., Mitchell, F.J.G., Naaf, T., Peterken, G., Petrik, P., Reczynska, K., Rogers, D.A., Hoistad Schei, F., Schmidt, W., Standovár, T., Swierkosz, K., Ujházy, K., Van Calster, H., Vellend, M., Vild, O., Woods, K., Wulf, M., Bernhardt-Römermann M. 2017. Combining Biodiversity Resurveys across Regions to Advance Global Change Research. *BioScience* 67: 73-83.
- Vései, P. 2001. A kocsánytalan tölgy állomány egészségi állapotának változása és az egészség állapot hatása a fák vastagsági növekedésére. Szakdolgozat, ELTE, Budapest.
- Zellweger, F., De Frenne, P., Lenoir, J., Vangansbeke, P., Verheyen, K., Bernhardt-Römermann, M., Baeten, L., Hédli, R., Berki, I., Brunet, J., Van Calster, H., Chudomelová, M., Decocq, G., Dirnböck, T., Durak, T., Heinken, T., Jaroszewicz, B., Kopecky, M., Mális, F., Macek, M., Malicki, M., Naaf, T., Nagel, T.A., Ortmann-Ajkai, A., Petrik, P., Pielech, R., Reczynska, K., Schmidt, W., Standovár, T., Swierkosz, K., Teleki, B.,

Vild, O., Wulf, M., Coomes, D. 2020. Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming. Science 368: 772-775.

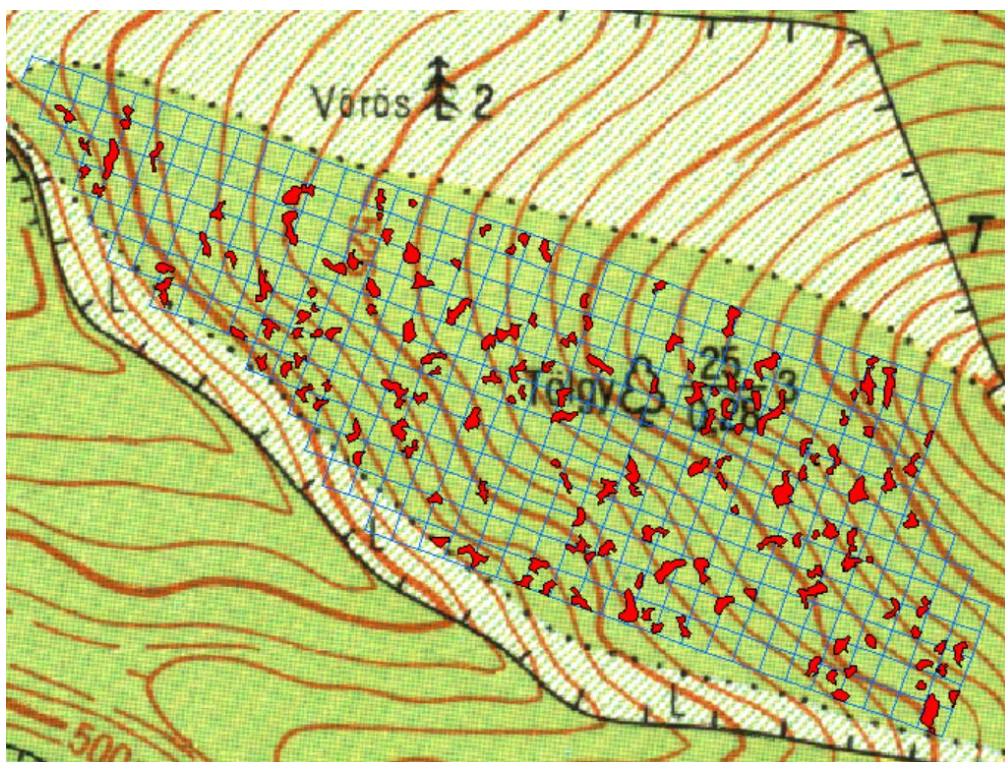
VIII. Függelék



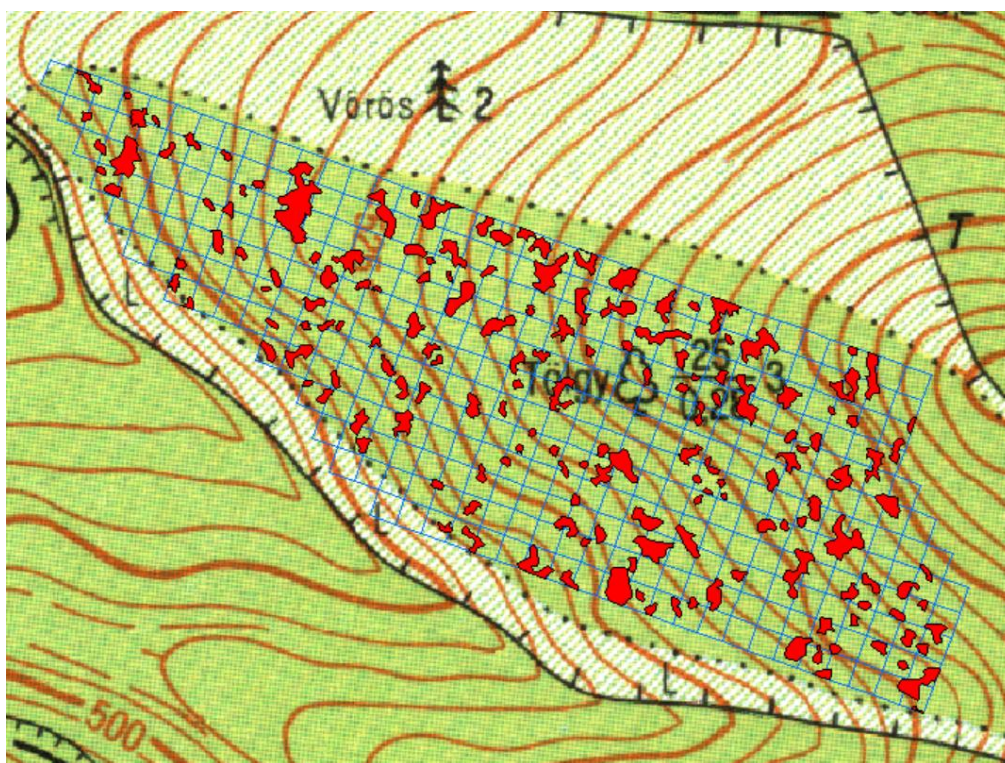
1. függelék: Léktérkép 2000-ből



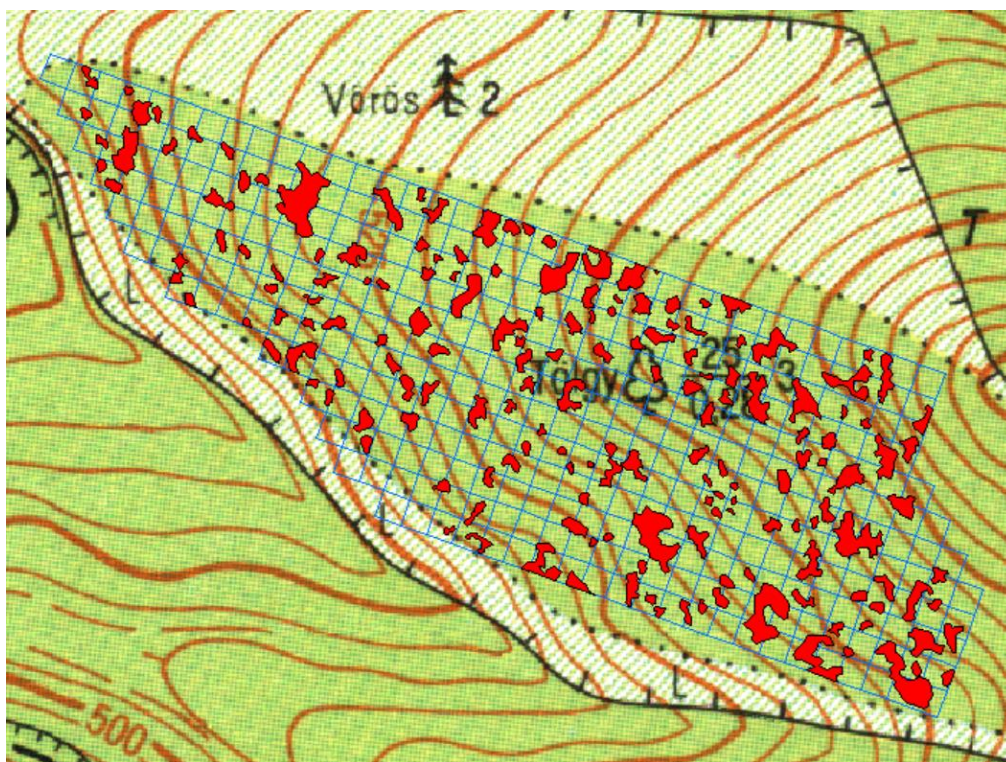
2. függelék: Léktérkép 2005-ből



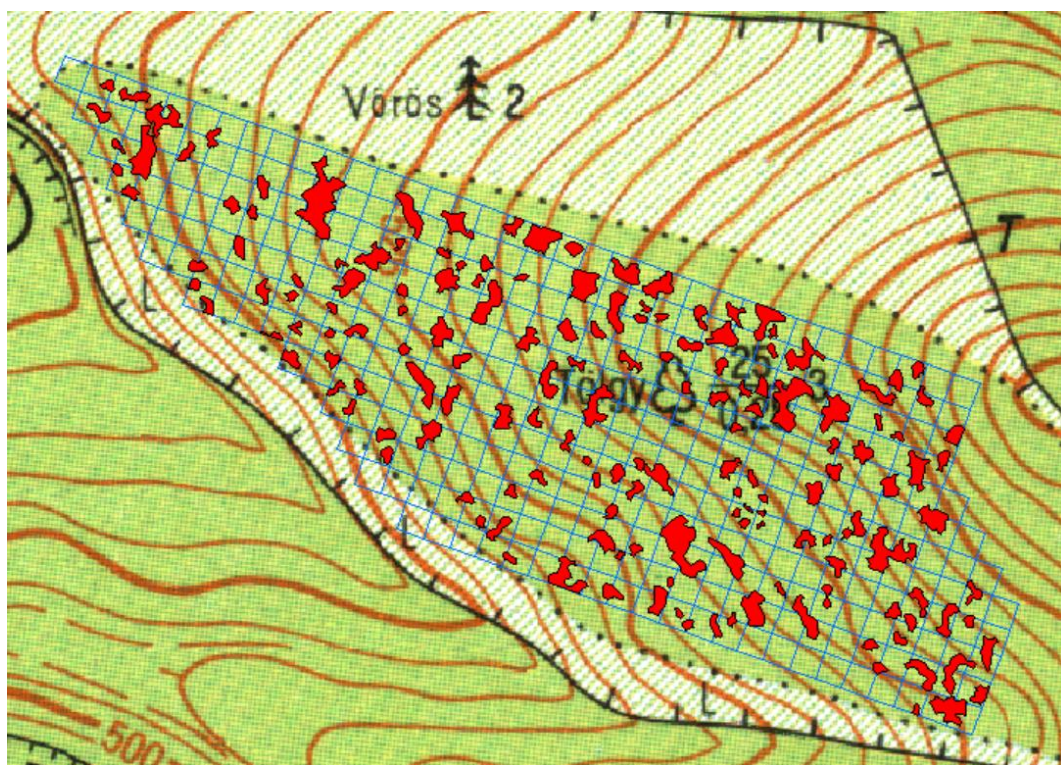
3. függelék: Léktérkép 2007-ből



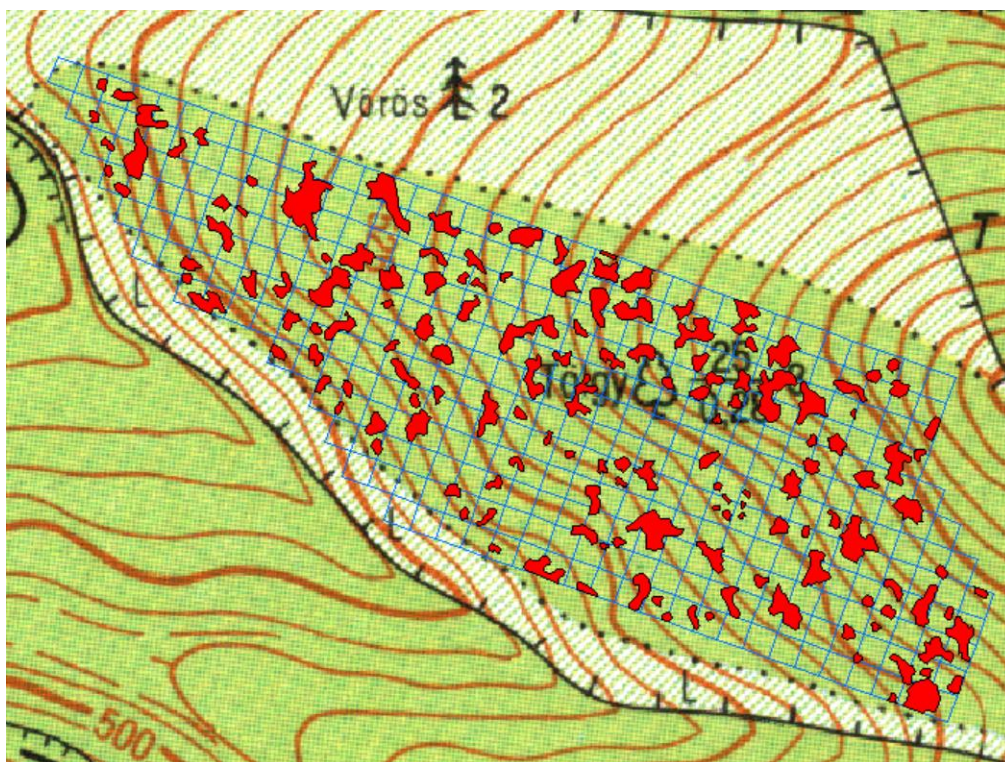
4. függelék: Léktérkép 2010-ből



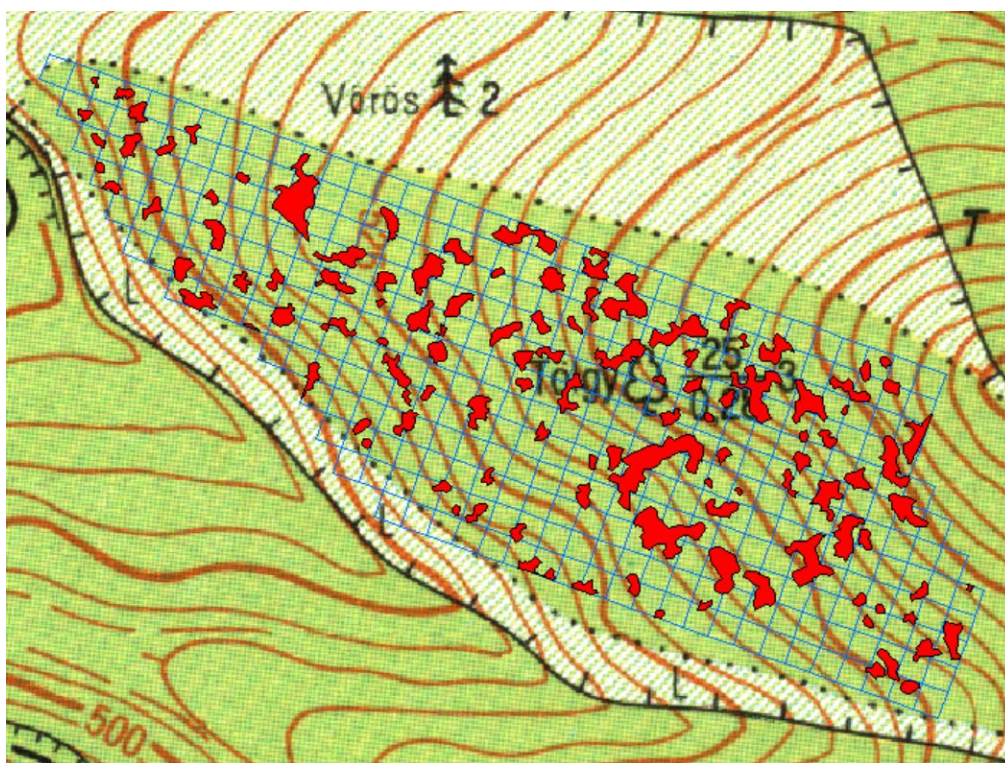
5. függelék: Léktérkép 2011-ből



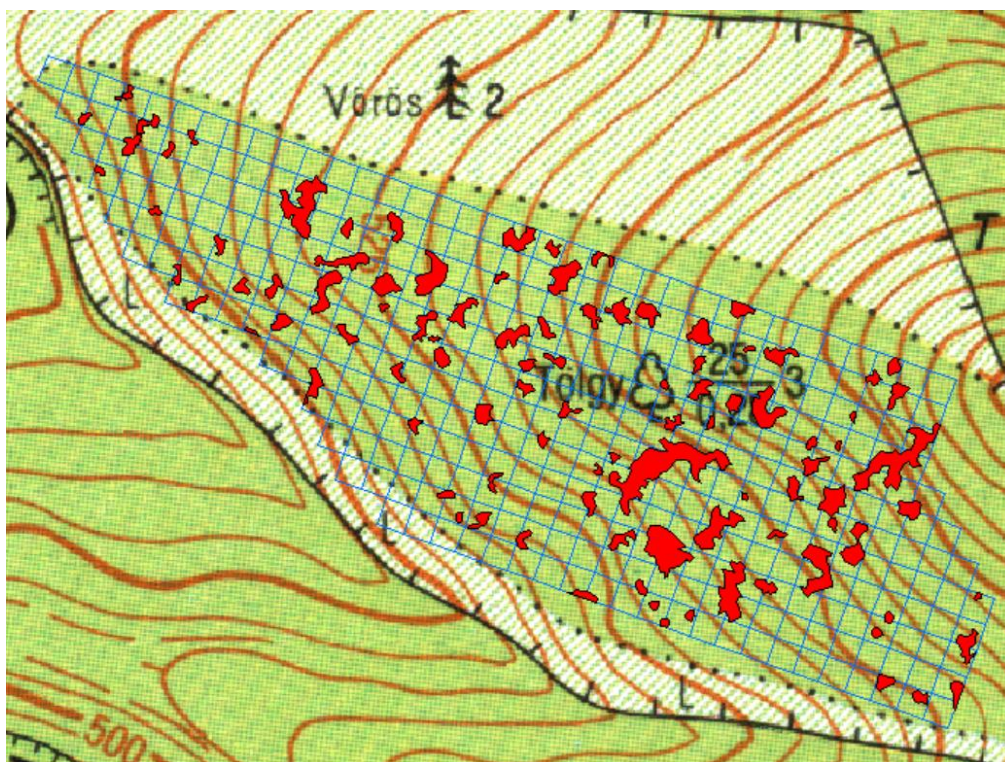
6. függelék: Léktérkép 2014-ből



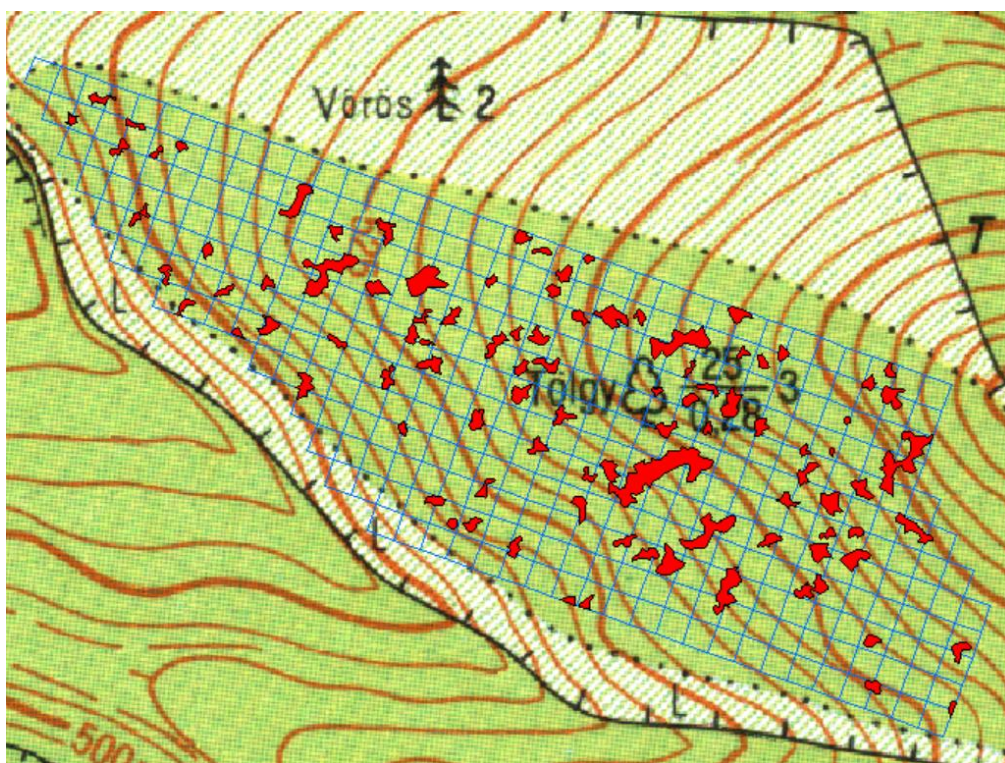
7. függelék: Léktérkép 2016-ból



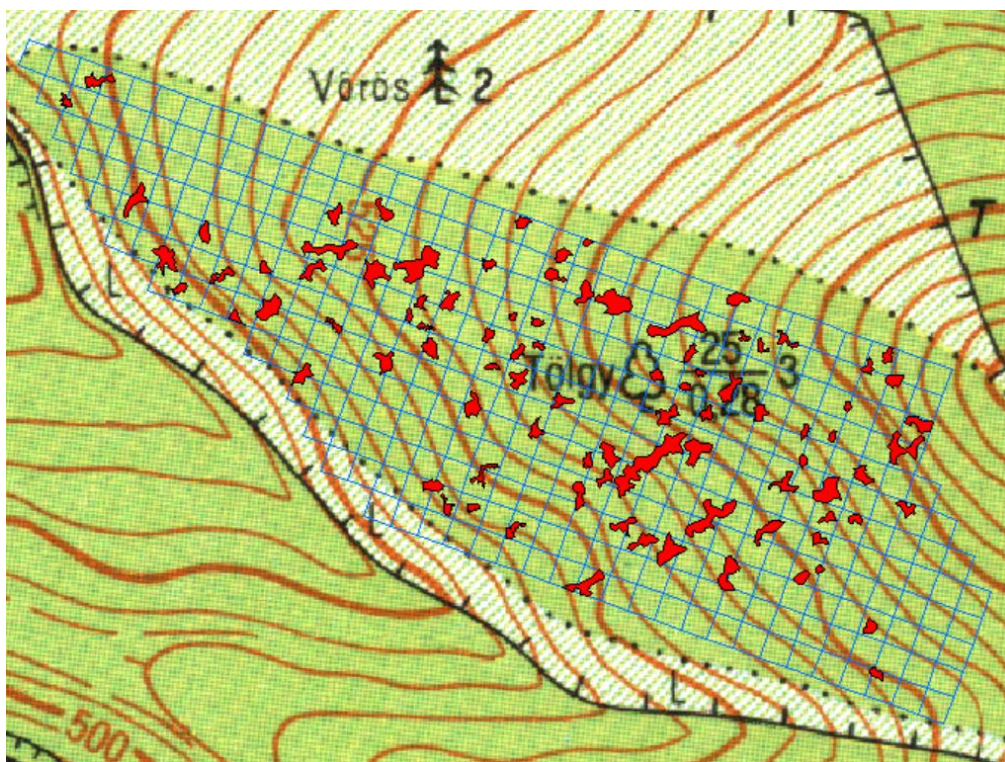
8. függelék: Léktérkép 2017-ből



9. függelék: Léktérkép 2019-ből



10. függelék: Léktérkép 2020-ból



11. függelék: Léktérkép 2021-ből

12. függelék: A bolygatásjelző lágyszárú fajok és elemi előfordulásaiknak száma 2008-ban és 2020-ban

Fajnév	2008	2020
<i>Alliaria petiolata</i>	0	90
<i>Allium vineale</i>	2	2
<i>Anthriscus sylvestris</i>	0	2
<i>Arctium lappa</i>	1	1
<i>Atropa bella-donna</i>	1	8
<i>Calamagrostis epigeios</i>	1	0
<i>Cardamine impatiens</i>	120	253
<i>Chaerophyllum temulum</i>	825	176
<i>Chelidonium majus</i>	3	32
<i>Chenopodium hybridum</i>	0	1
<i>Fallopia dumetorum</i>	402	1847
<i>Galeopsis pubescens</i>	22	406
<i>Galeopsis tetrahit</i>	20	0
<i>Galium aparine</i>	98	138
<i>Geranium robertianum</i>	600	599
<i>Hypericum hirsutum</i>	0	4
<i>Lapsana communis</i>	175	543
<i>Linaria vulgaris</i>	3	3
<i>Moehringia trinervia</i>	56	138
<i>Physalis alkekengi</i>	0	12
<i>Sambucus ebulus</i>	0	1
<i>Scrophularia nodosa</i>	2	3
<i>Torilis japonica</i>	12	92
<i>Urtica dioica</i>	137	223
<i>Vicia hirsuta</i>	0	1