



MAGYAR AGRÁR-ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

**TERMÉSZETES ÖREG ERDŐK ERDŐDINAMIKAI ÉRTÉKELÉSE A
KLIMATIKUS KITETTSÉG SZEMPONTJÁBÓL**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

SZEGLETI ZSÓFIA

Gödöllő

2023

A doktori iskola megnevezése: Környezettudományi Doktori Iskola

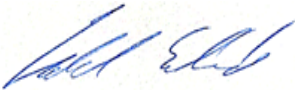
tudományága: Környezettudományok


vezetője: Csákiné Prof. Dr. Michéli Erika
egyetemi tanár
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,
Talajtani és Agrokémiai Tanszék

témavezető: Prof. Dr. Czóbel Szilárd
egyetemi tanár
Szegedi Tudományegyetem
Mezőgazdasági Kar,
Növénytudományi és Környezetvédelmi Intézet

társtémavezető: Horváth Ferenc PhD
Intézeti mérnök
Ökológiai Kutatóközpont, Ökológiai és Botanikai Intézet

.....
Prof. Dr. Michéli Erika
Az iskolavezető jóváhagyása


.....
Prof. Dr. Czóbel Szilárd
A témavezető jóváhagyása


.....
Dr. Horváth Ferenc
A társtémavezető jóváhagyása

A munka előzményei, célkitűzések

A globális éghajlatváltozás egyre erősödő trendjei és várható kilátásai az emberiséget egyik legnagyobb kihívása elé állítják. A klímaválság minden társadalmi területre hatással van, és minden régióban megmutatkozik, ami egyre nagyobb mértékben veszélyezteti a jövő generációk biztonságát. (Field et al. 2014, IPCC 2014, 2019). Az éghajlat mint környezeti tényező, meghatározó befolyást gyakorol a fajok viselkedésére, ezért hatással van az ökoszisztémák folyamataira is (Lindner et al. 2010, Liang et al. 2017, Petersson et al. 2019). Az IPCC meghatározása szerint éghajlati kitértségnek nevezzük „a vizsgált rendszert érő külső hatások, bekövetkező éghajlati változások jellegét és mértékét” (IPCC 2001). Az ökoszisztémák stabilitásában jelentős szerepet játszik diverzitásuk, ami a faji sokféleség mellett az élőhely-szerkezeti elemek és szukcessziós folyamatok változatosságát is jelenti (Keith & Peterken, 1996). Az életközösség szereplőinek érzékenysége és élettörténetének alakulása összességében a populációs folyamatokban nyilvánul meg. A természetvédelem egyik legnagyobb kihívása napjainkban, hogy az éghajlatváltozás, az egyre érzékenyebbé váló ökoszisztémák és az erősen antropogén környezet ellenére, megőrizze az élőhelyek biodiverzitását. Emellett feladata, hogy a természetes élőhelyek szukcessziós folyamatait minél inkább természetes úton tartva segítse alkalmazkodásukat (Milad et al. 2011). Ezeket a törekvéseket nehezíti a táji környezet degradációja és az idegenhonos fajok megállíthatatlan terjedése (Opdam & Dirk 2004, Langmaier & Lapin 2020).

A mért meteorológiai adatsorok elemzéseit és a CO₂ kibocsátási forgatókönyveket felhasználva a globális és regionális klímamodellek, jövőre vonatkozó predikciók előállítására képesek. Az előrejelzések által képet kaphatunk arról, hogy regionális szinten milyen típusú és mértékű változások várhatóak, és melyek azok a területek, amelyek leginkább veszélyeztetettek a klímaváltozás szempontjából (Dobor et al. 2015, 2016, Kern et al. 2019). Segítségükkel hatékonyabb módszerek dolgozhatók ki például a természetvédelem terén is, amelyekkel a fajok és természetes rendszerek működését, természetes folyamatait és alkalmazkodását segíthetjük elő. Az erdők esetében elsősorban a fafajok dominancia-viszonyainak, elegyarányának, és produkciójuk intenzitásának megváltozásával számolhatunk.

A különböző erdőtípusok és a fafajok éghajlatváltozásra adott válaszainak megismerését lehetővé teszik, a természetes folyamatokra összpontosító kutatások, amelyek legjobb színterei a gazdálkodástól mentes, felhagyást követően zavartalanul működő élőhelyek (Sabatini et al. 2020). Az erdőrezervátumok különlegessége, hogy magterületükön évtizedek óta nem zajlik erdőgazdálkodás, ezért működésüket a természetes erdődinamikai folyamatok határozzák meg, így lehetőségünk van képet kapni: a korábbi gazdálkodás utóhatásáról, a természetes erdőkép jellegzetességeiről és az erdőszerkezeti elemek és fajok/fajcsoportok összefüggéseiről. A hazai erdőrezervátumok több évtizede felhagyott állományok, sokuk magas természetvédelmi értékű öreg erdő, amelyek számos fokozottan védett fajnak adnak otthont. Az Erdőrezervátum Program fő célja a kiválasztott erdők védettségének biztosítása és az erdődinamikai folyamatok megismerése. Az Erdőrezervátum Program Hosszútávú Vizsgálatainak (ER-HTV) alapját képezi a rögzített mintavételi ponthálózat kijelölése és az állapotfelmérés. Az alap- és a továbbiakban bizonyos időközönként ismétlődő újra-felmérések, egységes tartalmú protokoll alapján valósulnak meg (Horváth, 2012).

Célkitűzések:

1. A közelmúltban bekövetkezett és a várható klimatikus kitétségek bemutatása a vizsgált területeken/erdőrezervátumokban.
2. Az erdőrezervátum-kutatás hosszútávú vizsgálatainak újra-felmérési és adatfeldolgozási módszerének kidolgozása, tesztelése és értékelése.
3. Az újra-felmérés, mint minőségellenőrzés során felmerülő problémák megoldása, és az alkalmazott módszerek bemutatása.
4. A különböző erdőtípusok faállomány-szerkezetében bekövetkezett változások bemutatása és erdő/populációdinamikai szempontú értékelése.
5. A klimatikus kitétség (lehetséges) hatásainak értékelése.

1. Anyag és módszer

Vizsgált területek

Kutatási témám mintavételi helyszínéként azokat az erdőrezervátumokat választottam, ahol már megtörténtek az alapállapotfelmérések az ER-HTV protokollja alapján. Az erdőrezervátum-kutatás csapatával a korábbi felmérést figyelembe véve megismételtük az adatgyűjtést hat erdőrezervátum magterületén, melyek a következők voltak: Hidegvíz-völgy, Szalafő, Nagy Istrázsa-hegy, Várhegy, Kecskés-galya és Kékes erdőrezervátumok. A mintavételi pontok kiválasztásánál szempontom volt a klimatikus kitétség vizsgálatának koncepciója, emiatt az adatok üde erdőtípusok; bükkösök és gyertyános-tölgyesek, valamint száraz erdőtípusok; cseres-tölgyesek és molyhos-tölgyesek hegy- és dombvidéki állományaiból származnak. Összesen 233 mintavételi pont került felmérésre.

Erdőrezervátumok klimatikus kitétségének becslése

Az erdőrezervátumok klimatikus kitétségét az átlaghőmérséklet, csapadékösszeg és az erdészeti aszályindex (Führer et al. 2011, 2018) értékeinek 30 éves átlagaival vizsgáltam, kiemeltem a referenciaként szolgáló 1951-1980-ig tartó időszakot, az alapfelméréseket és újrafelméréseket magába foglaló 1991-2020-ig tartó periódust, és becsültem a várható kitétséget a 2071-2100-ig tartó időszakra. A meteorológiai adatokat FORESEE (Open Database **FOR** Climat**E** Change-Related Impact **S**udies in **C**entral **E**uropa) szabad-hozzáférésű, $1/6^\circ \times 1/6^\circ$ -os rácsfelbontású adatbázisból kérdeztem le (Dobor et al. 2015). Az éghajlati adatokat az 50-es évektől 2100-ig kértem le az adatbázisból, a kiválasztott erdőrezervátumok területét magukba foglaló cellákra. A jövőre vonatkozó, 2020-2100-ig tartó időszak adatainak lekéréséhez az Aladin-Arpege, Hirham5-Echam5 és Regcm3-Echam5 klímamodelleket választottam ki. A regionális klímamodellek terepviszonyokra történő további finomításához az MTCLIM mikroklíma-szimulációs modellt alkalmaztam.

A faállomány-szerkezet felmérések

A faállomány-szerkezet és fekvő holtfa felméréshez standard adatgyűjtést végeztem az Erdőrezervátum Program Hosszútávú Vizsgálatainak (ER-HTV) egységesített tartalmú protokollja alapján. A felmérés során az egyedek pontos lokációja feljegyzésre kerül, ami a mintavételi pont (MVP) középpontjából mért távolságukat és szögüket jelenti. A felmérés során kettős kombinált mintavételezés történt, vagyis felvételeztük a 250 m²-es mintakörön belül található, 5 cm mellmagassági átmérő feletti fákat, és a mintakörön kívül található, de a szög számláló próba szerint a minta részét képező egyedeket. A vékony fákat (<25,23 cm d130) a mintakörös mintavétel alapján értékeltem, a vastag fákat (>25,23 d130) a szög számláló próba szerint. Az egyedek újra-felmérése egyben az adatok minőségbiztosítása is; a terepi felvételezés és az adatbevitel során olyan problematikus esetek és hibák merültek fel, amelyek lehetőséget adtak a minőségellenőrzés és a hibák korrigálásának kidolgozására. az alapfelmérésből véletlenül kimaradt, vagy törzsprobléma miatt nehezen mérhető egyedekre törzs-rekonstrukciós eljárást alkalmaztam. Ehhez a felvételezett fák átmérője alapján erdőrezervátumonként és erdőtípusonként kiszámoltam az éves növekedés mértékét a fafajokra és cserjékre (illetve kevés mintaszám esetén fajcsoportokra) vonatkozóan a felmérések között eltelt időszak alatt.

Az adatelemzés szempontjai és statisztikai módszerei

A faállomány-szerkezeti és populációdinamikai értékeléshez a hektáronkénti törzsszám ($N - db/ha$), körlapösszeg ($G - m^2/ha$), és fatérfogat ($V - m^3/ha$), mint alapvető paraméterek számítását alkalmaztam. A minták egymást kiegészítik, tehát a hektáronkénti törzsszámot, körlapösszeget és fatérfogatot additív módon képeztem a mintába kerülő fák részesedéseinek összegzésével. Az erdődinamikai változókat a regeneráció, növekedés, mortalitás és elkorhadás paramétereivel számoltam a felmérések között eltelt idő figyelembevételével. Az adatelemzés során a faállomány-szerkezeti és erdődinamikai változókat, és a klimatikus kitettséggel való kapcsolatukat vizsgáltam, a statisztikai elemzést R környezetben végeztem. A faállomány-szerkezeti változók összefüggés-rendszerének feltárását főkomponens analízis (PCA – Principal Component Analysis) segítségével vizsgáltam. A továbbiakban a faállomány-szerkezeti változók első és második felmérés közötti változásainak összehasonlításához statisztikai t-próbát alkalmaztam. Ebben külön csoportokként kezeltem az üde és száraz erdőtípusokat (a PCA eredmények ezt a két csoportot választották szét a legvilágosabban), a szignifikancia mértékét és a p-értékeket táblázatban foglaltam össze. A felmért egyedeket különböző csoportokba osztottam növekedési formájuk (karakterük) és az állományban betöltött szerepük szerint. A fajcsoportok erdődinamikai változóit Kolmogorov-Szmirnov nemparaméteres statisztikai próbával hasonlítottam össze. A teszt segítségével összehasonlítottam az üde és száraz, ezen belül bükkös, gyertyános-tölgyes, cseres-tölgyes és molyhos-tölgyes erdőtípusok változók eloszlásainak eltérését. A klimatikus kitettség, mint független változó lehetséges hatását a faállomány-szerkezeti változóknak bekövetkezett változásokra és az erdődinamikai változóknak, mint függő változóknak általános lineáris modellt alkalmaztam, ebben is külön csoportosítva az üde és száraz típusokat.

3. Eredmények bemutatása

A kiválasztott erdőrezervátumok területén 2020-ig minden esetben növekedett a FAI értéke, és a száraz évek gyakorisága, ami a Várhegynél és a Kecskés-galyánál klímazóna-váltást eredményezett. A csapadékosabb és hűvösebb klímájú területeken elhelyezkedő Hidegvíz-völgy és Szalafő aszályindexének 30 éves átlagában bekövetkezett változás ugyan felülmúlta az említett rezervátumokét, a bükkös és gyertyános-tölgyes klíma-kategóriájú évek magasabb aránya miatt azonban eddig nem következett be zónaváltás. Az első és második időablakot összehasonlítva a Nagy Istrázsa-hegy átlagosan kitettnek tekinthető. A Kékes bizonyult legkevésbé kitettnek, az 1991-2020-ig tartó időszakban is jóval gyakoribbak az üde erdőtípusoknak kedvező időjárású évek. Az átlaghőmérséklet a Szalafőnél emelkedett a legtöbbet (1,5 fokot), a többi rezervátumnál 0,8-0,9°C-ot növekedett. A csapadékösszeg átlaga a Szalafő, a Kékes és a Hidegvíz-völgy esetében kevesebbet változott, míg a Nagy Istrázsa-hegynél már látványosan, 40 mm-rel lett kevesebb az első időablakhoz képest (611,23mm>>>570,51mm). A regionális klímamodellek jövőre vonatkozó becsléseiben eltérések, bizonytalanságok vannak, amelyek főként a csapadék-adatokból látszanak. Ha modelljeink segítségével kitekintünk a század végére, azt láthatjuk, hogy az első és második időszakhoz képest rendkívüli mértékben növekszik az erdőrezervátumok klimatikus kitettsége. A 2071-2100-ig tartó időszakban mindegyik helyszínen több zónaváltás bekövetkezése várható. A rezervátumok közül a Nagy-Istrázsa-hegy leginkább kitett, aszályindexe 5-6 értékkel növekszik, emellett a cseres-tölgyes és erdősztyepp évek száma is kimagasló. A lekisebb, de még így is majdnem 0,9-1 értékváltozás a Hidegvíz-völgy és a Szalafő aszályindexében várható, a zónaváltás ezeket a területeket sem kerüli el, kitettségük növekszik a század végére.

A faállomány-szerkezeti változók főkomponens-elemzése alapján elmondható, hogy az üde és száraz erdőtípusok mintavételi pontjai szerkezeti jellemzőikben jól elkülönülnek egymástól. A PCA-12-es verziójú elemzésben az első két komponens összefüggései szerint a többváltozós téren belül az domináns fafajok; a bükk, a kocsánytalan tölgy és a molyhos tölgy elegyaránya jelenti a súlypontokat és a legerősebb szignifikanciát. Erős korrelációt mutat a cser és a molyhos tölgy elegyaránya és a gypszint borítása szintén együtt áll a két fafajjal. Az élőfák körlapösszege és a felső lombkoronaszint borítása között szintén szoros az összefüggés, és ebbe a változócsoporthoz tartozik a bükk elegyaránya is, míg a kocsánytalan tölgy a második lombkoronaszint borítottságával áll erős kapcsolatban.

Az erdőtípusok változásainak összehasonlító elemzéséből látszik, hogy az üde erdőtípusok esetében a bükk és az egyéb fafajok mutatnak szignifikáns változást, míg a száraz erdőtípusoknál a kocsánytalan tölgy, mezei juhar és az egyéb fafajok. Mindegyik erdőtípus záródásában szignifikáns különbségek vannak, de a szintezetségben az üde típusok felső lombkoronaszintjében tapasztalható jelentős változás. Az élőfák hektáronkénti törzsszáma a bükkös és gyertyános-tölgyes erdőtípusokban csökkent a felmérések közötti időszakban, míg száraz tölgyeseknél enyhén növekedett. Utóbbi esetben többségében az elegyfajok és cserjék regenerációja miatt. Mindkét típus hektáronkénti körlapösszege és fatérfogata csökkenést mutat, ami az üde erdőknél látványosabb. Összességében ezekben a változóknál az üde erdőtípusok fafajai mutatnak nagyobb változást, melyek közül a körlapösszeg, a bükk és egyéb fajok szignifikáns változása a legerősebb. A fekvőholtfák mennyisége mindegyik erdőtípusnál növekedett, de ennek mértéke nem jelentős. A faállomány-szerkezeti tulajdonságok, két

felmérés között bekövetkezett változásai nem mutatnak szignifikáns függést a klimatikus kitétségtől. Az elemzés szerint mindössze az üde erdőtípusok gyepszintjének alakulása rendelkezik gyengébb, de szignifikáns függéssel a kitétségtől.

A fafajok populációdinamikai folyamatainak vizsgálatához egy olyan keretrendszerrel dolgoztam ki, amelyben a faegyedeket élettörténeti szempontból (fázisok és fordulópontok szerint) kategorizáltam. Ezek a kategóriák hasonlóak a faállomány-szerkezetet leíró változókhoz (mint a sűrűség, elegyarány és dominancia), azonban az állomány és a fafajok dinamikájának jellemzéséhez a fatörténeti események összesített értékeiből kiszámított éves értékeket alkalmaztam. A fajok közül a húsos som és a közönséges mogyoró regenerációja kiemelkedő, valamint a cseregalagonyáé, egybibés galagonyáé és mezei juharé. A cserjék esetében fontos megjegyezni, hogy inkább „megerősödésről” beszélhetünk, mint belenövési regenerációról. Az éves növekedés átlagai alapján elmondható, hogy az állományalkotó fafajok esetében következett be a legnagyobb változás a felmérések közötti időszakban, elegy fafajok közül a virágos kőris kiemelhető, de az említett fafajok mellett a cserjeszint erősödése is kimutatható. Az éves mortalitás átlaga a közönséges nyírnél, közönséges mogyorónál, és a cseregalagonyánál a legmagasabb, a kislevelű hárs, korai juhar és csertölgy esetében a legalacsonyabb. A főfafajok közül a molyhos tölgy átlagos éves mortalitása a legmagasabb, a többi állományalkotó fafajé, közel azonos, leszámítva a csertölgyet.

Elemzésem során a négy erdőtípus populáció-dinamikai folyamatait hasonlítottam egymáshoz. A különböző erdőtípusok erdődinamikai változói között számottevő különbségek vannak, ami különösen az éves regenerációjában mutatkozik meg. A felső lombkoronaszint fafajainak regenerációja az üde típusokban jóval magasabb hektáronkénti törzsszámot jelent a száraz típusokhoz képest, de a cserjefajok tekintetében a száraz erdőtípusokban erősebb a regeneráció mértéke. Összességében a bükkösök esetében a legalacsonyabb a változó, ennél az erdőtípusnál mindegyik típusban jóval nagyobb a fa- és cserjefajok fiatal egyedeinek száma. A fatérfogatban kifejezett növekedésében szintén szignifikáns különbségek vannak a száraz és üde erdők között. Ennél az erdődinamikai változónál is a magas növekedésű és állományalkotó fajok növekedése erőteljesebb, az elegy fafajok növekedésének szempontjából viszont a bükkösök maradnak alul a többi erdőtípushoz képest. A mortalitás alakulásában kisebb különbségek vannak, de a gyertyános-tölgyesek és cseres-tölgyesek között ez szignifikáns. Az elkorhadási fázisban lévő faanyag éves mennyisége a molyhos-tölgyeseknél a legmagasabb, de összességében ez a változó kevés különbséget mutat az erdőtípusok között.

A fafajdinamikai változók közül az éves regenerációs és mortalitás klimatikus kitétségtől való függését vizsgáltam, a fent említett fafajcsoportok szerint (felső-, alsó-lombkoronaszint, és cserjeszint fa- és cserjefajai). A klimatikus kitétségtől való függés azonban egyik csoportnál sem volt szignifikáns

4. Következtetések és javaslatok

A klimatikus kitétség becslése során több esetben is bebizonyosodott a termőhelyi mikroklimatikus viszonyok és talajtani tényezők fontossága és meghatározó szerepe az erdőállomány fajösszetételében (Léesque et al. 2016, Árvai et al. 2018, Bose et al. 2020, Weigel et al. 2023). A rendelkezésre álló meteorológiai adatsorok a terepviszonyok sajátosságait,

mikroklimatikus viszonyait azonban nem tükrözik megfelelően. Az adatok tovább finomíthatóak mikroklímaszimulációs modell, a MTCLIM (Thornton & Running et al., 2000) segítségével, de mivel a modellt magashegyi körülményekhez fejlesztették ki, nem ad olyan finomléptékű becslést, amely jól illeszkedik az Erdőh+á+l+ó 50x50m-es mintavételi ponthálózatának léptékéhez. Az erdészeti aszályindex (Führer et al. 2011, 2018) értékeit emiatt erdőrezervátumok területére vonatkoztattam, nem pedig a különböző erdőtípusokat reprezentáló mintavételi pontokra. A predikciók elemzésekor érdemes figyelembe venni, hogy a csapadékmennyiség és eloszlás becslése a paraméter változékonysága miatt nehézségekbe ütközik. A FORESEE meteorológiai adatbázisból származó mért időjárás adatok alapján mindegyik erdőrezervátum területén növekedett a klimatikus kitettség a bázisidőszakhoz képest. Az elmúlt évtizedek időjárás trendjeit figyelembe véve a folyamat fokozódni fog a század végére, amit a regionális klímamodellek becslései is alátámasztanak (Kjellstro et al. 2011, Räisänen et al. 2016, Dosio et al. 2020). Ez a jövőben várható tendencia egyre magasabb átlaghőmérsékletet, egyre kevesebb csapadékot és a FAI értékei alapján a száraz erdő-klímaosztályú évek gyakoriságának növekedését jelenti.

A vizsgált változók körét két részre lehet osztani, egyrészt a faállomány-szerkezeti másrészt a populáció-dinamikai változók csoportjára. Az előzetes adat-értékelésből látszik az erdőtípusok faállomány-szerkezeti jellemzőinek elkülönülése száraz és üde erdőtípusok szerint, ezért a változó-csoportok további elemzéseit ebből a szempontból végeztem. A felmérések közötti időszakban a faállomány-szerkezeti változók közül az üde erdőtípusok körlepöszége, a bükk és egyéb fajok elegyaránya, valamint a száraz erdők egyéb fafajainak elegyaránya mutatja a legnagyobb változást. A változók függése a klimatikus kitettségtől nem szignifikáns.

A populáció-biológiai értékeléshez egy új keretrendszert dolgoztam ki. Az erdődinamika közép-európai megközelítése elsősorban az erdőciklus fázisainak modelljére épül a faegyedek populációbiológiai modelljei helyett. Az erdődinamika belső mozgatórugóinak leírása során az élő és elhalt fák dinamikáját általában külön-külön vizsgálják és értékelik (Vrška et al 2015; Huber et al 2020; Meyer et al 2021; Woods et al 2021). A fák populáció-dinamikája ugyanakkor szorosan összefügg a mortalitási eseményekkel. Az általam javasolt keretrendszer megfelelő megközelítés ennek a hiányosságnak a pótlására. A holtfák ökológiai szerepe miatt javaslom mint új paraméter bevezetését; a fekvő holtfák felmérését és állapotváltozásuk nyomon követését (Szeglety et al. 2023). A populáció-dinamikai értékelést ebből a megközelítésből, a faegyedek élettörténeti fázisainak és eseményeinek szempontjából készítettem. A populáció-dinamikai folyamatok éves értékeiben szignifikáns különbségek tapasztalhatóak az erdőtípusok különböző fafaj „trait”-jei (felső lombkoronaszint fafajai, alsó lombkoronaszint fafajai, cserjeszint fajai) között, melyek közül kiemelhető a molyhos tölgyesek jelentős különbsége a többi erdőtípustól. A populáció-dinamikai változók közül a regeneráció és mortalitás klimatikus kitettségtől való függését vizsgáltam az említett fafaj-csoportok szerint. A faállomány-szerkezeti változókhoz hasonlóan ezek a változók sem mutattak szignifikáns függést a klimatikus kitettségtől.

Az erdőszerkezeti tulajdonságok változásának és a fafajok populációs folyamatainak hátterében változatos hatások és körülmények érvényesülnek, amelyek erdőrezervátumonként is eltérőek lehetnek (Vrška et al 2015; Meyer et al 2021). A változók elemzése során fontos figyelembe venni például a korábbi erdőgazdálkodás utóhatását is. Nagy szükség lenne az erdőrezervátumok részletes erdőtörténeti feltárására az erdődinamikai folyamatok többszempon t u vizsgálatahoz. A Várhegy esetében a jelenlegi erdőszerkezetet az állomány sarj-eredete és a

néhány évtizede bekövetkezett tölgypusztulás is befolyásolja. Ezek a tényezők a Várhegy tölgyeseinek kiligetesedését eredményezik, a lékeket betöltő újulat összetételének alakulását ugyancsak több tényező befolyásolja. Ugyanez mondható el a Hidegvíz-völgyre is, ahol a lucfenyők szűkártétel-okozta állapotromlása és mortalitása az elegyarány változásához járul hozzá. A Szalafőnél megfigyelhető folyamat a pionír fafajok fokozatos csökkenése és az erdő záródásának és sűrűségének növekedése, ami a fajösszetétel átalakulását vonja maga után a lágyszárú szinttől a lombkoronaszintig. A fafajok regenerációs sikere nagymértékben függ a vadhatástól. Ennek jelentősége leginkább a Nagy Istrázsa-hegy példáján keresztül érzékelhető, amely a vizsgált erdőrezervátumok közül az egyetlen, ami körbekerített magterülettel rendelkezik. A vadkizárásnak köszönhetően az újulati szintet alig érinti a növényevő nagyvadak fogyasztása. Ezzel szemben a Kecskés-galya fény- és melegkedvelő tölgyeseiben óriási vadnyomás nehezedik az újulatra. Ezek a cserjés, kiligetesedő erdők a vadállomány kedvelt nappali pihenőhelyei, emellett még a téli időszakban is ezekre a dél-bükki területekre húzódnak le a nagyvadak csapatai. Összességében a klimatikus hatások mellett érdemes figyelembe venni a mintaterületek egyedi jellemzőit és az állományokat érő további abiotikus és biotikus hatásokat, valamint termőhelyi sajátosságokat.

5. Új tudományos eredmények

A hat erdőrezervátum területére vonatkozóan kiszámoltam az erdészeti aszályidex (FAI) értékeit és változását, amit három kiválasztott időablakban vizsgáltam (1951-1980, 1991-2020, 2071-2100). Ennek alapján becsültem a bázisidőszakhoz képest már bekövetkezett változást, továbbá a század végére várható klimatikus kitettséget. Bemutattam az erdőrezervátumok klimatikus viszonyaiban bekövetkezett és a jövőben várható legfontosabb változásokat, amelyeket erdő-klímaosztályok szerint is értékeltem. Vizsgálataim megerősítették, hogy mindegyik erdőrezervátum területén növekedett a klimatikus kitettség, ami az rezervátumokban az évi átlaghőmérséklet növekedését, a csapadékösszeg csökkenését, az üde klímájú évek csökkenését és a FAI növekedését jelenti. A napjainkig a legnagyobb kitettség a Szalafő esetén következett be, legkevésbé kitettnek a Kékes erdőrezervátum tekinthető. E tendenciák erősödésével a század végére minden esetben várható az erdő-klíma zónák egy vagy két fokozattal való romlása. A jövőben várhatóan a Hidegvíz-völgy lesz a legkevésbé kitett erdőrezervátum, míg a Nagy-Istrázsa-hegy klimatikus kitettsége növekszik a legtöbbet.

Az újra-felmérések tapasztalatai és szakirodalmi áttekintés alapján módszertani keretrendszer dolgoztam ki a populációbiológiai folyamatok értékelésére. Az új keretrendszer koncepciója a fák teljes élekciklusának monitorozása a regenerációtól a növekedésen és halálózson keresztül a teljes elkorhadásig, vagyis magába foglalja a fák élet- és holtfatörténetének fázisait és fordulópontjait. Az új nézőpont különlegessége, hogy az élő- és elhalt fák dinamikáját együttesen veszi figyelembe. Az adatok értékeléséhez pedig már ezt az új megközelítést használtam. Az eredmények alapján az ER-HTV FAÁSZ felmérési protokoll fejlesztésére és az újra-felmérési adatok populációbiológiai szempontú értékelésére tettem javaslatot.

A terepi újra-felmérés a korábbi alapállapot felmérés minőségellenőrzésének szempontjából történt, ezért a felmerülő hibák javítására új eljárásokat alkalmaztam. A kimaradt vagy hibásan felvételezett egyedek átmérőjének pótlására törzs-rekonstrukciós módszert dolgoztam ki. Ennek segítségével elkerülhető az adatvesztés, illetve elvégezhető az utólagos korrekció. A minőség-ellenőrzésre vonatkozó további javaslatokat összefoglaltam és ismertettem, ami az erdőrezervátumok hosszútávú vizsgálatához nyújt segítséget a jövőben.

Száraz és üde erdőtípusok szerint értékeltém a faállomány-szerkezeti változók összefüggéseit és a két felmérés közötti időszakban bekövetkezett változásait. Eredményeim szerint az üde erdőtípusoknál több szignifikáns változás következett be; ami a hektáronkénti körlapösszegben, a bükk elegyarányában és egyéb fafajok elegyarányában mutatkozott meg legnagyobb mértékben. Száraz erdőtípusok esetében az egyéb fafajok elegyarányának változása jelentős.

A populáció-biológiai változók alakulását és különbségeit összehasonlító elemzéssel értékeltém négyféle erdőtípus és különböző fafaj-csoportok szerint. Az elemzés szignifikáns különbséget mutatott főként a száraz erdőtípusok (cseres-tölgyesek és molyhos-tölgyesek) és üde erdőtípusok (bükkösök és gyertyános-tölgyesek) fafajcsoportjainak regenerációs, növekedési és mortalitási folyamatai között. A populáció-biológiai változók erdőtípustól való függését is vizsgáltam és bemutattam. Ebben az esetben az üde erdőtípusnál az összesített regeneráció és a felső lombkoronaszint mortalitása, száraz erdőtípusnál az alsó lombkoronaszint regenerációja és cserjeszint regenerációja és cserjeszint mortalitása mutatta a legerősebb szignifikanciát.

Végül megvizsgáltam a faállomány-szerkezeti és populációbiológiai változók (fafaj-csoportok regenerációja és mortalitása) függését a klimatikus kitettségétől, ami alapján elmondható, hogy ezek a változók nem érzékeny indikátorai a klimatikus kitettségnek. Kapcsolatukat azonban érdemes részletesebb klimatikus adatsorokkal, mérésekkel és több tényező bevonásával, is vizsgálni.

6. Tudományos publikációk listája

Idegen nyelvű, nem impakt faktoros folyóiratban

1. Szegleti Zs., Czóbel Sz., Zimmermann Z., Horváth F. (2019): How do Central-European forest stands respond to climate change – Review, Columella, Journal of Agricultural and Environmental Sciences Szent István University Press Gödöllő

Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban

1. Szegleti, Zsófia & Vig, Ákos & Ortmann-Ajkai, Adrienne & Szabó, Gábor & Zimmermann, Zita & Horvath, Ferenc. (2023). Repeated stand structure inventory dataset in long abandoned deciduous forest reserves in Hungary. Data in Brief. 47. 108929. 10.1016/j.dib.2023.108929

Hazai kiadású

1. Szegleti Zsófia, Csicsek Gábor, Szabó Gábor, Zimmermann Zita, Bölöni János, Horváth Ferenc (2017): Erdőtermészetesség szempontú értékelési módszer a Pannon életföldrajzi régió Natura 2000 erdőtípusainak szerkezet és funkció monitorozása alapján. TERMÉSZETVÉDELMI KÖZLEMÉNYEK, 23. pp. 100-117. ISSN 1216-4585v

2. Falvai Dominika, Baltazár Tivadar, Szegleti Zsófia és Czóbel Szilárd (2020): *Picea abies* és *Pinus mugo* fafajok egészségi állapotának vizsgálata a Wechsel-hegység természetközeli erdőállományaiban. Természetvédelmi Közlemények 26: 16–27. <https://doi.org/10.20332/tvk-jnatconserv.2020.26.16>

3. Horváth Ferenc, Bíró Attila, Csicsek Gábor, Demeter László, Lipka Borbála, Papp Mónika, Szegleti Zsófia, Vig Ákos Kornél (2021): Fényi-erdő - egy erdőrezervátum jelölt. Erdészeti Lapok 156(02): 47-50.

4. Horváth Ferenc, Csicsek Gábor, Papp Mónika, Szegleti Zsófia, Vig Ákos Kornél (2021): Az újszentmargitai Tilos-erdő Erdőrezervátum. Erdészeti Lapok 156(03): 87-89.

Konferencia kiadványok

Magyarnyelvű absztrakt

1. Szabó Gábor, Szegleti Zsófia, Zimmermann Zita, Penksza Károly: Botanikai, természetvédelmi és gyepgazdálkodási vizsgálatok Balatonfelvidéki szarvasmarha-legelőkön IV. Fenntartható fejlődés a Kárpátmedencében" konferencia, Hódmezővásárhely, 2019, Absztraktkötet, 74p.

2. Szegleti Zsófia, Szabó Gábor, Zimmermann Zita, Penksza Károly: A természetvédelmi kezelés hatásai a dinnyési-fertő szikes gyepjeire, IV. Fenntartható fejlődés a Kárpátmedencében" konferencia, Hódmezővásárhely, 2019 Absztraktkötet 79p.

3. Szegleti Zsófia, Szabó Gábor, Zimmermann Zita, Vig Ákos Kornél: A Nivegy-völgy és környezetének élőhely-térképezése és védett értékeinek felmérése, IV. Fenntartható fejlődés a Kárpátmedencében" konferencia, Hódmezővásárhely, 2019 Absztraktkötet 80p.

4. Zimmermann Zita, Szegleti Zsófia, Szabó Gábor: A nyugati földikútya [*Nannospalax* (superspecies *leucodon*)] túrásainak hatása a tompapusztai löszgyep vegetációjára IV. Fenntartható fejlődés a Kárpátmedencében" konferencia, Hódmezővásárhely, 2019 Absztraktkötet, 86p.

5. Szabó Gábor, Pápay Gergely, Szegleti Zsófia, Péter Norbert, Penksza Károly: *Festuca vaginata* és *Festuca pseudovaginata* dominálta nyílt homokpusztagyeppek biomassza-vizsgálatai. In: Tinya Flóra (szerk.): 12. Magyar Ökológus Kongresszus – Előadások és posztterek összefoglalói, p. 200.

6. Szabó, Gábor ; Zimmermann, Zita ; Andrea, Catorci ; Csontos, Péter ; Wichmann, Barnabás ; Szentes, Szilárd ; Szegleti, Zsófia ; Penksza, Károly: Cönológiai vizsgálatok nyílt homoki gyepekben. BOTANIKAI KÖZLEMÉNYEK 105 : 1 p. 164 , 1 p. (2018)

7. Horváth Ferenc, Bede-Fazekas Ákos, Csicsek Gábor, Molnár Ábel, Szegleti Zsófia és Demeter László (2019): Milyenek lehettek kocsányos tölgyes őserdőink? Erdőrezervátum-kutatás keményfás ligetekben, Biodiverzitásról másképp előadósorozat IV.

Külföldi absztrakt

1. Zsófia Szegleti, Ferenc Horváth (2018): Climatic exposure of natural upland forest stands: What impact will be expected by the end of 21th century?, 5th Forum Carpathicum Adapting to Environmental and Social Risk in the Carpathian Mountain Region, Eger 15th-18th October 2018, ISBN:978-615-5270-48-2 Book of abstract, 136p

2. Zsófia Szegleti, Ferenc Horváth (2019): Climatic exposure of natural upland forest stands: What impact will be expected by the end of 21th century?, SCCS Europe, 2019, Tihany 15th-18th Augustus 2019

3. Kun, R., Babai, D, Csathó, A. I.3, Erdélyi, A., Hartdében, J., Lengyel, A., Kálmán, N., Szegleti, Z., Vig, A., Máté, A., Mártonffy, A., Hábcenyus, A. A, Malatinszky, Á., Vadász, C.: Effects of grassland management elements on diversity and functional state of species rich meadow steppes in the southern great plain region, Hungary, 6th Croatian Botanical Symposium, 2019, Book of abstract, 50p.

Nem minősített szakmai terv, tanulmány, felmérés végzése résztvevőként

1. Horváth Ferenc, Csicsek Gábor, Bíró Attila, Demeter László, Lipkai Bori, Neumann Szilvia, Papp Mónika, Szegleti Zsófia, Vig Ákos (2018): A Fényi-erdő Erdőrezervátum alapállapot felmérése: faállomány-szerkezet, újulati és cserjeszint, aljnövényzet a teljes magterületen. Kutatási jelentés, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Vácrátót, 61 old.

2. Horváth Ferenc, Csicsek Gábor, Bíró Attila, Demeter László, Lipka Borbála, Neumann Szilvia, Papp Mónika, Szegleti Zsófia, Vig Ákos és Lesku Balázs (2018): Fényi-erdő - Égett kocka 2018-ban, ER Füzetek 1, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Tihany, 16 old., DOI: 10.46441/ERF.2018.1

3. Horváth Ferenc, Csicsek Gábor, Lipka Borbála, Neumann Szilvia, Papp Mónika, Szegleti Zsófia, Tihanyi Gábor és Vig Ákos (2019): Az újszentmargitai Tilos-erdő Erdőrezervátum, ER Füzetek 2, Ökológiai Kutatóközpont, Tihany, 16 old., DOI: 10.46441/ERF.2019.2

4. Szegleti Zsófia, Horváth Ferenc: Beszámoló a Szalafő Erdőrezervátum 2020-as felméréséről Őrségi Nemzeti Park, 2020

5. Horváth Ferenc, Csicsek Gábor, Gyurina Tamás, Neumann Szilvia, Papp Mónika és Szegleti Zsófia: a Baktai-erdő erdőrezervátum (er-24) magterületén erdő+h+á+l+ó létesítése és az egységes botanikai alapfelmérés (anöv) elkészítése 2019-ben, Vácrátót, 2019

7. Irodalomjegyzék

Árvai M., Morgós A., Kern, Z. (2018): Growth-climate relations and the enhancement of drought signals in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) tree-ring chronology in Eastern Hungary. iForest - Biogeosciences and Forestry. 11. 10.3832/ifor2348-011.

Bose, AK, Gessler, A, Bolte, A, et al. Growth and resilience responses of Scots pine to extreme droughts across Europe depend on predrought growth conditions. *Glob Change Biol.* 2020; 26: 4521– 4537. <https://doi.org/10.1111/gcb.15153>

Dobor L., Barcza Z., Horváth F. (2016): A szabad hozzáférésű FORESEE klíma-adatbázis: múlt, jelen, jövő. *ELTE, Meteorológiai Füzetek* 27: 39-48.

Dobor L., Barcza Z., Hlásny T., Havasi Á., Horvath F., Ittész P., Bartholy J. (2015): Bridging the gap between climate models and impact studies: the FORESEE Database. *Geoscience Data Journal.* 2. 10.1002/gdj3.22.

Dosio, A., Lennard, C. & Spinoni, J. Projections of indices of daily temperature and precipitation based on bias-adjusted CORDEX-Africa regional climate model simulations. *Climatic Change* 170, 13 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03307-0>

Field C., Barros V., Dokken D.J., Mach K.J., Mastrandrea M., Bilir T.E., Chatterjee M., Ebi K., Estrada Y.O., Genova R.C., Girma B., Kissel E.S., Levy A.N., MacCracken S., Mastrandrea P.R., White L.L. (2015): Climate change 2014 impacts, adaptation and vulnerability: Part A: Global and sectoral aspects: Working group II contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. 10.1017/CBO9781107415379.

Führer, E ; Horváth, L ; Jagodics, A ; Machon, A ; Szabados, I (2011): *Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice* Időjárás / quarterly journal of the hungarian meteorological service 115 : 3 pp. 205-216. , 12 p.

Führer, E ; Gálos, B ; Rasztoivits, E ; Jagodics, A ; Mátyás, Cs (2017): A klímaváltozáshoz alkalmazkodó erdőgazdálkodás kihívásai — III.: Az erdészeti klímaosztályok új lehatárolása öko-fiziológiai alapon; Erdészeti klímaosztályok területének várható változása Erdészeti Lapok. 152 : 6 pp. 173-175. Paper: III. , 3 p. (2017)

Führer, Ernő. (2018). A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. *Erdészettudományi Közlemények.* 8. 27-42. 10.17164/EK.2018.002.

Horváth, F (2012): Methodological developments to the long term research of stand structure of forest reserve (in Hungarian with English Summary), PhD Dissertation, Roth Gyula Doctoral School of Forestry and Wildlife Management Sciences, University of West Hungary. <https://doktori.hu/index.php?menuid=193&vid=9662&lang=EN>

Huber N, Bugmann H, Lafond V (2020) Capturing ecological processes in dynamic forest models: why there is no silver bullet to cope with complexity. *Ecosphere* 11(5):e03109. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3109>

IPCC. (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (ed: McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J. & White, K. S.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1032 pp

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-31.

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press

Kern A., Dobor L., Horváth F., Hollós R., Márta G., Barcza Z. (2019): FORESEE: egy publikus meteorológiai adatbázis a Kárpát-medence tágabb térségére, In: Molnár, Vanda Éva (szerk.) Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában X.: Theory meets practice in GIS, Debreceni Egyetemi Kiadó (2019) pp. 131-138.

Kirby, Keith & Peterken, G.. (1996). Natural Woodland: Ecology and Conservation in Northern Temperate Regions. *The Journal of Ecology*. 84. 790. 10.2307/2261344.

Kysely, Jan & Gaál, Ladislav & Beranova, Romana & Plavcová, Eva. (2011). Kysely J, Gaal L, Beranova R, Plavcova E. Climate change scenarios of precipitation extremes in Central Europe from ENSEMBLES regional climate models. *Theoretical and Applied Climatology* 104(3–4). *Theoretical and Applied Climatology*. 104. 529-542. 10.1007/s00704-010-0362-z.

Kjellstrom, Tord & Freyberg, Chris & Lemke, Bruno & Otto, Paul & Briggs, David. (2017). Estimating population heat exposure and impacts on working people in conjunction with climate change. *International Journal of Biometeorology*. 62. 10.1007/s00484-017-1407-0.

Langmaier M., Lapin K. (2020): A Systematic Review of the Impact of Invasive Alien Plants on Forest Regeneration in European Temperate Forests. *Frontiers in Plant Science*. 11. 524969. 10.3389/fpls.2020.524969.

Lévesque M., Walthert L., Weber P. (2015): Soil nutrients influence growth response of temperate tree species to drought. *Journal of Ecology*. 104. n/a-n/a. 10.1111/1365-2745.12519.

Liang Y., Duveneck M., Gustafson E., Serra-Diaz J. M., Thompson J. (2017): How disturbance, competition and dispersal interact to prevent tree range boundaries from keeping pace with climate change. *Global Change Biology*. 24. 10.1111/gcb.13847.

Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., and Kolström, M. (2010): Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems, *Forest Ecology and Management*, Vol 259 (4) pp:698-709 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023>

Leibundgut H (1959) Über Zweck und Methodik der Struktur- und Zuwachsanalysen von Urwäldern. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 110:111–124

Meyer P (2020) Stubborn and adaptive – five decades of monitoring and research of self-regulated tree demography in Lower Saxony, Germany. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 190(5/6):120-135.

Milad, Mirjam & Schaich, Harald & Bürgi, Matthias & Konold, Werner. (2011). Climate change and nature conservation in Central European forests: A review of consequences, concepts and challenges. *Forest Ecology and Management*. 261. 829-843. 10.1016/j.foreco.2010.10.038.

Opdam, Paul & Wascher, Dirk. (2004). Climate change meets habitat fragmentation: Linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological Conservation*. 117. 285-297. 10.1016/j.biocon.2003.12.008.

Petersson, Linda & Milberg, Per & Bergstedt, Johan & Dahlgren, Jonas & Felton, Annika & Götmark, Frank & Salk, Carl & Löf, Magnus. (2019). Changing land use and increasing abundance of deer cause natural regeneration failure of oaks: Six decades of landscape-scale evidence. *Forest Ecology and Management*. 444. 299-307. 10.1016/j.foreco.2019.04.037.

R Core Team (2020): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>

Räisänen, Jouni. (2015). Twenty-first century changes in snowfall climate in Northern Europe in ENSEMBLES regional climate models. *Climate Dynamics*. 46. 10.1007/s00382-015-2587-0.

Sabatini, Francesco & Keeton, William & Lindner, Marcus & Svoboda, Miroslav & Verkerk, Hans & Bauhus, Jürgen & Bruelheide, Helge & Burrascano, Sabina & Debaive, Nicolas & Duarte, Inês & Garbarino, Matteo & Grigoriadis, Nikolaos & Lombardi, Fabio & Mikoláš, Martin & Meyer, Peter & Motta, Renzo & Mozgeris, Gintautas & Nunes, Leónia & Ódor, Péter & Kuemmerle, Tobias. (2020). Protection gaps and restoration opportunities for primary forests in Europe. *Diversity and Distributions*. 26. 10.1111/ddi.13158.

Weigel, R., Bat-Enerel, B., Dulamsuren, C., Muffler, L., Weithmann, G., & Leuschner, C. (2023). Summer drought exposure, stand structure, and soil properties jointly control the growth of European beech along a steep precipitation gradient in northern Germany. *Global Change Biology*, 29, 763– 779. <https://doi.org/10.1111/gcb.16506>

Vrška T, Přívětivý T, Janík D, Unar P, Samonil P, Král K (2015) Deadwood residence time in alluvial hardwood temperate forests – A key aspect of biodiversity conservation. *Forest Ecology and Management* 357:33-41. <https://doi.org/DOI:10.1016/j.foreco.2015.08.006>

Woods KD, Nagel TA, Brzeziecki B et al (2021) Multi-decade tree mortality in temperate old-growth forests of Europe and North America: Non-equilibrial dynamics and species-individualistic response to disturbance. *Global Ecol. and Biogeogr.* 30(6):1311-1333. <https://doi.org/10.1111/geb.13291>