



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE)

A KÖZÖNSÉGES LUCFENYŐ /*Picea abies* (L.) H.  
Karst/ ÉS A HAVASI TÖRPEFENYŐ /*Pinus mugo*  
(Turra)/ EGÉSZSÉGI ÁLLAPOTÁNAK MŰSZERES  
VIZSGÁLATA KELET-ALPESI  
MINTATERÜLETEKEN  
(L.) H. Karst.

**Doktori (PhD) értekezés tézisei**

DOI: 10.54598/002980

FALVAI DOMINIKA

**Gödöllő**

**2022**

## A Doktori Iskola

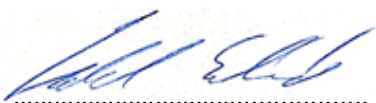
**megnevezése:** Környezettudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Környezettudomány

**Vezetője:** Csákiné Dr. Michéli Erika  
Egyetemi tanár, DSc  
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,  
Környezettudományi intézet,  
Talajtani Tanszék

**Témavezető:** Prof.Dr Czóbel Szilárd  
Egyetemi tanár, PhD  
Szegedi Tudomány Egyetem  
Növénytudományi és Környezetvédelmi Intézet  
Mezőgazdasági Kar

.....  
Csákiné Dr. Michéli Erika  
Az iskolavezető jóváhagyása

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

## 1. A munka előzményei, a kitűzött célok

Az éghajlatváltozás globális elemzése azt mutatja, hogy a Föld hőmérséklete világátlagban 0,7 °C-ot melegeedett a múlt század kezdetétől, és a tíz legmelegebb év 1990 után következett be. Az utóbbi három évtizedben rendre melegebb volt a Föld felszíne, mint bármely megelőző évtizedben 1850 óta (NATÉR 2018).

Számos klimatikus modell a hőmérséklet jelentős emelkedését prognosztizálja a hegyvidéki régiókban, amely más tényezőkkel együtt befolyásolhatja a montán és szubalpin fajok eloszlását és az itteni életközösségek összetételét. A globális klíma alakulását az üvegházhatású gázok és a szennyezőanyagok légköri jelenléte befolyásolja a legnagyobb mértékben. A napjainkban tapasztalható klímaproblémát a légköri folyamatok megváltozása okozza, amely főleg az antropogén eredetű tevékenységekhez köthető (IPCC 2007). A kibocsátás közvetett hatásai mára minden kontinensen és óceánon a fizikai és biológiai folyamatok megváltozását idézték elő. Az eddigi kutatások alapján általánosságban elmondható, hogy az élővilág klímaváltozásra adott válaszai régióként, fajonként eltérőek, így ezek a kutatások az időbeni és térbeni változások minél pontosabb előrejelzésében töltenek be fontos szerepet (Walther et al. 2002, Root et al. 2003, Parmesan & Yohe 2003, Parmesan 2006). A természetvédelem alapvetően passzív, megőrző jellegéből adódóan, az aktív természetvédelmi beavatkozások sok esetben akadályozottak, így a klímaváltozás még inkább veszélyezteti a védett területeket. Amennyiben egy természetvédelmi terület élővilága számára a létfeltételek alkalmatlanná válnak az ott élő fajok nem cserélhetőek le, csupán azok adaptációja és migrációja jöhet számításba. Eddig is fontos szerepet kaptak a természetes ökoszisztémákat körülölelő területek, de a jelentőségük több fokos hőmérséklet emelkedés esetén tovább növekedhet, amikor a társulásokban jelenleg uralkodó viszonyok jelentősen megváltozhatnak. Azoknak a természetközeli erdőknek a vizsgálata, melyekben extenzív erdőművelési tevékenység folyik, segítségül szolgálhatnak abban, hogy a változásokat nyomon követhessük (Czúcz et al. 2007).

Több tanulmány szerint a klimatikusan meghatározott átmeneti zónák fognak várhatóan a legérzékenyebben reagálni a klímaváltozásra (pl. Risser 1995). A hegyvidéki növényzet - beleértve a magashegységek vegetációit - ökoszisztémái természetüknél fogva sérülékenyebbek,

részben egyszerű szerkezetük miatt, másrészt, mert számos növényfaj itt túlélési korlátaihoz közel él. Ezen jellegzetességek alapján, illetve az elmúlt időszak átfogó kutatásai révén (Elmendorf et al. 2012, Gottfried et al. 2012) igazolódott, hogy a magashegyvidéki ökoszisztémák és az itt előforduló fajok érzékenyebben és gyorsabban reagálnak a globális klímaváltozásra. Azonban az ökoszisztémák válaszai ezekre a változásokra nem, vagy alig ismertek (Czöbel et al. 2008).

A kibocsátások előrejelzett szintje nem túl biztató, a pesszimista forgatókönyvek szerint a kibocsátások hatására a 21. század végére az 1986-2005 közötti időszak átlagához képest akár 4 °C-os növekedéssel is számolhatunk (IPCC 2014).

A magashegyi növények alkalmazkodtak az alacsony hőmérséklethez (Körner & Larcher 1988), mivel ezek a magashegyi területek kisebb areával rendelkeznek, ezáltal az itt élő fajok sokkal érzékenyebbek az egyre melegedő éghajlatra. Az alpesi növények kevésbé reagálnak a rövid távú éghajlat ingadozásra, ezzel szemben sokkal inkább hat az említett területen elhelyezkedő növényekre a hosszabb ideig tartó éghajlati változás, mivel a legtöbb faj tartós, lassú növekedésű és hosszú életű (Billings & Mooney 1968, Körner 2003, de Witte & Stöcklin 2010). A magashegyi ökoszisztémákat, az éghajlati tényezők szabályozzák. Ezért az alpesi növényfajok előfordulásának és összetételének változásai rendkívül relevánsak az éghajlatváltozás ökológiai hatásainak mutatójaként (Theurillat & Guisan 2001, Grabherr et al. 2010, Malanson et al. 2011).

Mivel Magyarország mai területe nem rendelkezik magas hegységekkel, ezért doktori kutatómunkám témájául a kelet-ausztriai hegységek kiválasztott fásszárú fajainak vizsgálatát választottam. Eddig az Alpokban a klímaváltozás fásszárúakra gyakorolt hatását, jellemzően dendrokronológiai módszerekkel vizsgálták (pl. Cherubini et al. 1998, Nicolussi et al. 2005, Savva et al. 2006, Chauchard et al. 2010). A hegyvidéki területek faállományának vertikális transzekt mentén történő vizsgálata szintén nem gyakori (Ohsawa et al. 2007), pedig az ilyen típusú vizsgálatokkal jól áttekinthetővé válik egy adott fafaj egészségi állapota az általa dominált növényzeti öv teljes területén.

Doktori kutatásom a szakirodalom áttanulmányozása alapján azért tekinthető hiánypótlónak, mivel korábban még nem vizsgálták az Alpok közönséges lucfenyő és havasi törpefenyő állományának

egészségi állapotát, nem destruktív műszerekkel, vertikális transzekt mentén, a kiválasztott növényfajok által dominált növényzeti öv teljes területén.

A fatörzset megrongáló folyamatok megértése és kimutatása kulcsfontosságú az erdők hosszútávú fenntartásának szempontjából (Shigo 1991, Matheny & Clark 1994, Mattheck & Breloer 1994, Mattheck 2007, Schwarze 2008). Ezek alapján terepi méréseimet a fák korhadtságát, illetve gomba fertőzöttségét mérni képes, hordozható műszerekkel terveztem.

Annak ellenére, hogy bőséges adat áll rendelkezésre a fák növekedési tendenciáiról és az éghajlat által kiváltott reakcióikról (pl. Camarero et al. 2021), az erdők fahatárán lévő területek gyakran cserjés jellegű ökoszisztémáit szinte alig kutatták eddig. Utóbbi miatt nem rendelkezünk elég ismerettel az itt előforduló fák növekedési jellegzetességeiről, továbbá korlátozott adatok állnak rendelkezésünkre a klímaváltozás hatására bekövetkező változásokról (Büntgen et al. 2007, Palombo et al. 2013, Carrer et al. 2019, Šenfeldr et al. 2021). Mivel kutatásom érinti ezek ökoszisztéma domináns fásszárú növényfaját, a havasi törpefenyőt, ezért doktori kutatómunkám, ezen a téren is hiánypótlónak tekinthető.

## **Vizsgálatom fő célkitűzései a következők voltak:**

1. Meghatározni és összehasonlítani a közönséges lucfenyő korhadtságát és gombafertőzöttségének mértékét a Keleti-Alpokhoz tartozó három különböző mintaterületén, vertikális transzekt mentén.
2. Meghatározni és összehasonlítani a havasi törpefenyő korhadtságát és gombafertőzöttségének mértékét a Keleti-Alpokhoz tartozó három különböző mintaterületén, vertikális transzekt mentén.
3. A legfontosabb meteorológiai háttéradatok összegyűjtése a vizsgált mintaterületeken.
4. A főbb talajtani paraméterek vizsgálata a vizsgált mintaterületeken, transzekt mentén.
5. A vizsgált fafajok egészségi állapotának kiértékelése a tengerszint feletti magasság, valamint a mért és modellezett háttérváltozók függvényében.

## 2. Anyag és módszer

### Vizsgált növényfajok

#### ➤ **Közönséges lucfenyő – *Picea abies* (L.) H. Karst**

Az európai hegyvidékeken és az északi síkságokon a Lappföldtől egész a Balkánig terjedő fontos erdőalkotó fafaj. Európai elterjedési területe egy északi, jórészt síksági-dombvidéki, és egy alpesi-kárpáti övre különül. A Kárpátokban északon 500 és 1800, délen 800 és 1950 m között fordul elő és a bükkösök fölött összefüggő övet alkot. (Polunin 1981, Debreczy & Rác 2000).

#### ➤ **Havasi törpefenyő – *Pinus mugo* (Turra)**

Az alpi hegységrendszer növénye, rokonaival nyugat felé a Pireneusokig, északon a cseh- Érc- és Óriás-hegységig, délkeleti irányban a Kárpátokon át a Balkán-hegységi Pirinig, az Appennini-félszigeten az Abruzzi-Alpokig, az Ibériai-félszigeten a Serrania de Cuenca-ig terjedt el. Az európai magashegységekre jellemző faj, de tőzgemohalápokon az alacsonyabb övben is előfordul (Polunin 1981, Debreczy & Rác 2000).

### **A vizsgált terület jellemzése**

Doktori kutatásomat az Alpokban végeztem el, amelynek vonulatai a Ligur-tengertől a Kárpát-medencéig közel 1200 km hosszúságban és mintegy 180 km szélességben húzódnak K-Ny-i irányban (Küpper 1964).

Az egykori Laurázsia és Gondwana összeütközésének eredményeként létrejött fiatal lánchegységben hatalmas áttolt takaróredők képződtek és kialakult az Alpok jellegzetes szerkezete, amelyben a közettípus és a területi elhelyezkedés alapján három jellegzetes takarót különíthetünk el. A még variszkuszi elemeket is tartalmazó helvétai takaró az egykori laurázsi területeken képződött a földtörténeti középidő elején. A pennini takaró a Gondwana és Laurázsia között elhelyezkedő óceáni medencék térségéhez tartozó kőzetekből áll, míg az ún. kelet-alpi takaró a Gondwana északi partszegélyén képződött, nagy tömegű vastagpados triász üledékeket (mészkö, dolomit) jelenti.

A Keleti-Alpokban, Ausztriában kiválasztott vizsgálati területeim az alábbiak voltak:

- Hochkar-hegység
- Stuhleck-hegység
- Wechsel-hegység

Mindhárom kiválasztott hegység alacsonyabb hegyvidéki (montán) övében a *Picea abies*, míg a magasabban fekvő (szubalpin) övben a *Pinus mugo* dominált, ezért ezek a fajok lettek kiválasztva a műszeres egészségügyi állapot vizsgálatához, az ArborSonic és az ArborElectro mérőműszerekkel. Mind a három mintaterületen a *Picea abies* és a *Pinus mugo* által dominált állományok teljes elterjedési területén, egy magassági (vertikális) transzekt mentén végeztem az adatgyűjtéseket.

2018 év folyamán, a montán övben uralkodó *Picea abies* esetében a Hochkar-hegység (800-1500m) területén 135, a Stuhleck-hegység (850-1700m) területén 162, míg a Wechsel-hegységben (800-1600m) összesen 163 faegyed került lemérésre. Szintén 2018-ban a szubalpin övben domináns *Pinus mugo* esetében a Hochkar-hegységben (1550-1760m) 36, a Stuhleck-hegységben (1750m) 6, míg a Wechsel-hegységben (1600-1700m) 14 faegyedet vizsgáltam meg. 2018-ban mindösszesen tehát a Hochkar-hegységben 171, a Stuhleck-hegységben 168, míg a Wechsel-hegységben 177 faegyedet mértem le.

2019 év folyamán, a *Picea abies* esetében a Hochkar-hegységben (800-1540m) 369, a Stuhleck-hegységben (850-1700m) 342, míg a Wechsel-hegységben (800-1600m) 369 faegyed került lemérésre. 2019 év folyamán, a *Pinus mugo* esetében a Hochkar-hegységben (1550-1750m) 234, a Stuhleck-hegységben (1705-1750m) 60, míg a Wechsel-hegységben (1610-1700m) 114 faegyed került lemérésre. 2019-ben mindösszesen tehát a Hochkar-hegységben 603, a Stuhleck-hegység területén 402, míg a Wechsel-hegységben 483 faegyedet mértem le.

Fontos szempont volt, hogy a hegyi utaktól minimum 10 méteres távolságban, az erdőállomány közepe felé legyenek kiválasztva a fák a mintavételezésre, ezáltal minimalizálva az antropogén eredetű zavarást és környezeti terhelést.

### **ArborSonic 3D Akusztikus Tomográf (FAKOPP)**

Az ArborSonic 3D Akusztikus Tomográf roncsolásmentesen képes meghatározni a faszervezet pillanatnyi szilárdságát, illetve a károsodás mértékét és kiterjedését segít körülhatárolni (Divós & Szalay 2002, Frankl et al. 2006, Falvai et al. 2021). Az Akusztikus Tomográf a hangsebesség mérésével kitűnő lehetőséget biztosít az élő fák rejtett hibáinak (üregek, korhadás) felderítésére (Kloiber et al. 2006), azaz a korhadtság vizsgálatára alkalmas.

A rostokra mérőleges terjedési sebességet méri, amely elérheti a 1500-1800 m/s-ot, mely 15-ször gyorsabb, a levegőben terjedő sebességnél. Ezt a jelentős különbséget kihasználva került kifejlesztésre a FAKOPP műszer, valamint azon a tényen alapulva, miszerint a hanghullámok terjedési sebessége szoros összefüggésben van a faanyag mechanikai tulajdonságaival (Divós & Divós 2005, Divós et al. 2005). A korhadás és annak mértéke legtöbbször kívülről nem látható. A fatörzs belső állapotának ismerete alapvetően befolyásolja a fa megítélését. Hangsebesség mérésével a fa törzsében levő üregek, korhadások mérete és elhelyezkedése meghatározható. A sebesség csökkenése két érzékelő között jelzi a korhadás jelenlétét.

A mérések az akusztikus tomográf esetén a fatörzs több rétegében végeztem el, figyelembe véve a vizsgált fajok eltérő fiziognómiáját. Ügyeltem arra, hogy a kiválasztott faegyedeknek a fatörzs geometriája inkább kör alakú legyen, mint sem elliptikus vagy szabálytalan. Ez azért volt fontos, hogy az alapfeltételek, hasonlóak legyenek a vizsgált faegyedeken.

2018-ban egy vertikális transzekt mentén, 50 méteres tengerszint feletti magasságokban történtek a korhadtság mérések mindhárom vizsgálati területen, a közönséges lucfenyő és a havasi törpefenyő esetében egyaránt. 2018-ban a három hegység területén a *Picea abies* esetében 460 db faegyedet mértem le, míg a *Pinus mugo* esetében 56 db egyed lemérését hajtottam végre.

A 2018-ban gyűjtött akusztikus tomográf adatok – mint elővizsgálatok – adatainak kiértékelése alapján 2019-ben egyes tengerszint feletti magasságokban finomabb térbeli léptékű, sűrűbb mintavételezést alkalmaztam, a korhadtság mértékében bekövetkezett változások pontosabb kiértékelése érdekében. 2019-ben a három hegység területén a *Picea abies* esetében mindösszesen 1080 db, míg a *Pinus mugo* esetében 408 db faegyedet mértem le.



Mindhárom hegység esetében a közönséges lucfenyőnél a talajszinttől számítva 3 rétegben, 0,4, 0,8, és 1,2 méteres magasságban, míg a jóval alacsonyabb termetű havasi törpefenyő esetében 2 rétegben, 0,2 és 0,4 méter talajszint feletti magasságban történt a korhadtság vizsgálata az ArborSonic 3D akusztikus tomográf segítségével.

### **ArborElectro Impedancia Tomográf**

A gombafertőzöttséget vagy romlottságot az ArborElectro impedancia tomográfal (ArborElectro, Sopron) vizsgáltam, ami roncsolásmentes módon képes kimutatni a törzsön belüli aktív gombafertőzöttség helyét és méretét. A műszer elektródák közötti elektromos ellenállást mér a törzs egy adott szeletén (mértékegysége: Ohm \* m). Az elektromos ellenállás függ a két elektróda közötti terület ion-koncentrációjától, amit pedig a gomba jelenléte vagy hiánya határoz meg. Ezzel a módszerrel a gombafertőzések már igen korai fázisban meghatározhatóak és kimutathatóak (Divós et al. 2007).

2019 ősz folyamán, mind a három vizsgálati területen használtam az ArborElectro Impedancia Tomográfot a fák gombafertőzöttségének mérésére. Utóbbi, amennyiben mérhető volt, akkor a kiértékelésnél romlottságnak is neveztem. A három kiválasztott területen megegyeznek, az ArborElectro Impedancia Tomográf mérőeszközzel történt méréseknek a folyamatai. A gombafertőzöttség vizsgálata a FAKOPPos vizsgálatnál már említett transzekt mentén történt mind a három hegység esetében, pontosan ugyanazokon a faegyedeken, amelyeknél vizsgálva lett a korhadtság. A kiválasztott faegyedek esetén a talajszinttől számolva egy rétegben, 80 cm-es magasságban mértem az impedancia tomográfal.

### **Talajtani vizsgálatok**

A talajtani mérésekhez szükséges mintákat 2018-ban és 2019-ben gyűjtöttem a Hochkar-, a Stuhleck- és a Wechsel hegységekben. Mind a három hegységben a vizsgált tengerszint feletti magasságonként egy-egy talajmintát gyűjtöttem, az adott tengerszint feletti magasságon műszerrel lemért három faegyed közeléből. A minták kiértékelését megelőzte egy mechanikai előkészítés (szítálás, aprítás). A minták szárítása után lehetett megkezdni a kiértékeléseket, melyek tartalmazták a talaj pH és az összkarbonát (cc) méréseket. A talaj pH-ját 1: 2,5 (w/v) arányú talaj: víz és 1 M KCl szuszpenzióban mértem,

digitális pH-mérővel (Buzás 1989). A talaj karbonáttartalmát Scheibler kalkulátor módszerrel határoztam meg (Buzás 1989). A laboratóriumi vizsgálatok mellett 2019-ben a Pürckhauer-féle szűrőbotos talajmintavételező mérőeszközzel, mind a három mintaterületen, a vertikális transzekt mentén lemértem a talajvastagságot (Finnern 1994) azokon a tengerszint feletti magasságokon, ahol műszeres mérések történtek.

### **Lejtőszög mérés**

2019 őszén, mind a három hegység esetében a vizsgált transzettek mentén, lemértem a lejtőszögeket, hogy megállapíthassam az adott lejtőszakasz meredekségét. A méréseket mind a három hegységben a 2018. évi korhadtsági vizsgálatok tengerszint feletti magasságában, azaz 50 méteres tengerszint feletti magasságonként végeztem a közönséges lucfenyő öv alsó határától egészen a havasi törpefenyő öv összefüggő felső határáig.

### **Meteorológiai adatgyűjtés**

A léghőmérsékleti és a csapadék adatokat a [www.ecad.eu](http://www.ecad.eu) nemzetközileg elismert adatbázisából töltöttem le 2021. szeptemberben. Az E-OBS magában foglalja a napi közép-, maximum- és minimum-hőmérséklet értékeket, valamint a napi összes csapadékot. A kutatásomban szereplő mindhárom mintaterületen, interpolált GPS adatokat használtam, mivel a kiválasztott hegységeken nem volt az adatbázis számára adatokat szolgáltató meteorológiai állomás.

### **Statisztikai kiértékelés**

Mind a három hegység esetében a PAST (PAleontological STatistics Version 3.21 és 4.05) statisztikai szoftvercsomag segítségével (Hammer 1999-2015, Hammer 1999-2021, Hammer 2001) vizsgáltam az abiotikus és a mért biotikus paraméterek közötti összefüggéseket. Az alapstatisztikához a szoftverösszesítő statisztikáját, t tesztet majd a boxplot modulját használtam.

A további részletes statisztikai számításokhoz az R 3.6.1-es verzióját használtam fel. (R core team 2020).

### 3. Eredmények

Mind a közönséges lucfenyő, mind a havasi törpefenyő esetében szignifikáns, de részben eltérő jellegű összefüggést találtunk a korhadtság mértéke és a tengerszint feletti magasság között. Az akusztikus tomográf adatok alapján a Wechel-hegység *Picea abies* állománya tűnik a legegészségesebbnek, míg a Hochkar-hegységé a legkevésbé jó egészségi állapotúnak. A Hochkar- és a Stuhleck-hegységben a gombafertőzöttség és a tengerszint feletti magasság összefüggése hasonló volt az akusztikus tomográfval mért értékekkel. A korhadtsági eredmények azt mutatják, hogy a *Picea abies* egyedek egészségi állapota a faj alsó magassági elterjedési határán volt a legrosszabb, mind a három vizsgált hegységben. A korhadtsági mérések alapján úgy tűnik, hogy a lucfenyő a jelenlegi klimatikus viszonyok között 1000 és 1500 méter közötti tengerszint feletti magasságban van a legjobb egészségi állapotban, amely magassági tartomány egyben a faj elterjedési optimumának is tekinthető a vizsgált hegységekben. Ebben a tartományban a *Picea abies* korhadtságának értékei hasonlóak voltak, mint a Kárpát-medencében a különböző korú *Quercus petraea* állományok adatai. A lucfenyő alsó elterjedési határán megfigyelt szignifikánsan magasabb korhadtsági értékek jelentős szórása azt jelzi, hogy a faj elterjedési területének alsó régiója kevésbé kedvező a faj számára, így feltételezhető, hogy a fafaj alsó előfordulási határa el fog mozdulni felfelé 50-100 méterrel, ami például a Hochkar-hegység korhadtsági adatai alapján erősen valószínűsíthető. Eredményeink alapján úgy tűnik, hogy bár a csökkenő mértékű gombafertőzöttség szempontjából ugyan kedvezőbb lehetne a lucfenyőnek magasabb térszínek felé tolódni, azonban a fafaj elterjedésének felső magassági határa közelében – feltehetően a növekvő mértékű stressz miatt – több hegységben is jobban korhad. Utóbbi gátat szabhat a lucfenyő felfelé történő elmozdulásának, így az alsó elterjedési határ felfelé történő elmozdulásával akár egy areaszűkülés is előfordulhat a *Picea abies* esetében. Utóbbi természetvédelmi szempontból kedvezőtlen lenne, hiszen az általa dominált élőhely beszűkülésével járna együtt. Ehhez az area-szűküléshez feltehetően a lucosokhoz köthető fajoknak csak

egy része tudna alkalmazkodni, ami hosszabb távon az élőhely fajdiverzitásának csökkenéséhez vezethet.

A havasi törpefenyőnek a közönséges lucfenyőhöz képest jelentősen magasabb korhadtsági értékei a magasabb régióra jellemző nagyobb mértékű abiotikus stresszel magyarázhatóak. A *Pinus mugo* esetén a mért magassági szintek romlottsága között egyértelmű trend nem igazolható. A havasi törpefenyőnél a median értékek alapján a Stuleck-hegység állománya bizonyult a legegészségesebbnek, míg a Weschel hegység havasi törpefenyő állománya volt a legrosszabb egészségi állapotban a magasabb median és magas interquartilis terjedelem miatt. A *Pinus mugo* esetén a vizsgált hegységekben eltérő trendet tapasztaltunk a romlottsági értékek és a tengerszint feletti magasság viszonyában. Azonban az eredmények értékelésénél figyelembe kell venni, hogy a Hochkar hegység vizsgált *Pinus mugo* öve volt a legszélesebb (200 m), szemben a Weschel-hegység 100 méteres és a Stuleck 50 méteres övével. Így általános következtetések levonására a Hochkar-hegységben mért változások tekintendők irányadóak. A Hochkar-hegységben megfigyelt változások egyértelműen azt mutatják, hogy mindkét vizsgált faj elterjedési magasságának és ezáltal az általuk dominált övezet felfelé tolodása várható. Ez a jövőben várható tendencia eltérő mértékű lehet az Alpok különböző hegységeiben, a környezeti paraméterek függvényében.

A *Picea abies* és a *Pinus mugo* elterjedésének felső határán részben tapasztalt magasabb korhadtsági értékek azt is jelezhetik, hogy amennyiben a fajok areája felfelé tolódik, az növekvő mértékű hidegstressznek, szélsőségesebb időjárási eseményeknek (pl. erősebb és gyakoribb szélviharok, jégtörés) teszi ki őket, ami csökkenő fitnessszel járhat. A hegyvidéki növényzeti övek potenciális eltolódása, az élőhelyek átalakulása természetvédelmi szempontból nem biztos, hogy kedvező, mert valószínűsíthető, hogy nem minden faj képes az állományalkotó fajokkal együtt vándorolni.

A lineáris korrelációk kiértékelése alapján a környezeti tényezőkre legérzékenyebbnek a Wechsel-hegység *Picea abies* állománya bizonyult.

## 4. Új tudományos eredmények

Új tudományos eredményeimet az alábbi pontokban foglalom össze:

1. A vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy mindhárom hegységben 1000 és 1500 méter között a közönséges lucfenyő korhadtsága csekély mértékű, míg állományszintű elterjedésének alsó határán és annak közelében mutatható ki a faj legnagyobb mértékű korhadtsága, továbbá a lucfenyő vertikális elterjedésének felső határán mindhárom hegységben csökkent a gombafertőzöttség mértéke.
2. A közönséges lucfenyő kelet-alpesi hegyvidéki elterjedésének alsó határán, a magas korhadtsági és gombafertőzöttségi értékek alapján a közeljövőben 50-100 m-es visszahúzódás várható.
3. A korhadtsági értékek alapján a három vizsgált mintaterület közül a Wechsel-hegység közönséges lucfenyőinek az egészségi állapota a legjobb.
4. A *Picea abies* esetén a legnagyobb átlagos korhadtságot, mindhárom vizsgált területen a talajszinthez legközelebbi magasságban (40 cm) mértem.
5. A havasi törpefenyő állományok mindhárom vizsgálati területen a közönséges lucfenyőhöz képest szignifikánsan magasabb korhadtsági értékkel jellemezhetőek, a vizsgált talajszint feletti magasságtól függetlenül.
6. A legnagyobb vertikális kiterjedésű havasi törpefenyő övvel rendelkező vizsgálati terület, a Hochkar-hegység korhadtsági adatai alapján a *Pinus mugo* felfelé történő további elmozdulása, terjeszkedése várható.

## 5. Tudományos publikációk listája

### 1. Nemzetközi lektorált *impakt faktoros folyóiratbeli közlemények*

1. **Falvai, D.**; Saláta, D.; Baltazár, T.; Czóbel, Sz. (2021): Instrumental Study of the Health Status of *Picea abies* and *Pinus mugo* (Turra) and Their Relation to Environmental Parameters in the Eastern Alps. *Forests* 12, 716. <https://doi.org/10.3390/f12060716> IF: 2,221 (Q1 besorolású)
2. Járdi, I.; Saláta, D.; Falusi, E.; Stilling, F.; Pápay, G.; Zachar, Z.; **Falvai, D.**; Csontos, P.; Péter, Norbert.; Penszka, K.; (2021): Habitat Mosaics of Sand Steppes and Forest-Steppes in the Ipoly Valley in Hungary. *Forests* 13, 135. <https://doi.org/10.3390/f12020135> IF: 2,221 (Q1 besorolású)
3. Rusvai K., Saláta D., **Falvai D.**, Czóbel SZ. (2022): Assessment of weed invasion at bait sites in a Central European lower montane zone. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* [doi.org/10.1016/j.ppees.2022.125669](https://doi.org/10.1016/j.ppees.2022.125669) IF: 3.634 (Q1 besorolású)

### 2. Tudományos folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), lektorált, teljes szövegű tudományos közlemény

#### 2.1. Idegen nyelvű, nem *impakt faktoros folyóiratban*

1. **Falvai D.**, Baltazár T., Czóbel Sz. (2019): Health status analysis of Norway spruce and shrubby pine along an elevation gradient. *Columella – Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 6(2): 29-36. DOI: 10.18380/SZIE.COLUM.2019.6.2.29
2. Demeter A., **Falvai D.**, Trenyik P., Czóbel Sz. (2017): Ecological indicator based comparative study of tree of heaven (*Ailanthus altissima*) stands' herb layer. *Columella: Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 4: 15-20.
3. Trenyik P., Ficsor Cs., Demeter A., **Falvai D.**, Czóbel Sz. (2017): Examination the health state with instrumental measurements and the diversity of sessile oak stands in Zemplén mountains. *Columella: Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 4: 21-30.

#### 2.1.1. Hazai kiadású

1. **Falvai D.**, Baltazár T., Szegleti Zs., Czóbel Sz. (2020): *Picea abies* és a *Pinus mugo* fafajok egészségi állapotának vizsgálata a Wechsel-hegység természetközeli erdőállományaiban. *Természetvédelmi Közlemények* 26: 16-27 DOI: 10.20332/tvk-jnatconserv.2020.26.16

### 3. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények

#### 3.1.Konferencia kiadványok

##### 3.1..1. Magyar nyelvű absztrakt

1. **Falvai D.**, Baltazár T., Czóbel Sz. (2019): A lucfenyő (*Picea abies*) és a törpefenyő (*Pinus mugo*) egészségi állapotának elemzése magassági gradiens mentén. Health status analysis of norway spruce (*Picea abies*) and shrubby pine (*Pinus mugo*) along an elevation gradient. pp. 53-55. In: Pápay G. (szerk.) "IV. Fenntartható fejlődés a Kárpát-medencében" konferencia. "Gyepék biodiverzitása a Kárpát-medencében" Absztraktkötet. 87 p. Hódmezővásárhely, 2019. december 4. Szent István Egyetem, Egyetemi Nyomda. ISBN: 978-963-269-879-3
2. **Falvai D.**, Szirmai O., Czóbel Sz. (2018): A Gödöllői Botanikus Kert kiválasztott faállományának teljeskörű faérték és ökoszisztéma szolgáltatás számítása. Calculation of the complete tree value and ecosystem service of selected tree stock of the Gödöllő Botanical Garden. pp. 64. In: Molnár V.A., Sonkoly J., Takács A. (szerk.) XII. Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében. Program és összefoglalók: 12th International Conference Advances in research on the flora and vegetation of the Carpatho-Pannonian region. Programme and Abstracts, Debrecen, Magyarország: Debreceni Egyetem TTK Növénytan Tanszék.
3. **Falvai D.**, Baltazár T., Czobel Sz., (2021) : A *Pinus mugo* és a *Picea abies* egészségügyi állapotának vizsgálata egy vertikális transzekt mentén, a Keleti-Alpok egy kijelölt mintaterületén. pp.106. In: Cseresznyés D., Király Cs. XVI Kárpát – Medencei környezettudományi konferencia. Program és összefoglalók: 16<sup>th</sup> Carpathian Basin Conference for Environmental Sciences. Programme and Abstracts, Budapest, Magyarország: Eötvös Lóránd Tudományegyetem Természettudományi Kar. ISBN: 978-963-8221-82-7
4. **Falvai D.**, Baltazár T., Czobel Sz., (2020) : *Pinus mugo* és a *Picea abies* egészségi állapotának egy magassági gradiens mentén való elemzése. p. 28. 1 p. In: Lukács Gábor, Kormos Éva. LXII Georgikon napok nemzetközi tudományos konferencia. Programme and Abstracts, Keszthely, Magyarország: Georgikon Kar. ISBN: 9789632699417
5. **Falvai D.**, Czobel Sz., (2020): Possibilities of instrumental measurement related to the tree health. pp.47 In: Hosam E.A.F. Bayoumi Hamuda.11<sup>th</sup> ICEEE – 2020 International annual conference on “Sustainable Environmental Protection & Waste Management Responsibility”. Programme and Abstracts, Budapest, Magyarország: Óbuda University Institute of Environmental Engineering & Natural Sciences (KTI) Rejtő Sándor Faculty of Light Industry & Environmental Engineering (RKK). ISBN: 978-963-449-203-0
6. **Falvai D.**, Baltazár T., Czobel Sz., (2021) : Fakopp 3-Dimensional Acoustic Tomography measurements, in the Eastern Alps, along a designated vertical transect. pp.36 . In: Hosam B. H., Bodáné-Kendrovics R., Demény K., Kaszás J., Szeder A., Sósné – Berecz M., Várkői j., Tamássy Zs. V<sup>th</sup> International Symposium – 2021 “Environmental

Quality and Public Health. Programme and Abstracts, Budapest,  
Magyarország: Óbuda University Institute of Environmental (RKK). “  
ISBN: 978-963-449-238-2

### **3.1.2. Külföldi absztrakt**

- 1. Falvai D.,** Czóbel Sz., Baltazár T. (2020): Instrumental health condition examination of coniferous trees along a vertical transect. p. 10. In: Ozaslan M. et al. (eds.): International Conference on Veterinary, Agriculture and Life Sciences (ICVALS) October 29-November 1, 2020 – Antalya, TURKEY. Abstract Book. 27 p.
- 2. Czóbel Sz., Falvai D.,** Ficsor Cs. (2019): Health condition studies of dominant coniferous trees along an elevation transect in the eastern Alps. In: 2nd International Conference ADAPTtoCLIMATE, 2 p. Paper: ADAPTtoCLIMATE2019\_Falvai\_etal , 2 p.
- 3. Falvai D.,** Baltazár. T., Czobel. Sz., (2019): Observing the health status of coniferous trees in the eastern Alps. In: Rosario G. Gavilán ; Alba Guitérrez-Girón. 28th EVS Meeting: Abstracts & Programme : Vegetation Diversity and Global Change. 131-131 pp. Madrid, Spanyolország. ISBN: 9788409137381
- 4. Falvai D.,** Czóbel Sz. (2019): Túlevelű fák egészségi állapotának vizsgálata egy magassági transzszekt mentén. 40-41 pp. In: Szígyártó, I-L; Szikszai, A (szerk.) XV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia Kolozsvár, Románia: Ábel Kiadó, (2019) 303 p. ISSN: 1842-9815.
- 5. Czóbel, Sz ;** Németh, Z ; Ficsor, Cs ; **Falvai, D** ; Szegetli, Zs ; Szirmai, O (2018): Ecological features of three forest spring geophytes. p. 38. In: University, of Wrocław (szerk.) 27th Congress of the European Vegetation Survey. 23-26 May, 2018 Wrocław, Poland. Book of Abstracts, Oral presentations. Wrocław, Lengyelország : University of Wrocław.



## 6. Irodalomjegyzék

- BILLINGS W.D., MOONEY H.A. (1968): The ecology of arctic and alpine plants. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 43: 481–529.
- BUZÁS I. (1989): Soil and agrochemical test method book 2. Physico-chemical and chemical test methods for soils. *Agrokémia Talajt.* (38) 504–505.p.
- BÜNTGEN U., FRANK D.C., KACZKA R.J., VERSTEGE A., ZWIJACZ-KOZICA T., ESPER J. (2007): Growth responses to climate in a multi-species tree-ring network in the Western Carpathian Tatra Mountains, Poland and Slovakia. *Tree Physiol.* (27) 689–702.p. doi:10.1093/treephys/27.5.689.
- CAMARERO J.J., GAZOL A., SÁNCHEZ R., SALGUERO., FAJARDO A., MCINTIRE E.J., GUTIÉRREZ E., WILMKING M. (2021): Global fading of the temperature–growth coupling at alpine and polar treelines. *Glob. Change Biol.* 27 (9), 1879–1889.p. doi:10.1111/gcb.15530
- CARRER M., PELLIZZARI E., PRENDIN A.L., PIVIDORI M., BRUNETTI M. (2019): Winter precipitation-not summer temperature-is still the main driver for Alpine shrub growth. *Sci. Total. Environ.*, (682) 171–179.p. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.152.
- CHAUCHARD S., BEILHE F., DENIS N., CARCAILLET C. (2010): An increase in the upper tree-limit of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the Alps since the mid-20th century: A land-use change phenomenon. *259*, 8, 31, 1406–1415.p. doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.009.
- CHERUBINI P., DOBBERTIN M., L-INNES J. (1998): Potential sampling bias in long-term forest growth trends reconstructed from tree rings: A case study from the Italian Alps. doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00242-4.
- CZÓBEL SZ., SZIRMAI O., NAGY J., BALOGH J., ÜRMÖS ZS., PÉLI E.R. & TUBA Z. (2008): Effects of irrigation on the community composition, and carbon uptake in Pannonian loess grassland monoliths. *Community Ecology* 9: 91–96.
- CZÚCZ B., KRÖEL-DULAY GY., RÉDEI T., BOTTA-DUKÁT Z., MOLNÁR ZS. (2007): Éghajlatváltozás és biológiai sokféleség – elemzések az adaptációs stratégia tudományos megalapozásához. MTA ÖBKI 280. p.
- DEBRECZY ZS., RÁCZ I., (2000): *Fenyők a Föld körül.* Dendrológiai Alapítvány, Budapest, pp. 552. ISBN: 963-00-5898-7
- DIVÓS F., DENES L., INIGUEZ G. (2005): Effect of crosssectional change of a board specimen on stress wave velocity determination. *Holzforschung*, 59:230–231.
- DIVÓS F., DIVÓS P. (2005): Resolution of Stress Wave Based Acoustic Tomography. In: 14th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. University of Applied Sciences, Germany, Eberswalde. ISBN 3-8322-3949-9
- DIVÓS F., DIVÓS P. DIVÓS GY. (2007): Acoustic Technique use from seedling to wooden structures. In: Brashaw B. (Eds): *Proceedings of the 15th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood.* Duluth, 230–231.p.
- DIVÓS F., SZALAY L. (2002): “Tree evaluation by acoustic tomography,” in: *Proceedings of the 13th International Symposium on Nondestructive*

- Testing of Wood, F.C. Beall (ed.), Forest Products Research Society, Madison, WI, 251-256.p.
- ELMENDORF S. C., HENRY G. H. R., HOLLISTER R. D., BJÖRK R. G., BJORKMAN A. D., CALLAGHAN T. V., COLLIER L. S., COOPER E. J., CORNELISSEN J. H. C., DAY T. A., FOSAA A. M., GOULD W. A., GRÉTARSDÓTTIR J., HARTE J., HERMANUTZ L., HIK D. S., HOFGAARD A., JARRAD F. †, JÓNSDÓTTIR I. S., KEUPER F., KLANDERUD K., KLEIN J. A., KOH S., KUDO G., LANG S. I., LOEWEN V., MAY J. L., MERCADO J., MICHELSEN A., MOLAU U., MYERS-SMITH I. H., OBERBAUER S. F., PIEPER S., POST E., RIXEN C., ROBINSON C. H., SCHMIDT N. M., SHAVER G. R., STENSTRÖM A., TOLVANEN A., TOTLAND Ø., TROXLER T., WAHREN C-H., WEBBER P. J., WELKER J. M. AND WOOKEY P.A. (2012): Global assessment of experimental climate warming on tundra vegetation: heterogeneity over space and time. *Ecology Letters*. 15: 164–175.
- FALVAI D., SALÁTA D., BALTAZÁR T., CZÓBEL SZ. (2021): Instrumental Study of the Health Status of *Picea abies* [L.] Karst and *Pinus mugo* (Turra) and Their Relation to Environmental Parameters in the Eastern Alps. *Forests*, (12) 716.p. doi:10.3390/f12060716.
- FINNERN H. (1994): Pedological mapping manual. Verbesserte und erweiterte Auflage. Hannover. *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 4.
- FRANKL J., KLOIBER M., BRYSCJEJN J. (2006): “Non-destructive inspection of a historic wooden structure damaged by fire,” in: *Engineering Mechanics 2006* Svratka, Institute of Thermomechanics Academy of Sciences Czech Republic, Prague, 62-63.p.
- GOTTFRIED M., PAULI H., FUTSCHIK A., AKHALKATSI M., BARANČOK P., ALONSO J. L. B., COLDEA G., DICK J., ERSCHBAMER B., CALZADO M. R. F., KAZAKIS G., KRAJČI J., LARSSON P., MALLAUN M., MICHELSEN O., MOISEEV D., MOISEEV P., MOLAU U., MERZOUKI A., NAGY L., NAKHUTSRISHVILI G., PEDERSEN B., PELINO G., PUSCAS M., ROSSI G., STANISCI A., THEURILLAT J-P., TOMASELLI M., VILLAR L., VITTOZ P., VOGIATZAKIS I., GRABHERR G.,(2012): Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change*. 2: 111–115.
- GRABHERR G., GOTTFRIED M., PAULI H. (2010): Climate change impacts in alpine environments. *Geography Compass* 4: 1133–1153.
- HAMMER Ø. (1999–2015): PAST–PAleontological STatistics Version 3.06 Reference Manual; Natural History Museum–University of Oslo, Norway, 225p.
- HAMMER Ø.(1999–2021): PAST–PAleontological STatistics Version 4.05 Reference Manual; Natural History Museum–University of Oslo: Oslo, Norway, 284p.
- HAMMER Ø., HARPER D.A.T., RYAN P.D. (2001): PAST–Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol. Electron.*, 4, 1–9.p.
- IPCC (2007): Fourth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. 24.p.

- IPCC (2014): Impacts, adaptation, and vulnerability. 987.p.
- KLOIBER M., KOTLÍNOVÁ M. (2006): "Comparison of dynamic and static moduli of elasticity in damaged wood," in: Applied mechanics 2006, University of West Bohemia, 197-209.p.
- KÖRNER C., (2003): Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems. Berlin, Germany: Springer. 349.p.
- KÖRNER C., LARCHER W. (1988): Plant life in cold climates. In: Long SF, WoodwardFI, eds. Plant and temperature. Symp. Soc. Exp. Biol., 42. Cambridge, UK: TheCompany of Biologists, 25–57.p.
- KÜPPER H. (1964) Ausztria földtani kutatásának újabb eredményei és jelentőségük magyarország földtana szempontjából. Földtani közlöny dec.17. 115.p.
- MALANSON G.P., ROSE J.P., SCHROEDER P.J., FAGRE D.B. (2011) Contexts for change in alpine tundra. *Physical Geography* 32: 97–113.
- MATHENY N.P., CLARK J.R. (1994): A Photographic Guide to the Evaluation of Risk Trees in Urban Areas, International Society of Arboriculture, Champaign, IL, U.S.A. 85.p.
- MATTHECK C. (2007): Updated Field Guide for Visual Tree Assessment. Karlsruhe, Karlsruhe Research Center. 170.p.
- MATTHECK C., BRELOER H. (1994): Field guide for visual tree assessment (VTA). *Arboricultural Journal* 18:1–23.
- NATÉR (Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer) Agrárgazdasági Kutató Intézet a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (2018) Éghajlatváltozási alkalmazkodáskutatás a hazai mezőgazdaságban.
- NICOLUSSI K., KAUFMANN M., PATZELT G., Plicht van der J., THURNER A.( 2005): Holocene tree-line variability in the Kauner Valley, Central Eastern Alps, indicated by dendrochronological analysis of living trees and subfossil logs. *14, 221–234.p.* doi.org/10.1007/s00334-005-0013-y.
- OHSAWA T., IDE Y. (2007): Global patterns of genetic variation in plant species along vertical and horizontal gradients on mountains. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00357.x>
- PALOMBO C., CHIRICI G., MARCHETTI M., TOGNETTI R. (2013): Is land abandonment affecting forest dynamics at high elevation in Mediterranean mountains more than climate change? *Pl. Biosystems.*, (147) 1-11.p. doi:10.1080/11263504.2013.772081
- PARMESAN C. (2006): Ecological and Evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37: 637-669.
- PARMESAN C., YOHE G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37–42.
- POLUNYIN O. (1981):Európa fáí és bokrai. Gondolat Kiadó, Budapest, pp. 212., ISBN: 963-280-947-5
- R CORE TEAM. (2020): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.
- RISSER P.G. (1995): The status of the science examining ecotones. *BioScience* 45: 318–325.

- ROOT T.L., PRICE J.T., HALL K.R., SCHNEIDER S.H., ROSENZWEIG C., POUNDS J.A. (2003): Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57–60.
- SAVVA Y., OLEKSYN J., REICH P. B., TJOELKER M. G., VAGANOV E. A., MODRZYNSKI J. (2006): Interannual growth response of Norway spruce to climate along an altitudinal gradient in the Tatra Mountains, Poland. – *Trees – Struct. Funct.* 20: 735–746. doi:10.1007/s00468-006-0088-9.
- SCHWARZE F.W.M.R., (2008): Diagnosis and Prognosis of the Development of Wood Decay in Urban Trees. Rowville, Enspeg 336.p.
- ŠENFELDRA M., KACZKABE R., BURASC A., SAMUSEVICH B. A., HERRMANN C., SPYTE B., MENZELD A., TREMLB V. (2021): Diverging growth performance of co-occurring trees (*Picea abies*) and shrubs (*Pinus mugo*) at the treeline ecotone of Central European mountain ranges. 308–309.p. doi:10.1016/j.agrformet.2021.108608
- SHIGO A.L. (1991): Modern Arboriculture, Shigo & Trees, New Hampshire. 421.p.
- THEURILLAT J.P., GUISSAN A. (2001): Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. *Climatic Change* 50: 77–109.
- WALTHER G.R., POST E., CONVEY P., MENZEL A., PARMESAN C., BEEBEE T.J.C., FROMENTIN J.M., HOEGH-GULDBERG O.H., BAIRLEIN F. (2002): Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389–395.
- WITTE L.C., STÖCKLIN J. (2010): Longevity of clonal plants: why it matters and how to measure it. *Annals of Botany* 106: 859–870.