

**BUDAPESTI CORVINUS EGYETEM
KERTÉSZETTUDOMÁNYI KAR
NÖVÉNYTANI TANSZÉK**



ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Természetes erdeifenyő populációk tobozmorfológiai és tűlevél-anatómiai összehasonlító
értékelése

Zahorecz Anett

Környezetgazdálkodási agrármérnök BSc , IV. évfolyam

Témavezetők: Dr. Höhn Mária egyetemi docens tanszékvezető,
Tóth Endre György PhD hallgató

Budapest, 2015

Rövidítések jegyzéke

Ro-Ps	Románia, Poiana Stampei
Ro-Fk	Románia, Fenyőkút
Ro-Par	Románia, Parang
Ro-Bih	Románia, Bihar hegység
Ro-Mo	Románia, Mohos-tőzegláp
Szlo-Kd	Szlovákia, Kvacianska dolina
Szlo-Lh	Szlovákia, Liptovsky Hrádok
Szlo-Mb	Szlovákia, Medzi bormi
Szlo-Tu	Szlovákia, Turková
Hu-Fe	Magyarország, Fenyőfő
Hu-Za	Magyarország, Zala
Hu-Ors	Magyarország, Őrség
Hu-Ven	Magyarország, Vendvidék
Bu-Yu	Bulgária, Yundola
Sp	Spanyolország, Parque Natural Redes
ah	Apofízis hosszúsága
asz	Apofízis szélessége
av	Apofízis vastagsága
th	Toboz hosszúsága
tsz	Toboz szélessége
psz	Pikkelylevelek száma
tfm	Tengerszint feletti magasság
sztomeg	Száraztömeg

TARTALOMJEGYZÉK

Rövidítések jegyzéke.....	2
1. Bevezetés és célkitűzés.....	4
2. Irodalmi áttekintés.....	6
2.1. Fajttörténet.....	6
2.2. A <i>Pinus sylvestris</i> morfológiai és anatómiai jellemzése.....	7
2.3. Az erdeifenyő elterjedési területe és környezeti igénye.....	10
2.4. Korábbi morfológiai vizsgálatok erdeifenyő populációkon.....	12
2.4.1. Tobozmorfológiai vizsgálatok.....	12
2.4.2. A tűlevelek morfológiai-anatómiai struktúrájának vizsgálata.....	13
2.5. Genetikai eredmények.....	14
3. Anyag és módszer.....	15
3.1. A dolgozat során vizsgált erdeifenyő állományok élőhelyeinek jellemzése.....	15
3.2. Morfometriai és anatómiai mérések, laboratóriumi munkák.....	27
4. Eredmények ismertetése.....	31
4.1. Tobozmorfológiai eredmények.....	31
4.2. Tűlevél-anatómiai eredmények.....	35
5. Értékelés, következtetések.....	40
Összefoglalás.....	42
Köszönetnyilvánítás.....	43
Irodalomjegyzék.....	44

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

„Ha azt akarjuk, hogy népünk ne veszítse el tökéletesen annak a lehetőségét, hogy a természet fejlődési szakaszait szemlélhesse, úgy érkezett annak az ideje, hogy a múltnak még fennmaradt alkotásait az egész területen fölkeressük, velük megismerkedjünk és minden lehető módon megvédjük őket” (Sajó Károly, Óriszentmiklós, 1900).

Az erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) szinte egész Euráziában őshonos, a közönséges boróka után a Föld legnagyobb areával rendelkező nyitvatermő faja (Debreczi et al., 2011). A pleisztocéni eljegesedések idején dél- és közép-Európa térségében más fenyőfajok mellett nagyobb elterjedési területtel rendelkezett, de a jégkorszakok elmúltával a délkeleti részen areája feldarabolódott és szigetszerű populációk alakultak ki. Napjainkban ezeket az izolált előfordulásokat, melyek a Kárpát-medencében, így hazánkban is megtalálhatók jégkorszaki reliktnak tekintik (Keresztesi, 1971; Mátyás, 2002). Az erdeifenyő fennmaradását tágtűrésének köszönheti, hisz posztglaciális visszaszorulását követően, amikor a lombos fajok elterjedtek a déli peremterületeken csak az extrém élőhelyeket tudta benépesíteni. Igazi pionír fafajként megtalálható sziklakibúvásokon és sziklafalakon, még savanyú kavicstakarón, tőzeglápokban, vagy száraz homokos aljzatú élőhelyeken. Ökotípusait gyakran változatként vagy éppen alfajként említi a szakirodalom (Mátyás, 2002).

Az erdeifenyő flóra- és vegetációtörténeti szerepéből adódóan Európában modell növénynek tekinthető, mert a pollenadatok és makrofossziliák alapján bizonyíthatóan átvészelt több klímátörténeti változást, a jégkorszakok elmúltát, és a holocéni felmelegedést, majd később az egyre fokozódó antropogén nyomást is. A populációk adaptív viselkedésének tanulmányozásával választ kaphatunk vagy érthetővé válhatnak bizonyos, a jelenben zajló populációdinamikai események.

A faj fennmaradt kis kiterjedésű természetes állományai a biológiai diverzitás megőrzése szempontjából kiemelten fontosnak tekintendők. A különösen veszélyeztetett és sérülékeny élőhelyek fennmaradása a természetes génállomány és a genetikai variabilitás megőrzését biztosíthatják.

Az erdeifenyő erdészetileg is fontos fafaj, számos európai léptékű származáskísérletben figyelték a faj adaptációs képességét (Mátyás, 2002). Kertészeti jelentősége tágtűréséből fakad, zöldterületeken, parkokban igénytelen talajokon is ültethető. Szoliter egyedei bizarr, látványos lombkoronát fejleszthetnek (Schmidt és Tóth, 2006).

A *Pinus sylvestris* hazai őshonos állományai nem nagy kiterjedésűek, a Dunántúlon savanyú kavicsos, hegytetei sziklás váztalajon fordulnak elő, leginkább elegyes állományokban. Kiemelkedő jelentőségű a sok vitát kiváltó, bakonyaljai populáció Fenyőfőn. Bár őshonosságát ennek a populációnak többen vitatják a meszes, homoki, tölgy-elegyes erdefenyves az erdőssztyepp erdő számos eredeti vonását őrzi.

A faj jelenlegi elterjedési területén előforduló természetes *Pinus sylvestris* populációkon már korábban is számos morfológiai és populációgenetikai vizsgálatot végeztek, és ezekhez kapcsolódik a Budapesti Corvinus Egyetem, Növénytani tanszékén folyó jelenlegi kutatás is, mely a faj hazai állományainak megismerését, történeti-biogeográfiai, morfológiai és genetikai jellemzését célozza.

Jelen munkában célul tűztük ki:

- hazai és közép-kelet-európai honos erdefenyő populációk tobozmorfológiai és tűlevél-anatómiai összehasonlító értékelését és az állományok élőhelyek szerinti jellemzését,
- az élőhelyspecifikus állományok elkülöníthetőségét morfometriai mérések alapján,
- a fenyőfői populáció feltételezett őshonosságának alátámasztását morfometriai alapon.



1. ábra: A bakonyaljai Fenyőfőn található *Pinus sylvestris* populáció (Fotó: Höhn Mária)

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Faj történet

Az erdeifenyő jelenlegi elterjedése szorosan kapcsolódik a glaciális és posztglaciális klíma változásához, és az azt követő növényvándorlásokhoz, amely során a faj elterjedését többszörös visszahúzódás és kiterjedés jellemezte (Bennett, 1995; Richardson, 1998). A Kárpát-medence jelenkori vegetációja a holocén időszak (negyedidőszak jelenleg is tartó stádiuma) klímaváltozásának eredményeképpen, valamint az emberi folyamatok befolyásával alakult ki. A jégkorszak utolsó, leghidegebb időszaka alatt az erdeifenyő az Alpok, Kárpátok refugiumaiban vészelte át a kedvezőtlen klímaidőszakot (Pócs, 1965). Ilyen refugium területek voltak a szubmediterráneum illír területei és a Pannon-medence belseje is (Pócs, 1965; Cheddadi et al., 2006). Az eljegesedés idején a Kárpát-medence belső területeit sztyeppvegetáció jellemezte.

A posztglaciális korszak (kezdeté i.e. 8500 éve) első szakaszában, a fenyő-nyír korban, a refugiumokból az erdeifenyő térhódítása következett be. A fenyő-nyír erdők uralkodásával ez a faj elérte legnagyobb elterjedését a Kárpát-medencében. Ugyanekkor még erős összeköttetés volt az Alpoktól keletre eső területek és a nagy összefüggő erdeifenyves elterjedés között (Pócs, 1965). Az ezt követő boreális korban (i.e. 7000-5500) fokozatos flóra- és vegetációátalakulás következett be. Az emelkedő hőmérséklet és a csökkenő csapadék kedvezőtlenül hatott a túlevelű fajokra (Willis et al., 1998; Matias és Jump, 2012). Az átalakuló vegetációban megnövekedett a lombhullató fajok aránya, úgy mint az égeré, szilé, mogyoróé vagy körisé. Az ökológiai tényezők megváltozásának hatására az összefüggő fenyvesek feldarabolódtak és kontinentális, xerotherm cserjések és erdők jöttek létre (Pócs, 1965). Az eltűnt erdeifenyvesek helyén elegyes-tölgyes erdőssztyepppek alakultak ki (Járainé, 2000). Nyugat-Magyarországon, az Alpok keleti szegélyzónájában hűvösebb és csapadékosabb klíma mellett tudtak fennmaradni az erdeifenyvesek (Pócs, 1965). Az erdeifenyő jelenlegi szigetszerű elterjedését a klímaváltozás és a fokozódó emberi tevékenység tovább alakította. (Bennett, 1984; Willis et al., 1998).

2.2. A *Pinus sylvestris* morfológiai és anatómiai jellemzése

Az erdeifenyő – *Pinus sylvestris* L. – kéttűs (diploxylon) fenyőféle, rendszertani besorolása Kaundun-Lebreton (2010) és Price et al. (1998) nyomán:

Gymnospermeae – Nyitvatermők

Törzs: *Pinophyta* (Fenyőalkatú nyitvatermők)

Osztály: *Pinopsida*

Rend: *Pinales* (Fenyők)

Család: *Pinaceae* (Fenyőfélék)

Alcsalád: *Pinoideae* (Erdeifenyőfélék)

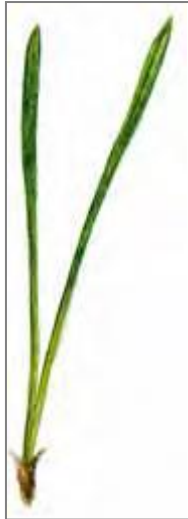
Szekció: *Pinus*

Alszekció: *Pinus*

Szériasz: *Silvestres*

Az erdeifenyő morfológiai jellemzését Gencsi és Vancsura (1992), Bondor (1987), Majer (1968) és Keresztesi (1971) munkái alapján foglalom össze.

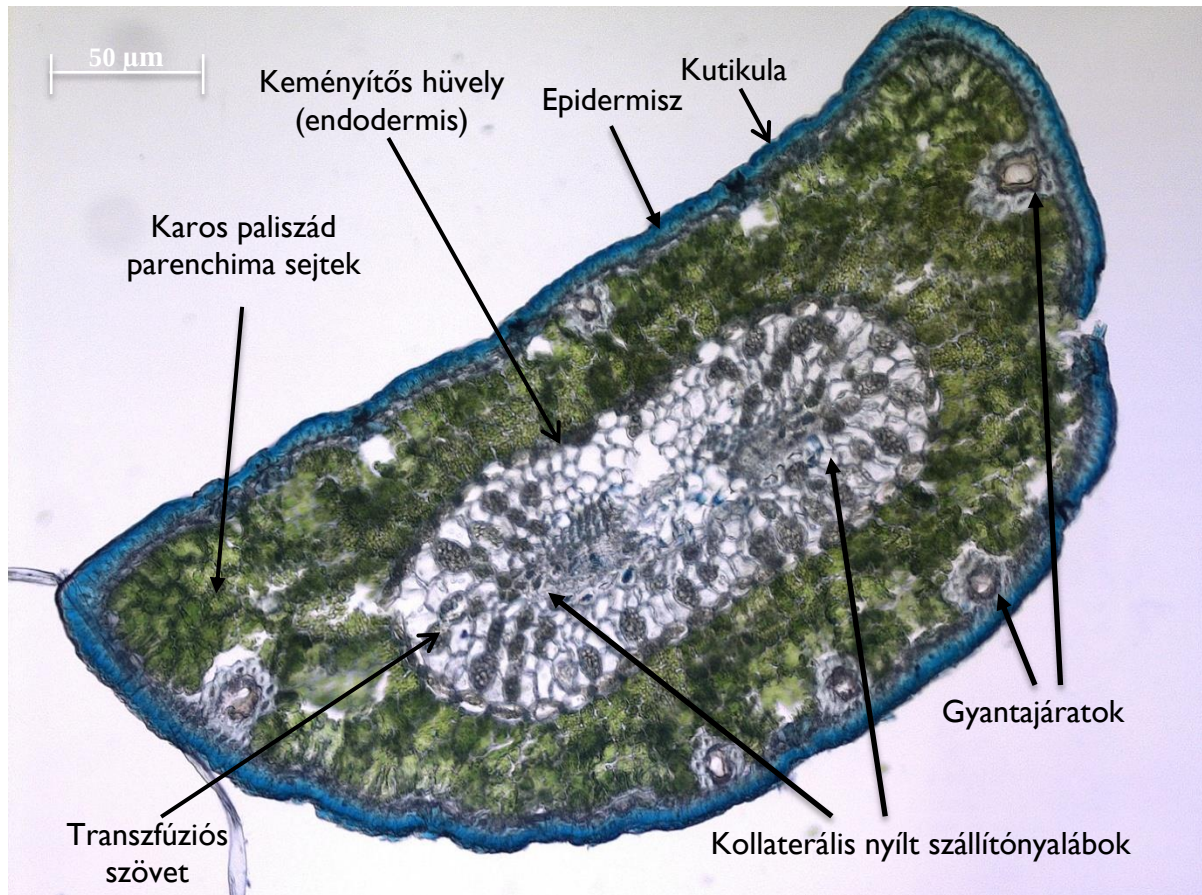
Az erdeifenyő nagytermetű, jó termőhelyen 30 méter magasságot elérő fa. Fiatalon kúpos koronája van, amely szabályos ágörvökből épül fel. Az idősebb fák törzs- és koronaalakja származástól és termőhelytől függően erősen változó. Ágai és törzsének felső része vöröslő, idősebb korban kérge rozsdavörös, repedezett, fiatalon „rókavörös”, pikkelyesen lehámló. A törzs alsó részén vastag, szürkésbarna héjkéreg képződik, amely hosszant repedezik. Gyökérzete erőteljes és dús. Kezdetben karógyökér, amely laza talajon 3-6 m mélységig hatol. Később az oldalgyökereit fejleszti és idősebb korában inkább sűríti gyökérrendszerét. A fiatal hajtása zöldes, később okkersárga, kopasz, a felemelkedő csúcsú hosszúhajtáspikkelyek szélét barázda határolja. Hegyes végű rügye vörösesbarna, hengeres-kúpos, 6-12 mm hosszú, nem vagy gyengén gyantás pikkelyei rojtos szélűek, szálasak. Tűi kettesével állnak, laposak, rugalmasak, 3-12 cm hosszúak, jellegzetesen szürkék vagy kékeszöldek, a tengelyük körül kissé csavarodottak, finoman fűrészkes a szélük, oldalaikon fehéres légzőnyílásokkal (2. ábra), emiatt a lombozata szürkészöld. Tűi általában 3 évig maradnak a fán (Gencsi és Vancsura, 1992).



2. ábra: A *Pinus sylvestris* tűlevele, Euforgen nyomán (Forrás: euforgen.org)

Az erdeifenyő kéttűs fenyőféle, leveleinek keresztmetszeti képe félkör alakú (3. ábra). A tűlevelek szöveti szerkezete csaknem centrálisnak mondható, kívülről többé-kevésbé négyzet alakú, vastagfalú epidermisz sejtek határolják, amelyek fő feladata a mechanikai védelem. Az epidermiszt kívülről kutikula borítja, amelyen viaszréteg válik ki. A viasz segít szárazság idején a párolgást csökkenteni, nedves időben pedig megakadályozza, hogy a vízcseppek eldugaszolják a gázcserenyílásokat (Sárkány és Szalai, 1966).

A mezofillum fotoszintetizáló alapszövege a karos paliszád parenchima. A mezofillum külső szegélyében találhatók az epithél sejtekkel bélelt gyantajáratok. Számuk általában 7-9, többnyire a hipodermával érintkeznek. Ez utóbbi szövet rendszerint egysejtsoros szklerenchima, mely végighúzódik az epidermisz alatt és a gyantajáratokat is körülveszi (3. ábra). A központi hengert kifelé a keményítő hűvel (endodermisz) határolja. Ennek sejtjei szorosan kapcsolódnak egymáshoz. A szállítónyalábok transzfúziós szövetbe ágyazottak mely főként az asszimiláló szövetből a központi hengerbe vándorló asszimilátumok szállításában vesz részt. A központi henger alapszövetében két kollaterális nyílt szállítónyaláb található. A farész, mely tracheidákból és nyalábbélsugarakból áll a tűlevél lapos oldala felé tekint, a domború oldal felé néz a háncs, amelyet a farésztől vékony merisztémazóna, a kambium választ el és rostasejteket tartalmaz. A nyalábok háncs felőli oldalán szklerenchimasejtek is találhatók (Sárkány és Szalai, 1966).



3. ábra: A Medzi bormi tőzeglápból származó erdeifenyő tülevelének keresztmetszeti képe

Az erdeifenyőnek egylaki, porzós virágzatai barkaszerűek, élénksárgák, a termős tobozvirágzatok ibolyászöldek, csoportosan, 1-3-asával jelennek meg (Bartha, 1999). Tobozai 4-8 cm hosszúak, kúpos tojásdadok (Gencsi és Vancsura, 1992), rövid kocsányon ülnek, éretten szürkésbarna színűek és fénytelenek (Simon és Seregélyes, 2004). A kinyílt toboz pikkelyei felül kávébarnák, alul feketésbarnák. A toboz köldöke lapos vagy jól fejlett, az apofízis kicsi, fényes barna, nem szúrós (Keresztesi, 1971). Magjai tojásdad alakúak, szárnyasak, 3-4 mm hosszúak, októberben érnek, de csak tél végén, tavasszal hullanak le. A felnyílt tobozok még a fán maradnak 1-2 évig (Gencsi és Vancsura, 1992) (4. ábra).

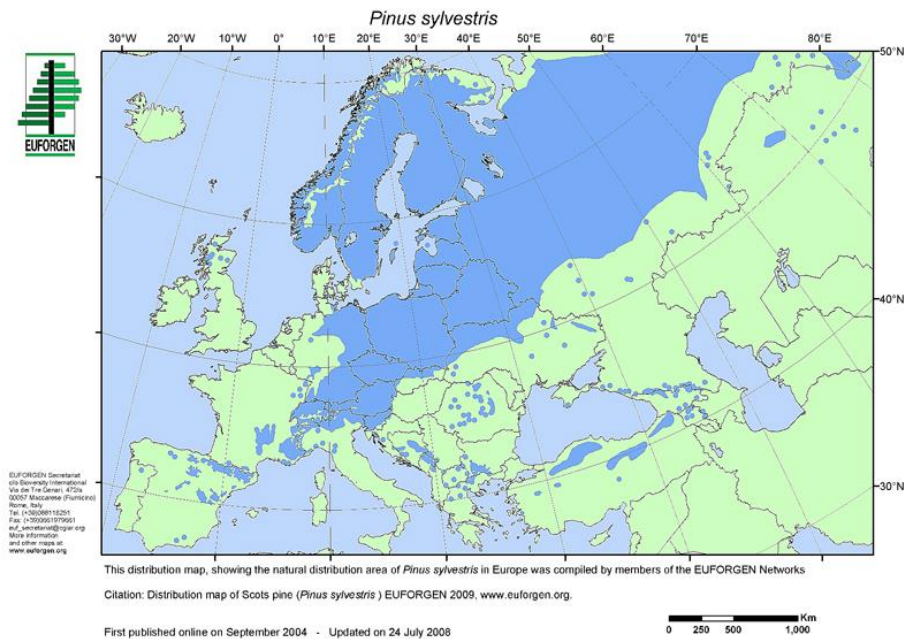


4. ábra: *Pinus sylvestris* női toboza és hajtása, Euforgen nyomán (Forrás: euforgen.org)

Az erdeifenyő, tipikus pionír jellegű, gyors növéssű fafaj, amely kedvezőtlen termőhelyeken is képes tartósan fenntartani populációit, így például: száraz homokon, lápokban, sziklakibúvásokon, falakon. Egyaránt tűri az erős hideget és a nagy meleget (Mátyás, 2002). Nagyfokú alkalmazkodóképessége a talajtényező szempontjából jól ismert, de általában a sovány, savanyú, nedvesebb talajt kedveli (Kárpáti és Terpó, 1968). Fényigényes fafaj, ez társulásképessége szempontjából hátránya az erdeifenyőnek. A korona laza záródása miatt az állomány alatt számtalan fafaj csemetéje képes megtelepedni, és ezek akár kiszoríthatják később az erdeifenyőt, ezért a jó termőhelyen pionírszerepe rövid életű (Gencsi és Vancsura, 1992).

2.3. Az erdeifenyő elterjedési területe és környezeti igénye

Az erdeifenyő a környezeti feltételek széles skálájához alkalmazkodott, ebből következik, hogy igen nagy az elterjedési területe. A jégkorszak elvonulása után a fátlan területek gyors beerdősülésében az erdeifenyőnek fontos szerepe volt. Jelenleg Nyugat-Európától Szibérián át a Sztanovoj-hegységig és az Amur középső folyásáig fordul elő, az 50. és 65. szélességi fok közt, mintegy 14000 km hosszan. Európában elterjedési területe kiszélesedik, és a mediterrán régiótól (Spanyolország 37°-tól) Norvégia északi részéig (70°-ig) megtalálható. Délen összefüggő areája felszakadozik, Kazahsztánban, Kaukázusban, Dél-Európában több, kisebb-nagyobb foltban szigetszerűen fordul elő (5. ábra).



5. ábra: Az erdeifenyő eurázsiai elterjedési területe az EUFORGEN adatbázis nyomán (Forrás: euforgen.org)

Kontinentális jellegű faj, az óceánok partvidékét Norvégia kivételével sehol sem éri el. Az elterjedési területén belül többféle domborzati viszonyok közt nő: dombvidékek, középhegységek és magashegységek faja, de északon, gyakran tőzeglápokban, sztyeppvidéken folyóvölgyekben él, a mediterrán régióban pedig rendszerint a magasabb hegyvidék lakója. Optimális előfordulását Európában a Baltikumban éri el. Közép-Európában az Alpok-Kárpátok térségét népesíti be. A Keleti-Alpokban 250-1200 m tengerszint feletti magasságban nő. Természetes előfordulási területe az Alpok keleti szegélyén hazánk területére is benyúlik. Eredeti elterjedésének határait Európában ma már nehéz megállapítani, mivel régóta ültetik (Gencsi és Vancsura, 1992). Bartha Dénes (1999) véleménye szerint hazánkban Nyugat-Dunántúlon (Soproni-hegység, Vasi-dombvidék, Kőszegi-hegység, Őrség, Vendvidék, Hetés, Göcsej) őshonos.

„A Bakony északi lábánál, a fenyőfői homoksíkon nagy kiterjedésű fenyőerdő díszlik. Örökzöldje különleges színfoltja a Bakonyjának...” – Majer Antal.

Fenyőfő erdeifenyvese a Marcal-medence déli homokvidékén található. Az erdő természetességével-ősiességével kapcsolatban az elmúlt évszázadban ellentmondó nézetek láttak napvilágot. Az erdész-botanikus Majer Antal, aki egy teljes monográfiát szentelt az erdő bemutatására és 1988-ban publikálva 40 éves kutatómunkájának eredményeit könyvében felsorakoztatja azokat a tényeket, amelyek az állomány őshonosságát támasztják alá, így többek között utal Fenyőfő falunév eredetére, amely dokumentumok alapján, már a 13.

században létezett, amikor fenyőtelepítések nemigen lehettek. Megemlíti továbbá a fafaj természetes felújulási képességét a termőhelyen. Az erdeifenyő őshonossága ellen szól ugyanakkor az, hogy a jégkorszak utáni erdőfejlődés során ez a faj kiesett az erdőalkotó fák sorából (Zólyomi, 1952). Az állomány habitusa Pócs, (1981) szerint Lengyelország északi tengeri homokdűnéinek és a dél-oroszországi területek erdeifenyveseire hasonlít leginkább.

2.4. Korábbi morfológiai vizsgálatok erdeifenyő populációkon

2.4.1. Tobozmorfológiai vizsgálatok

Staszkievicz magyarországi erdeifenyő állományokról írt biometria tanulmányt 1961-ben. Összesen tíz élőhelyről (pl. Petőhenye, Bak, Fenyőfő), 200-800 méter tengerszint feletti magasság között, több mint 700 tobozt gyűjtött össze, populációnként 50-100 darabot. A hazai populációkat a vizsgált 10 paraméter (toboz hosszúsága és szélessége, termőlevelek száma, apofízis hosszúsága, szélessége és vastagsága, a toboz hosszúságának és szélességének aránya, a toboz hosszúságának és a pikkelylevelek számának aránya, az apofízis hosszúságának és vastagságának aránya valamint az apofízis hosszúságának és vastagságának aránya) alapján nagyon hasonlónak vélte. A legnagyobb eltérést a bakonyaljai Fenyőfő állomány mutatta, ahol a tobozok hosszabbak, szélesebbek. A termőlevelek száma nagyobb volt, az apofízisek rövidebbek, szélesebbek és vastagabbak. A kőszegi populációt kisebb tobozok jellemzik. A Szentbalázs környékéről gyűjtött tobozoknak az apofíziseit nagyméretűnek találta, hasonlóak voltak a Bakról származó minták, de ezeknek a tobozoknak az apofízisei nagyon laposak voltak, a leglaposabbak a vizsgált magyar populációk közül. A vizsgálatok alapján megállapította, hogy az általa vizsgált magyar állományok az un. meridionalis csoporthoz tartoznak leginkább. Ebbe a csoportba tartozik például több csehszlovák, svájci és francia állomány, melyek dolomit és mészkő kőzetben találhatók. A kapott eredmények alapján tehát a magyar állományok az Alpok régióban lévőkhöz köthetők leginkább (Staszkievicz, 1961).

Marcysiak (2006) a Krím-félszigeten található *Pinus sylvestris* L. populációkat tanulmányozott. Ezeket Spanyolország és Lengyelország területéről származó mintákkal hasonlította össze. A munkája célja az volt, hogy a félszigetről származó tobozokat morfológiailag jellemezze. Összesen 10 paramétert vizsgált: a toboz hosszúságát, szélességét, a tobozon található pikkelylevelek számát, az apofízis hosszát, szélességét valamint vastagságát. A hat lement paraméter segítségével további négy aránypárt számított ki. A

mérésekből kiderült, hogy a Krím-félszigeten az általa vizsgált erdeifenyő populációk tobozai a többi európai minták átlagához képest viszonylag nagyméretűek, közepesen sok a termőlevelek száma, az apofízisek nagyok és vastagok. Különböző statisztikai módszerekkel (diszkriminancia analízis, cluster analízis) megállapította, hogy a vizsgált paraméterek inkább a spanyol populációkhoz hasonlítanak. A legerősebb korreláció az apofízis alakja és a toboz mérete (szélesség és hosszúság) között volt (Marcysiak, 2006).

Turna és Güney (2009) észak-törökországi természetes *Pinus sylvestris* állományokat tanulmányoztak. A vizsgálat lényege a magasságbeli változatosság kimutatása populációk között és populációkon belül. Összesen 23 karaktert vizsgáltak, többek között a tobozok hosszúságát, szélességét és ezek arányát, a magok méretét, a magoncok méretét és száraztömegét. Mérték továbbá friss gyökértömeget, friss hajtássúlyt is. A mintákat 149 egyedről gyűjtötték, egymástól 150 méter távolságra, öt különböző magassági zónából. Tobozok esetében 15-20 darabot vizsgáltak, amelyek populációnként 30 egyedről származtak, a begyűjtést követően napon kiszárították őket, majd kézzel kisorsolták belőle a magokat. A vizsgálatok alapján azt az eredményt kapták, hogy a tengerszint feletti magasság volt a legerősebb faktor, amely befolyásolta a klaszter analízissel kapott csoportosulást. Minden morfológiai karakterben nagy variabilitást figyeltek meg mind populációk között, mind populációkon belül. A korreláció-analízis kimutatta, hogy a 23 vizsgált karakter közül 19 morfológiai tulajdonság korrelált (Turna és Güney, 2009).

2.4.2 A tűlevelek morfológiai-anatómiai struktúrájának vizsgálata

A hazai erdeifenyvesek így a fenyőfői állomány egyedeinek tűlevél morfológiai és anatómiai értékelése során a tűlevelek hosszúságát és szélességét, a felszín viaszbevonatát a gyantajáratok és gázcserenyílások számát már korábban is vizsgálták (Gencsi 1981 in Majer 1988) és megállapították, hogy a fenyőfői állomány tűlevelei átlagosan vastagabbak a többi hazai állományéhoz képest. A gyantajáratok száma viszont meglehetősen egységes volt, de a fenyőfői tűlevelek tágabb üregű gyantajáratokkal rendelkeztek. A gázcserenyílások száma alul-felül egységesen 8 volt.

Androsiuk és munkatársai (2011) *Pinus sylvestris* populációk földrajzi variabilitását vizsgálták a fenyőtűk 7 morfológiai vonása alapján. A mintáik Európa különböző részeiről származtak, szélességi fokok csoportosítása alapján: északról (Oroszország, Svédország, Lettország), középső országokból (Lengyelország, Belgium, Németország, Franciaország,

Szlovákia) és déli európai tartományokból (Magyarország, Törökország, Montenegró, Bosznia). A legnagyobb eltérést a tűlevelek hosszában és a sztómák számában találták. A vizsgálatok alapján arra jutottak, hogy Közép-Európában egy hatalmas heterogén csoport különül el. Megállapították, hogy az északi országokban és a hegyvidékeken lassúbb a növekedési ráta. Az eltérő környezeti feltételek ellenére, a morfológiai elkülönülés földrajzi mintázatot mutatott.

Androsiuk és Urbaniak (2006) Differentiation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations in the Tatra Mountains based on needle morphological traits című tanulmányukban négy tátrai erdeifenyő populáció tűleveleit vizsgálták összesen öt paraméterrel. Egyedenként 10 kétéves tűlevelet vizsgáltak. A legnagyobb eltéréseket a tűlevél hosszában és a gázcsere nyílások számában tapasztalták. A sztómákat a tűlevelek adaxiális és abaxiális oldalán mérték. A különböző statisztikai eredményeik alapján megállapították, hogy a Tátrai Nemzeti Parkban található erdeifenyő populációk, különösen a Filipczańskie Skalki állomány egy kis elszigetelt populációt alkot a sztómák számát és a sztómák sorait tekintve (Androsiuk és Urbaniak, 2006).

2.5. Genetikai eredmények

A Budapesti Corvinus Egyetem Növényteni tanszéken folyó kutatások a molekuláris vizsgálatokra is kiterjednek. A kloroplasztisz és nukleáris mikroszatellit eredmények alapján a szerzők az állományok variabilitását jellemezték és megállapították, hogy a magyarországi fenyőfői populáció molekulárisan is elkülönül a nyugat-magyarországi élőhelyeken élő, őrségi, vendvidéki, zalai populációktól. (Tóth et al. 2014a).

Későbbi vizsgálataik során, növelve a populációk számát (13 kelet-közép európai, valamint egy észtországi és egy bulgáriai populációt vizsgáltak) korábbi eredményeiket megerősítették (Tóth et al. 2014b). A populációk genetikai távolsága (*Nei*) alapján a fenyőfői populáció bizonyult legtávolabbinak, jól elkülönülve a nyugat-magyarországi populációktól. A vizsgálat során élőhelyspecifikus allélok (private alleles) is kimutattak Fenyőfőn (Tóth et al. 2014b). Az eddigi tanszéken végzett populációgenetikai eredmények alapján a fenyőfői ősfenyvesről elmondható, hogy sajátos genetikai háttérrel rendelkezik, mind kloroplasztisz mind nukleáris markerekben eltérést mutat a többi vizsgált magyarországi állománytól. Az állomány egyediségének hátterében az élőhely ökológiai sajátosságait és/vagy történeti okait feltételezik, melyek az erdő reliktum eredetére vonatkozó korábbi nézeteket támasztják alá (Tóth et al. 2013; 2014b).

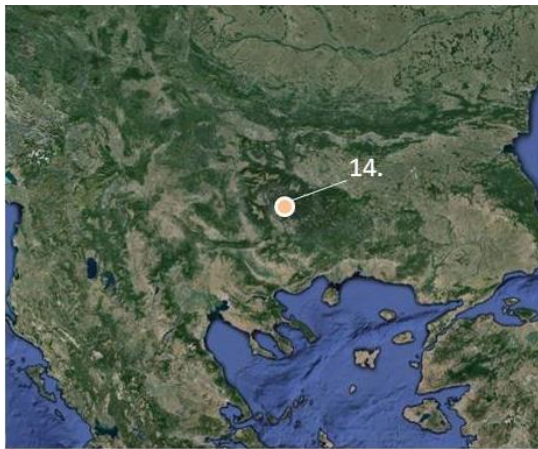
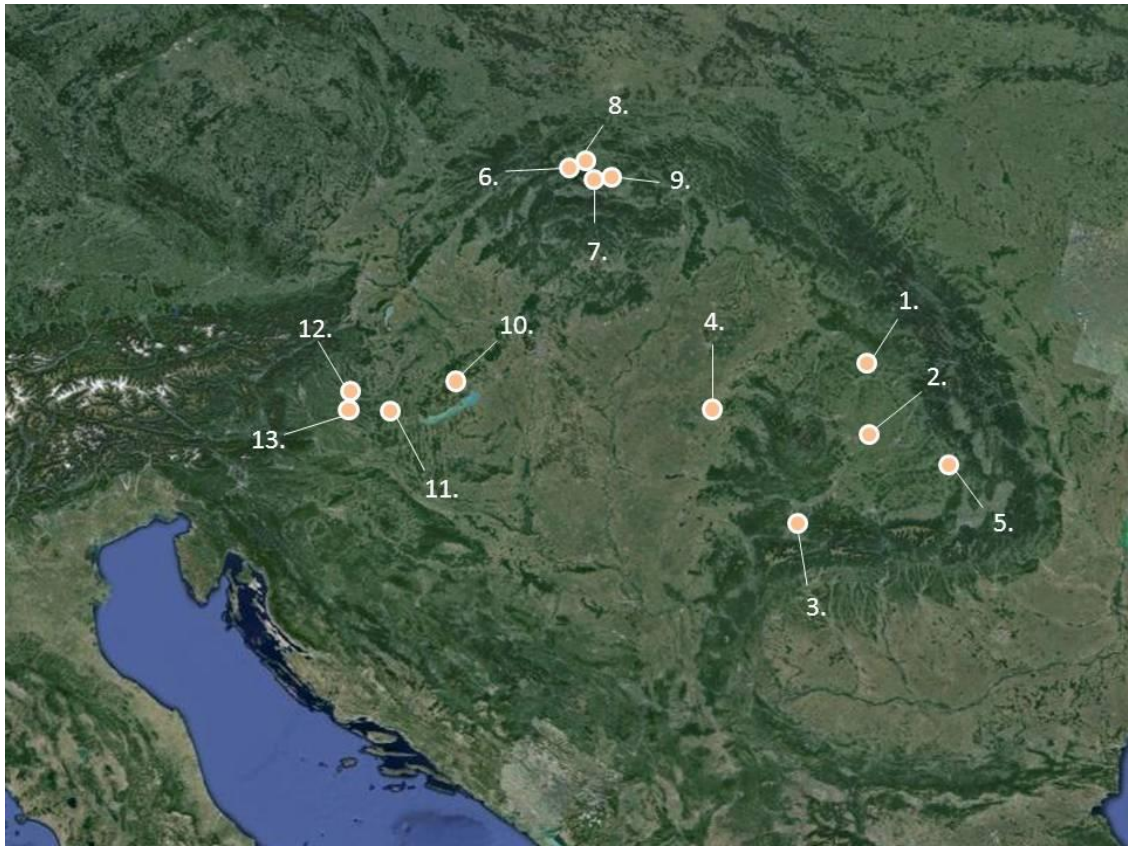
3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A dolgozat során vizsgált erdeifenyő állományok élőhelyeinek jellemzése

A vizsgálatainkat 15 természetes előfordulású populációnál végeztük el, ezek földrajzi koordinátáit az 1. táblázat foglalja össze, a földrajzi helyzetüket a 6. ábra mutatja be.

Populációk	Származási hely	GPS koordináták
1.	Románia, Poiana Stampei	N47° 17.891' E25° 6.995'
2.	Románia, Fenyőkúti-tőzezláp	N46° 30.160' E25° 15.548'
3.	Románia, Parang, Latorica szurdok	N45° 23.031' E23° 54.414'
4.	Románia, Bihar-hegység, Biharrósa	N46° 50.371' E22° 22.316'
5.	Románia, Mohos-tőzezláp	N46° 07.905' E25° 54.392'
6.	Szlovákia, Kvacianska dolina	N49° 11.436' E19° 32.758'
7.	Szlovákia, Liptovsky Hrádok	N49° 02.607' E19° 44.127'
8.	Szlovákia, Medzi bormi	N49° 16.050' E19° 37.764'
9.	Szlovákia, Turková	N49° 01.013' E19° 54.895'
10.	Magyarország, Fenyőfő	N47° 21.247' E17° 46.117'
11.	Magyarország, Zala, Pethőhenye	N46° 52.093' E16° 55.308'
12.	Magyarország, Őrség, Csörötnek	N46° 55.633' E16° 20.885'
13.	Magyarország, Vendvidék, Szalafői őserdő	N46° 52.180' E16° 18.342'
14.	Bulgária, Yundola	N42° 04.105' E23° 49.967'
15.	Spanyolország, Parque Natural Redes	N43° 09.569' E5° 21.075'

1. táblázat: A vizsgált 15 *Pinus sylvestris* populáció származási helyei és GPS koordinátái



6. ábra: A vizsgált 15 erdeifenyő populáció földrajzi elhelyezkedése

1. Románia, Poiana Stampei

A Kelemen havasok északi lábánál, a Dorna patak völgyében fekvő település Poiana Stampei, tengerszint feletti magassága 905-910 méter, melynek tőzezlápja Ramsari terület és része a Natura 2000 hálózathoz. A tőzezláp 400 hektár területen fekszik, melyen különleges növényzet található, úgymint a hüvelyes gyapjúsás (*Eriophorum vaginatum*), lápi nádtippán (*Calamagrostis neglecta*), közönséges tőzegrozmaring (*Andromeda polifolia*), fürtös lizinka (*Lysimachia thyrsiflora*) (7. ábra).



7. ábra: A Poiana stampeii tőzezlápban található *Pinus sylvestris* populáció (Fotó: Tóth Endre György)

2. Románia, Fenyőkúti-tőzezláp

A Fenyőkúti-tőzezláp Erdélyben, Harghita megyében található, a Görgényi-havasok vulkáni platóján alakult ki. Tengerszint feletti magassága 945-955 méter. 2007-től Különleges Természetmegőrzési Terület a Natura 2000-es hálózat részeként. A Keleti-Kárpátokban előforduló erdeifenyős tőzezlápok legnyugatibb képviselője. A láp uralkodó fája az erdeifenyő, amely a láp közepe felé haladva méreteiben csökken, ugyanis a tőzeg vastagsága miatt nem kap elég tápanyagot a növekedéshez. Itt uralkodóvá válnak a tőzegmoha párnák (*Sphagnum* sp.), benne hüvelyes gyapjúsással (*Eriophorum vaginatum*). Ritka lápi növények a fenyők környezetében a tőzegrozmaring (*Andromeda polifolia*), a tőzegáfonya (*Vaccinium oxycoccos*), a vörös áfonya (*Vaccinium vitis-idaea*), és a fekete áfonya (*Vaccinium myrtillus*).

3. Románia, Parang, Latorica szurdok

A Déli-Kárpátokban található Latorica mészkőhegység egyik legmélyebb mészkőszurdoka, néhány km hosszú, amelyben igen extrém körülmények között él az erdeifenyő. A szurdok természetvédelmi terület, az itt található ugyancsak őshonos vörösfenyő állomány miatt. A szurdok növényzetét lucelegyes lomboserdő alkotja, fő fafaja a bükk. Az éves csapadékmennyiség magas, 1300-1400 mm, a júliusi átlaghőmérséklet +7 °C, míg a januári átlaghőmérséklet -8°C körül alakul (8. ábra).



8. ábra: A Latorica.szurdokban található *Pinus sylvestris* populáció (Fotó: Tóth Endre György)

4. Románia, Bihar-hegység, Biharrósa

A Bihar-hegység az Erdélyi-Szigethegység központi magja, itt helyezkedik el a Biharrósa szoros. A hegység zömét kristályos őspalák, gránitok és egyéb paleozoikumi üledékek alkotják, azonban derekán és a délnyugati lejtőin nagy terjedelmű triász- és jura-mészkövek, palák és homokkövek találhatók (Takács, 2006). A Bihar a múltban őserdőkkel borított hegység volt, tetőin pedig a gyephavasok végtelen sora húzódott. A vasutak megépítése után kapitalista vállalatok az erdőket letarolták, s csak néhány folt maradt fenn eredeti állapotában. A biharrósai szoros erdeifenyő populációja is meglehetősen kicsi, az egyedek meredek sziklafalakon nőnek, nehezen gyűjthetők. A patakok mentén, a szurdokokban az acsalapu 1,5 méter átmérőt is elérő hatalmas levelei vetnek árnyékot a

talajra, páfrányok, korpafüvek és más, üde környezetet kedvelő növények társaságában (Bodnár, 2006).

5. Románia, Mohos-tőzegláp

A Mohos-tőzegláp a Hargita-hegység legfiatalabb tagjának, a Csomád vulkáni komplexumának ikerkráterében foglal helyet 1050 méter tengerszint feletti magasságban. A tőzegláp és a Szent Anna-tó területén alakították ki a Mohos Természetvédelmi Területet. A Mohos-tó évezredek óta folyamatosan apadt, lassan elmocsarasodott, így változott át magashegyi láppá, amely tápanyagban szegény, erősen savas kémhatású (pH: 3,8-4,1). A tőzeg az évezredek során elhalt tőzegmohák tömegéből halmozódott fel, a tőzegmennyiséget 3 millió köbméterre becsülik. Jelenleg a láp vízutánpótlását a láp felszínére hulló csapadékmennyiség biztosítja. A láp területén számos növényritkaságot találunk: kereklevelű harmatfű (*Drosera rotundifolia*), tőzegrozmaring (*Andromeda polifolia*), tőzegáfonya (*Vaccinium oxycoccos*), álszittyó (*Scheuchzeria palustris*), lizinka (*Lysimachia thyrsiflora*) (Pop, 1960) (9. ábra).



9. ábra: A romániai Mohos tőzeglápban található *Pinus sylvestris* populáció (Fotó: Ferenczi Júlia)

6. Szlovákia, Kvacianska dolina

Kvacianska dolina egy mély szurdokvölgy Szlovákiában a közép Nyugati Kárpátokban. A völgyet egy patak eróziós tevékenysége alakította ki. Átlagos tengerszint feletti magassága 750 méter. 1967 óta természetvédelmi terület. A völgy sziklafalait felépítő kőzetet triász kori dolomit és mészkő alkotja. Az erdeifenyők ezeken a meredek, napos oldalakon tenyésznek.

7. Szlovákia, Liptovsky Hrádok

Liptovsky Hrádok (Liptóújvár) a Belá és Vág folyók találkozásánál, az Alacsony-Tátra (Nízke Tatry) északi nyúlványa alatt található. Az átlagos tengerszint feletti magassága 700 méter. Az itteni erdeifenyves populáció is mészkősziklafelszínen alakult ki (10. ábra).



10. ábra: A Szlovákiában található Liptovsky Hrádok erdeifenyvese (Fotó: Tóth Endre György)

8. Szlovákia, Medzi bormi

Medzi bormi egy aktív dagadóláp Szlovákiában a Magas-Tátra északnyugati lábánál. 1980-ban a területet védetté nyilvánították, része a Natura 2000 hálózathoz, hiszen egy nagyon érzékeny területről van szó, amely a szélsőséges helyzetekre – mint akár a vízhiány vagy a víztöbblet – nagyon gyorsan reagál. Az élőhely vastag tőzeges aljzata savanyú kémhatású, tápanyagokban nagyon szegény. Flórája mészkérülő és hidrofil fajokból tevődik össze, sok közülük védett és ritka faj, mint például hüvelyes gyapjúsás (*Eriophorum vaginatum*), mocsári molyűző (*Ledum palustre*), a közönséges tőzegrozsmaring (*Andromeda polifolia*). A lápot szinte teljesen kultúrterületek veszik körül vízutánpótlását és hidrogeológiai rendszerét számos tényező károsan befolyásolja (11. ábra).



11. ábra: A szlovákiai Medzi bormi dagadólápban található *Pinus sylvestris* populáció (Fotó: Tóth Endre György)

9. Szlovákia, Turková

Az Alacsony-Tátrában található Turková egy nagyon értékes erdőrezervátum, átlagos tengerszint feletti magassága 800 - 1000 méter. Területe 107 ha, ebből 30,95 ha védelmi zóna. Az Alacsony-Tátrára a hideg hegyi éghajlat jellemző (Bodnár, 2006). Része a Natura 2000 hálózathoz és 1965 óta védett terület. Az élőhely alapkőzete mészkő és dolomit, a terep rendkívül masszív, jelentős a sziklaborítás. A talaj sziklás-köves vázta talaj, vagy kőzetlepedős talaj, a termőréteg sekély, magas a szervesanyag tartalma. A felső szintek növényzetét az erdeifenyő (*Pinus sylvestris*), a lucfenyő (*Picea abies*) és a vörösfenyő (*Larix decidua*) uralja.

10. Magyarország, Fenyőfő

A fenyőfői ősfenyves Bakonyalján található, tengerszint feletti magassága nem haladja meg a 300 métert, legmélyebb része sem esik 250 méter alá. A homoki fenyves páratlan szépségével, maradványjellegével, hegyvidéki-alföldi keverék flórájával méltán hazánk egyik, 1954 óta kiemelten védett területe. A laza humuszszegény homokos talaj csekély tápanyag-ellátású így a pionír jellegű erdeifenyő fenn tudott maradni. Az állományt a Kárpát-medence belsejének egyetlen talajtani okokból fennmaradt, feltételezhetően őshonos erdeifenyő állománya (Majer, 1988; Pócs, 1981). Az erdőössztyepp jellegű erdő fenyőegyedei sajátos habitusúak alacsonyan elágazók, kandelláberszerűek, ezért külön változatként - *Pinus sylvestris* var. *pannonica* – tartják számon (Soó, 1973). A fenyőfői homokvidék és a vele szomszédos dolomit mészkő hegyek viszonylag bő csapadékot kapnak, az anyakőzet azonban erősen vízáteresztő, a vizet tárolni képtelen, legfeljebb a mélységi karsztvizet táplálja, s így a területre a nyári szárazság jellemző. Talajvíze igen mélyen, a növényzet gyökere által el nem érhető mélységben van (Majer, 1988). Kitaibel Pál tudós botanikus 1799-ben hívta fel a figyelmet erre a különleges fenyveserdőre. A fenyves megőrizte hidegtűrő hegyvidéki és melegkedvelő alföldi növényeit. Előfordul itt a homoki varjúháj (*Sedum sartorianum*), a fényes poloskamag (*Corispermum nitidum*), a fekete kökörcsin (*Pulsatilla pratensis* subsp. *nigricans*), a tarka nőszirm (*Iris variegata*), és a homoki fátyolvirág (*Gypsophila fastigiata* L. subsp. *arenaria*) (Bölöni, Molnár és Kun, 2011). Az „iszonyatos fenyő” (vagy ~fa) elnevezés a mai napig érvényben van Fenyőfőn és környékén. Az átlagosnál nagyobb, százötven évesnél is jóval öregebb magtermő fákat értették és értik alatta. Mint minden idős állománynál itt is gondot jelent egy szívós taplógomba évtizedes károsítása. Fontos feladat a megelőzés és a fellépett károsítás esetén a megszüntetés (Kopasz, 1976) (1. és 12. ábra).



12. ábra: A bakonyaljai Fenyőfőn található *Pinus sylvestris* populáció (Fotó: Tóth Endre György)

11. Magyarország, Zala, Pethőhenye

Pethőhenye Zala megyében, a Zalaegerszegi kistérségben található, északról a Zala folyó medre határolja. Az itteni mészkedvelő száraz erdőfenyvesek kontinentális erdőssztyepp jellegűek, eróziónak kitett, pannonkori meszes homokkőkibúvásokon tenyésznek (Majer, 1968). Az állomány sekély termőrétegű, karbonátmaradványos, barna erdőtalajon, illetve váztalajon áll. A talaj kémhatása lúgos a homokkő erős mésztartalma miatt vízgazdálkodása rossz (Borhidi, 2007). A lombkoronaszintben a száraz tölgyesek fajai elegyednek, ezek kontinentális és szubmediterrán jellegűek. A cserjeszintben gyakori az ostorménfa (*Viburnum lantana*) de az egykor tömeges csepleszmegegy (*Cerasus fruticosa*) mára igen megritkult (Hortobágyi és Simon, 1981). A gyepszintben megtalálható a tollas szálkaperje (*Brachypodium pinnatum*), az ágas homokliliom (*Anthericum ramosum*), a sudár rozsnok (*Bromus erectus*). Karakterisztikus fajnak számít a sárga len (*Linum flavum*), a szürkés ördög szem (*Scabiosa canescens*), a tarka nőszirm (*Iris variegata*). Az egyébként erősen xerotherm társulásnak csupán a mohaszintje mutat fenyves vonásokat, benne előfordul a

pirosszárú moha (*Pleurozium schreberi*), zöldszárú moha (*Pseudoscleropodium purum*) (Bölöni et al., 2011) (13.ábra).



13. ábra: A petőhenyei erdeifenyves populáció (Fotó: a Szerző saját felvétele)

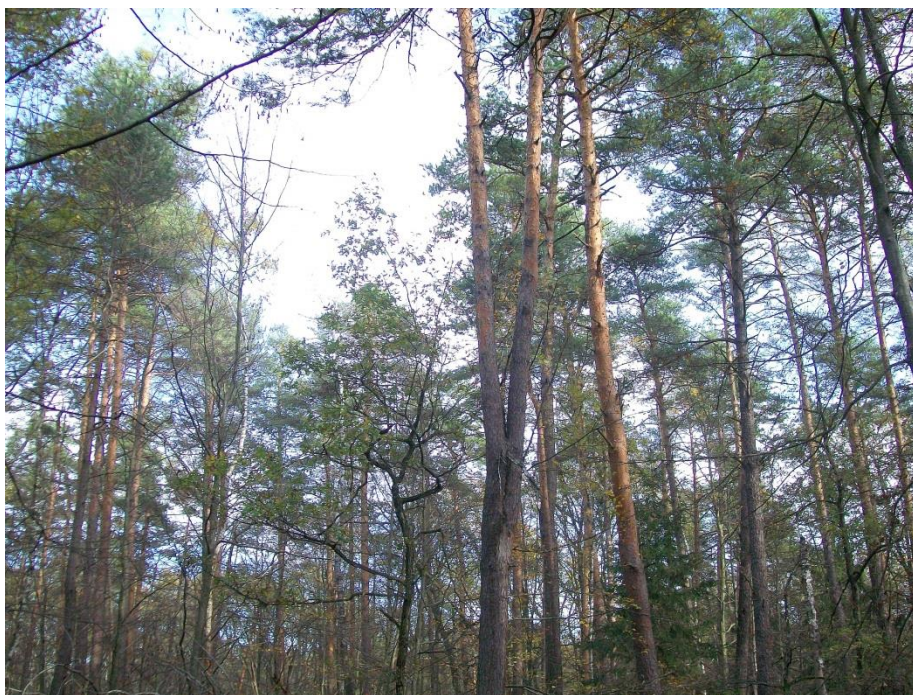
12. Magyarország, Őrség, Csörötnek

Csörötnek a Rába-völgy területén fekszik, a Rába folyó két partján, az Őrség kapujában. Természeti adottságait tekintve Csörötnek változatos domborzattal rendelkezik. A Rába-völgy árkos süllyedékében keletkezett aszimmetrikus eróziós teraszos völgy. Az ártéri szintek erősen szabdaltak, felszínük vízfolyásokban igen gazdag. Csörötnek környezetének átlagos tengerszint feletti magassága 209 méter. Tömör alapkőzetet sehol sem találunk, mindenütt törmelékes üledékes kőzetek a talajképzők. Ez leggyakrabban agyag és folyami kavics, kisebb területen homok (Keresztesi, 1971). A talajok általában mészmentesek, réti öntéstalajok és a dombvonulatokon agyagbemosódásos barna erdőtalajok jellemzik. A térség éghajlata átmenetet képez a Dunántúl és az Alpok között, a hűvös éghajlat és a magas csapadékmennyiség miatt igen nagy a relatív páratartalom. Így alakult ki a kedvező ún. dealpin klíma. Az évi csapadék átlaga 750-800 milliméter körül alakul, emiatt forrásokban, vízfolyásokban gazdag a terület. Az őrségi mészkerülő erdeifenyő-állományok az országban minőségileg a legjobbakkak mondhatók. Leginkább a hagyományos, mai szemmel túlzott intenzitású használat kedvezett terjedésüknek (Bodnár, 2006). Jellemző növényei a

körtikefélék (*Orthilia secunda*, *Moneses uniflora* és a *Chimaphila umbellata*), a korpafűfajok (*Lycopodium clavatum* és *Diphasium complanatum*), valamint a ritka páfrányok (*Thelypteris limbosperma*, *Dryopteris dilatata*, *Blechnum spicant*) és az ugyancsak ritka korhadéklakó avarvirág (*Goodyera repens*) (Hortobágyi és Simon, 1981; Haraszthy, 2014).

13. Magyarország, Szalafői őserdő

A szalafői Őserdő 1978-tól az Őrségi Tájvédelmi Körzet, 2002-től az Őrségi Nemzeti Park része. Tengerszint feletti magassága 312 és 326 méter közötti. A szalafői őserdő egy különböző korú fákból álló növénytakaró, mely 1950 óta érintetlenül áll. A kutatók folyamatosan figyelemmel kísérik az impozáns növény- és állatvilágot, melyen belül 42 védett növényfaj és számos nemzetközileg védett állatfaj is megtalálható. A szalafői erdőrezervátumban az 1920-as évek elején a terület egy jelentős részét még szántóként művelték. A művelés felhagyása után a terület spontán beerdősült nyírral, rezgő-nyárral, erdeifenyővel. Löss, agyag és kavics keverékén kialakult talaja savanyú és tápanyagszegény pszeudoglejes barna erdőtalaj illetve agyagbemosódásos barna erdőtalaj. A rezervátumban Őrségi viszonylatban igen magas a holtfa aránya. A sok csapadéknak és a magas páratartalomnak köszönhetően az erdők alja különféle gombákban rendkívül gazdag. A jól ismert gombafajok mellett igazi ritkaságok, az Alpokra jellemző nedű- és csigagombák, a korallgomba (*Ramaria flava*), és a csillaggomba (*Geastrum fimbriatum*) (14. ábra).



14. ábra: A szalafői őserdőben található *Pinus sylvestris* populáció (Fotó: a Szerző saját felvétele)

14. Bulgária, Yundola

A Yundola melletti populáció egy borális jellegű, hegyvidéki erdőtársulás, 1500 m tengerszint feletti magasságban. A zárt erdeifenyő állomány itt savanyú talajon nő, a fejletlen gyepszint szegényes, mert a záródó lombkorona kevés fényt enged a talajfelszínre. Karakterében ez az élőhely leginkább hasonlít az északi areán kialakult tajga erdőtípusokhoz.

15. Spanyolország, Parque Natural Redes

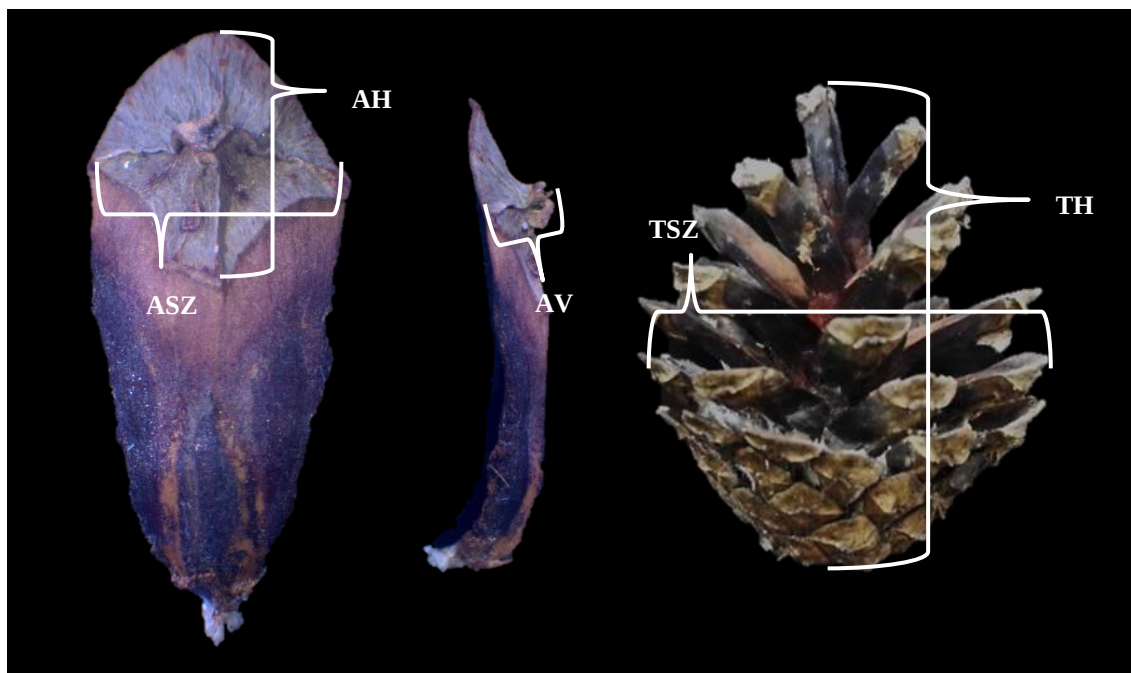
A Redes Natural Park (Parque Natural de Redes) Észak-Spanyolországban, a hegyi mediterrán zónában található. 1996 óta Nemzeti Park és 2001 óta Bioszféra Rezervátum. A terület tengerszint feletti magassága 1250 méter körül alakul. Az erdeifenyves csejesszintjében mediterrán cserjék dominálnak mint a *Buxus sempervirens*, *Ilex aquifolium*, *Echinopartium horridum*. A mediterrán örökzöld cserjesszint mellett az erdőszélen tömegesen fordul elő az *Arctostaphylos uva-ursi*, boreális elterjedésű faj is (15. ábra). A mintákat Dr. Pócs Tamás gyűjtötte, aki felhívta a figyelmünket ezen déli elterjedésű erdeifenyves élőhely különlegességére.



15. ábra: A spanyolországi Redes Nemzeti Park *Pinus sylvestris* populációja (Fotó: Pócs Tamás)

3.2. Morfometriai és anatómiai mérések, laboratóriumi munkák

A tobozmorfológiai vizsgálatokhoz a Növényteni Tanszék munkatársaival felkerestük a vizsgált élőhelyeket. Lehetőségem adódott jelen lenni a nyugat-magyarországi állományok tobozainak begyűjtésénél. A kutatást összesen 15 populáción, 482 tobozon végeztük, populációnként 30-40 mintát gyűjtöttünk a földről, de kisebb populáció esetén is minimum 20 darabot. A tobozok érettek, maximum 1-2 évesek voltak. A tobozokat begyűjtést követően 30-40 °C – on kiszárítottuk, ezután lezárt műanyag tasakban légmentesen tároltuk. A tobozokon 7 mért paramétert vizsgáltunk: ezek a toboz hosszúsága, a toboz szélessége, az apofízis hosszúsága, az apofízis szélessége, az apofízis vastagsága (16. ábra), a pikkelylevelek száma, valamint a toboz száraztömege. A paraméterek kiértékelésénél aránypárokkal is dolgoztunk: apofízis hosszúsága/szélessége, apofízis hosszúsága / vastagsága, toboz hosszúsága / szélessége, pikkelylevelek száma / toboz hosszúsága.



16. ábra: Az erdeifenyőn mért tobozparaméterek

A tűlevélanatómiai vizsgálatoknál a *Pinus sylvestris* tűlevelek keresztmetszeti képét vizsgáltam. A diploxylon szerkezetű fenyőtű metszését a Budapesti Corvinus Egyetem Növényteni Tanszék laboratóriumában végeztem 2014-ben, Ernst Leitz Wetzlar típusú kompresszoros fagyasztó mikrotommal (17. ábra). Ennek az eszköznek az előnye, hogy beágyazás nélkül, tehát természetes állapotban őrzi meg a szöveteket, illetve hogy a fagyasztás hőmérsékletét nagy skálán lehet változtatni, aszerint hogy milyen keménységű

szövet metszését végezzük (Verzárné, 1979). A vizsgálatokat eddig négy populáció túlevelein végeztem el. Ezek a következők: Szlovákia, Medzi bormi tőzegláp, Szlovákia, a Vág völgyében lévő Liptovsky hradok sziklai populáció, Románia, a Poiana Stampei nagy kiterjedésű tőzegláp, Magyarország, Fenyőfői homoki erdeifenyves. A vizsgált populációkból véletlenszerűen 5 egyedet választottunk ki és egyedenként 5 túlevelet metszettem, így összesen 100 túlevél metszése történt meg. A begyűjtött túleveleket a metszésig fagyasztószekrényben, lezárt műanyag tasakban tároltuk. A keresztmetszeteket átvilágításos fénymikroszkópon (Olympus CX21) vizsgáltam meg.

A metszési munkálatok során felhasznált eszközök:

- Ernst Leitz Wetzlar típusú fagyasztó mikrotom (17. ábra)
- üvegtál
- ecset
- penge
- szűrőtégely
- szűrőpapír
- tárgylemez
- fedőlemez
- ragasztó
- Toluidin kék festék
- glicerín

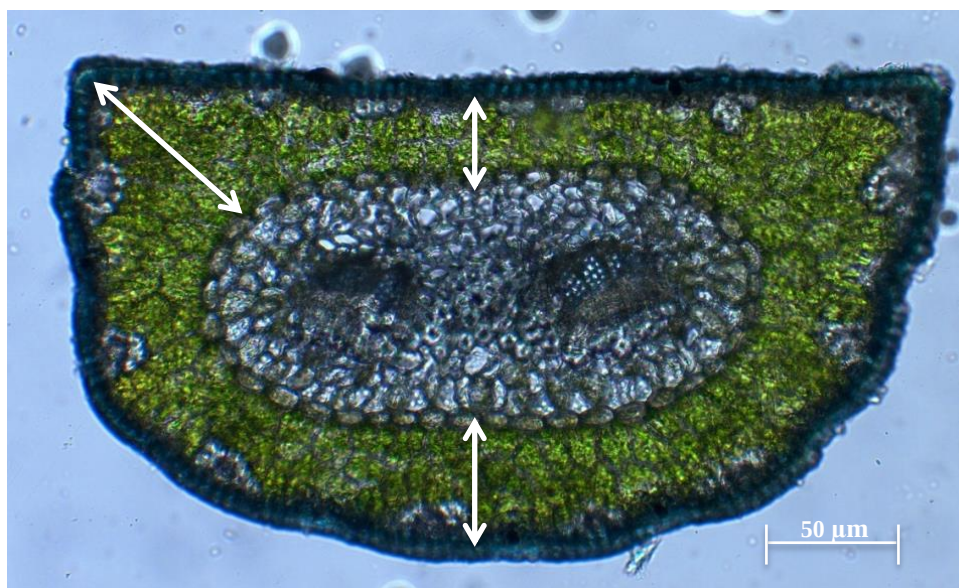
A metszetkészítés menete:

A túlevelek középső részéből 2-3 mm-es darabokat éles pengével kivágtam, majd ezeket a szeleteket függőleges állásban ráhelyeztem a mikrotom fagyasztóasztalára. Ezután vízcseppekkel körbeágyaztam, amelyek a $-15-20^{\circ}\text{C}$ -os hideg hatására megfagytak, és így egy szilárd, kemény közeget kaptam. A metszés során különböző μm vastagságú metszeteket készítettem, amelyeket a metszés során vízzel teli üvegtálba tároltam. Ezt követően egy kicsi szűrőtégely segítségével átszűrtem a metszeteket, majd következő lépésként megfestettem őket, Toluidin kék festékkel. A festés ideje hozzávetőleg 10 perc volt. Ezután 10%-os sósavas vízben, majd tiszta vízben átmostam őket. A tárgylemezre 1-2 csepp vizes glicerint csepegtettem, amibe 7-8 darab metszetet belehelyeztem, majd óvatosan lefedtem egy fedőlemezzel. Végül ragasztóval lezártam a fedőlemez szélét és néhány napig száradni hagytam.



17. ábra: Ernst Leitz Wetzlar típusú fagyasztó mikrotom képe (Fotó: a Szerző saját felvétele)

A tűlevél keresztmetszeteiken 4 paramétert vizsgáltunk: a gyantajáratok számát, a karos paliszád sejtsorokat a domború és homorú oldalon, valamint a tűlevél domború és homorú oldalának találkozási szögletében (18. ábra). A korábbi szakirodalomban inkább a tűlevelek hosszát és szélességét mérték, a gyantajáratok és a gázcserenyílások számát határozták meg. Mivel mi a mintákat fagyasztóban tároljuk és ennek következtében kiszáradás, zsugorodás léphet fel, a mezofillum sejtsorokat számoltuk meg a szövet szélességének mérése helyett.



18. ábra: A Poiana Stampei tőzeglápból származó *Pinus sylvestris* tűlevelének keresztmetszeti képe

A vizsgálatok során felhasznált statisztikai módszerek

A vizsgálatokat IBM SPSS Statistics 2.0 statisztikai szoftver segítségével végeztük el. A statisztikai elemzés során egy- és többváltozós statisztikai módszereket egyaránt alkalmaztunk. Az egyes populációk változóinak átlagát és szórását leíró statisztikai (descriptives, basic statistic) módszerrel számítottuk ki, majd a kapott adatokból oszlopdiagramokat készítettünk. Az oszlopdiagramokon a szórást (standard deviation) és az ANOVA módszerrel számított szignifikáns eltéréseket tüntettük fel.

Az egyedek csoportosításához hierarchikus klaszteranalízist (többszintű / többváltozós csoportelemzést) alkalmaztunk. A csoportanalízis a statisztikai átlagok alapján számol, mi a legközelebbi szomszéd (Nearest neighbor) elvén alapuló eljárást alkalmaztuk, amely két klaszter közötti távolságot a két legközelebbi elem távolsága alapján számolja ki. A klaszteralkotás lépéseit az úgynevezett dendrogramok ábrázolják szemléletesen (Kerékgyártó és mts, 2008).

A mért és számított változók (aránpárok) korrelációs kapcsolatelemzéséhez kétváltozós (bivariate) korrelációelemzést végeztünk. A korrelációelemzést azért végeztük, hogy megállapítsuk van-e összefüggés két vizsgált paraméter között. Korrelációnak nevezzük a mennyiségi ismérvek közötti sztochasztikus kapcsolatot. A számítás a vizsgált tényezők közötti kapcsolat erősségét, intenzitását jellemzi (Korpás, 1996).

Az élőhelyek, populációk közötti szignifikáns eltérések felfedezésére egy szempontos variancia analízist (One –way ANOVA) készítettünk, azon belül Post Hoc Testet futattunk és Duncan féle csoportosítást (Duncan test) tanulmányoztunk. Ez a módszer számos, egyező szórású, normál eloszlású csoport átlagának összevetésére alkalmas statisztikai módszer. Eltérő módon lerögzített varianciák segítségével viszonyítja egymáshoz a populációk különböző középértékeit. Adott vizsgálat során előálló teljes adatmennyiség, mint alaphalmaz össz-szórását, konkrétan, összvarianciáját analizálja és a fennálló ingadozás okára keresi a választ. Annak a tisztázását segíti, hogy a fentebb említett szórásbeli eltérések mögött a véletlen vagy egy másik magyarázó tényező hatása bújik-e meg. Ilyen tényezőnek tekinthető adott populáción belüli csoportok átlagai közti eltérés. (Kerékgyártó és mts, 2008).

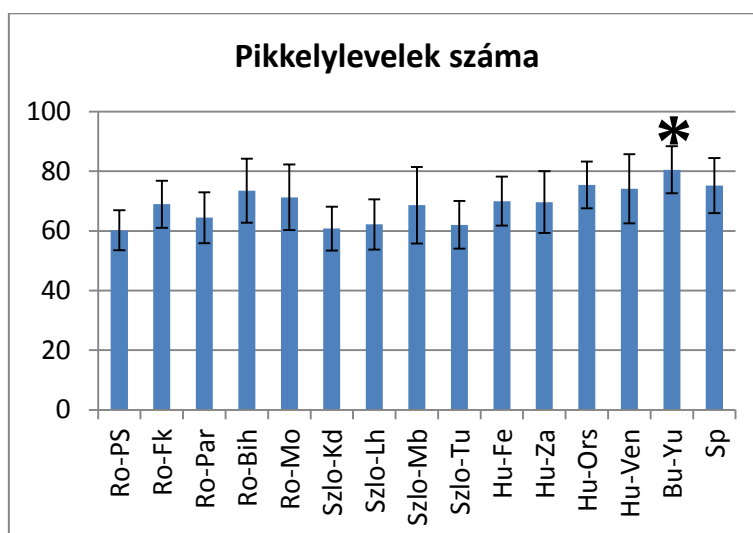
4. EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE

4.1. Tobozmorfológiai eredmények

A következőkben csak azokat az eredményeket szeretném ismertetni, amelyeknél szignifikáns különbségeket tapasztaltunk a vizsgált populációk között.

Pikkelylevelek száma

A vizsgált 15 populáció (1. táblázat) közül átlagot tekintve a legkevesebb termőlevelet a romániai Poiana Stampei populációnál számoltunk (60 db), a legtöbbet a bulgáriai állománynál (81 db), de nagy szórást is tapasztaltunk. Az összes populációt nézve a Bulgária-Yundola élőhely szignifikánsan eltért a többitől, ezt a 19. ábra mutatja. Országokkénti összehasonlításban az állományok között nem volt szignifikáns különbség, viszont a szlovákiai élőhelyek közül a Medzi bormi tőzezlápban szignifikánsan magasabb volt a pikkelylevelek száma. Magyarországon illetve Románián belül egyik élőhely sem különült el szignifikánsan. Külön összehasonlítottuk a tőzezlápokat és a sziklai élőhelyeket is, de a két különböző élőhely típus között nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget. A lápi állományok közül egyedül a Poiana Stampei populáció tért el, míg a sziklaiak közül a Bihar-hegységben található erdeifenyves bizonyult eltérőnek.

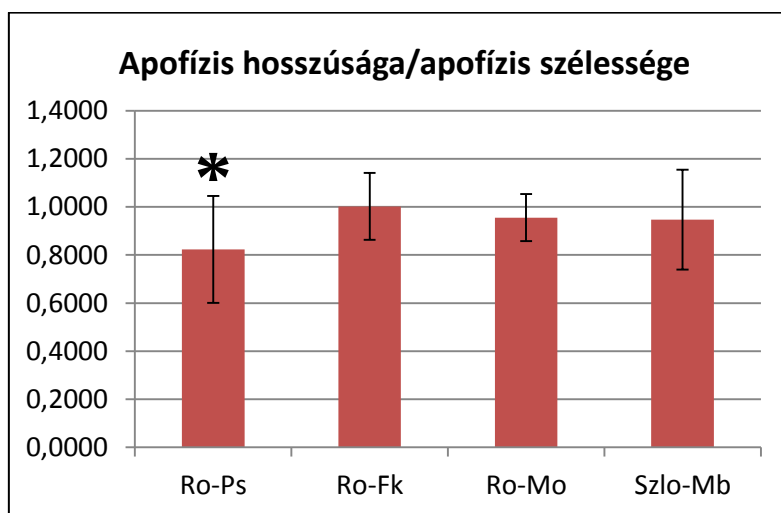


19. ábra: A pikkelylevelek számának változása az egyes erdeifenyő populációknál,

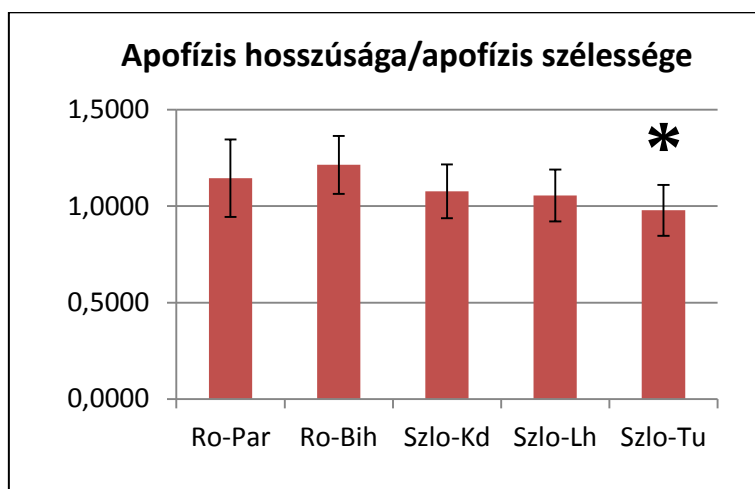
(* = az eltérés szignifikáns ($p < 0.05$) szinten)

Apofízis hosszúsága / szélessége aránypár

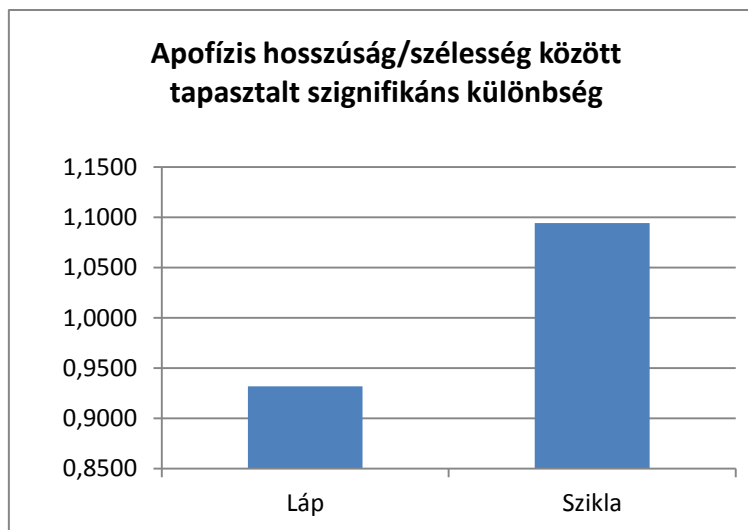
Az apofízis hosszúságából és szélességéből számolt aránypárnál, a legkisebb átlagarányt a Poiana Stampei populációnál (0,82 mm) számoltunk, a legnagyobbat a romániai Bihar-hegységi állománynál (1,21 mm). Ha az összes élőhelyet nézzük, egyik populáció sem különül el szignifikánsan viszont, ha csak Romániát nézzük ott Poiana Stampei szignifikánsan eltér a többtől. Magyarországon belül a fenyőfői állomány tér el szignifikánsan a többtől. Itt is megvizsgáltuk, hogy van-e szignifikáns eltérés lápi és sziklai élőhely között, és az eredmény az volt, hogy igen, az apofízis méretét tekintve szignifikáns eltérés mutatkozik a lápi és sziklai élőhelyek között (22. ábra). A tűzeglápok közül a romániai Poiana Stampei populáció (20. ábra), a sziklaiak közül a szlovákiai Turková populáció különült el szignifikánsan (21. ábra).



20. ábra: A vizsgált erdeifenyő populációk ah/asz aránypár változásának oszlopdiagramja a lápi élőhelyeken. (* = az eltérés szignifikáns ($p < 0.05$) szinten)



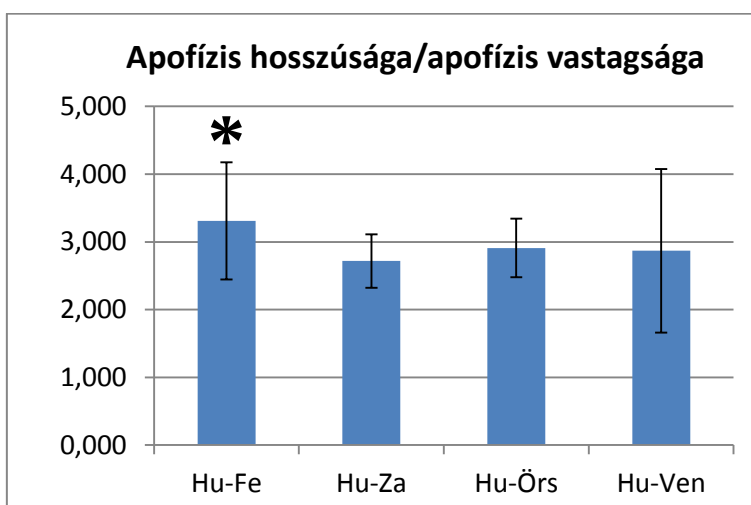
21. ábra: A vizsgált erdeifenyő populációk ah/asz aránypár változásának oszlopdiagramja a sziklai élőhelyeken. (* = az eltérés szignifikáns ($p < 0.05$) szinten)



22. ábra: A lápi és sziklai erdeifenyő élőhelyek közötti különbség a toboz apofízis hosszúságának és szélességének arányát tekintve

Apofízis hosszúsága / vastagsága aránypár

Ennél az aránypárnál a legkisebb átlagarányt Románia-Fenyőkút állománynál mértünk (1,88 mm), a legnagyobb átlagot a bulgáriai állománynál (3,53). A vizsgált 15 populációt tekintve egyik sem különbözik szignifikánsan egymástól. Viszont, csak a romániaiak összehasonlításakor a legnyugatabbra elhelyezkedő fenyőkúti állomány szignifikánsan elkülönült. Magyarországon belül a fenyőfői állomány az, amelyik szignifikánsan eltér a többtől (23. ábra). Élőhelyek szerinti összehasonlításban ennél az aránypárnál is szignifikáns különbséget tapasztaltunk. A lápi élőhelyek vizsgálatánál kiderült, hogy a fenyőkúti populáció tér el szignifikánsan, míg a sziklai élőhelyek esetében egyik élőhely sem különült el.



23. ábra: Az erdeifenyő tobozok ah/av aránypár változása a magyarországi populációkon belül, Fenyőfő elkülönülésével. (* = az eltérés szignifikáns ($p < 0.05$) szinten)

A korreláció elemzés során kiderült, hogy a legtöbb vizsgált paraméter között erős korreláció figyelhető meg, a legerősebben a toboz hosszúsága és a toboz szélessége korrelál egymással (2. táblázat)

sztomeg	,280**	,265**	,160**	,181**	0,093	,166**	,123*	,156**	0,072	-0,033	-0,056	1
tfm	-,175**	-,144**	-,213**	-,168**	-0,024	,233**	-,104*	-0,008	-,147**	-,381**	1	-0,056
ahav	-0,009	0,009	-,108*	,334**	0	-,710**	0,011	,105*	,282**	1	-,381**	-0,033
ahasz	,134**	,320**	0,023	,668**	-,586**	0,082	-,200**	,154**	1	,282**	-,147**	0,072
thpsz	,571**	,387**	-,246**	,454**	,298**	,168**	,385**	1	,154**	,105*	-0,008	,156**
thtsz	,531**	-,109*	,221**	0,025	,301**	0,08	1	,385**	-,200**	0,011	-,104*	,123*
av	,308**	,289**	,192**	,258**	,153**	1	0,08	,168**	0,082	-,710**	,233**	,166**
asz	,331**	,165**	0,086	,188**	1	,153**	,301**	,298**	-,586**	0	-0,024	0,093
ah	,472**	,549**	,122**	1	,188**	,258**	0,025	,454**	,668**	,334**	-,168**	,181**
psz	,609**	,546**	1	,122**	0,086	,192**	,221**	-,246**	0,023	-,108*	-,213**	,160**
tsz	,775**	1	,546**	,549**	,165**	,289**	-,109*	,387**	,320**	0,009	-,144**	,265**
th	1	,775**	,609**	,472**	,331**	,308**	,531**	,571**	,134**	-0,009	-,175**	,280**
	th	tsz	psz	ah	asz	av	thtsz	thpsz	ahasz	ahav	tfm	sztomeg

* = az eltérés szignifikáns ($p < 0.05$) szinten

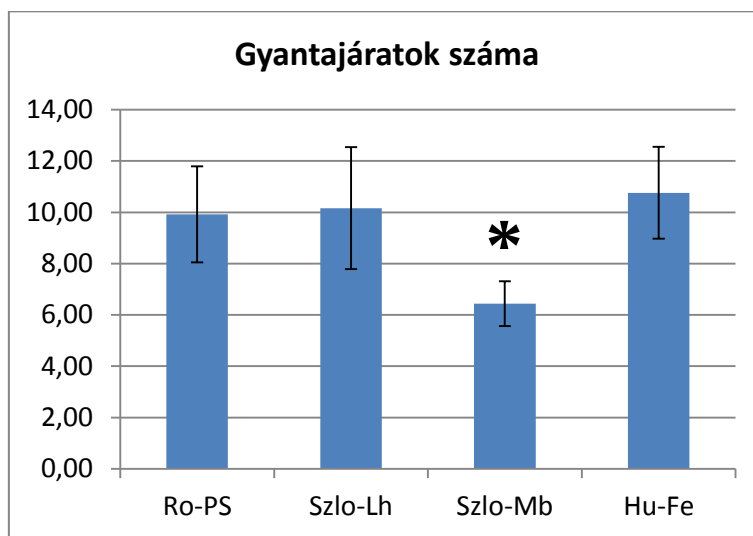
** = az eltérés szignifikáns ($p < 0.01$) szinten

2. táblázat: A vizsgált erdeifenyő tobozparaméterek közötti korreláció

4.2. Túlevél-anatómiai eredmények

Gyantajáratok száma

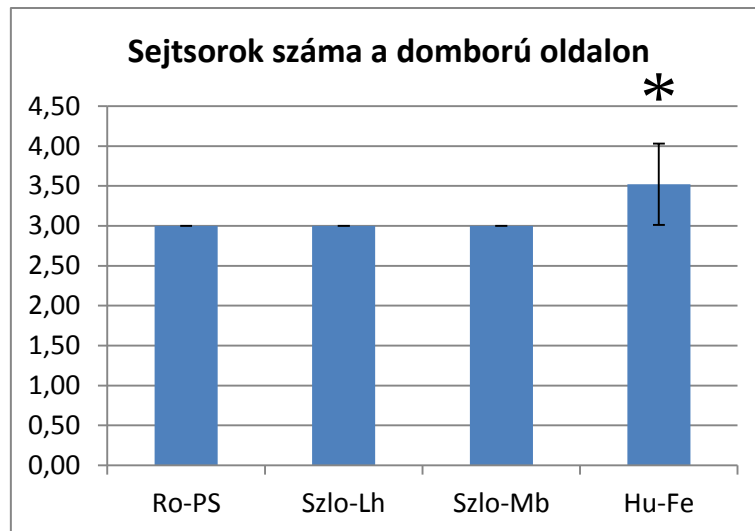
A vizsgált négy populáció közül a szlovákiai Medzi bormi láp egyedeinél a gyantajáratok száma szignifikánsan alacsonyabb volt (24. ábra), átlagosan 6,44. A legtöbb gyantajáratot a fenyőfői populáció fenyőtűinél számoltuk, átlagosan 10,76-ot.



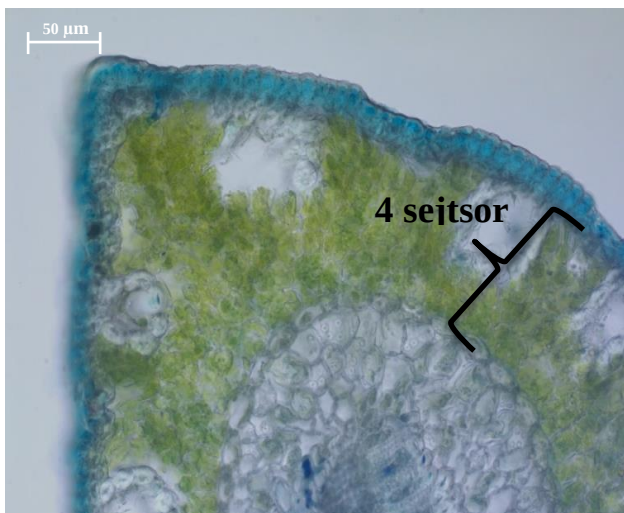
24. ábra: A tűlevelekben számolt gyantajáratok számának alakulása a vizsgált négy erdeifenyő populációnál. (* = az eltérés szignifikáns ($p < 0.05$) szinten)

A karos paliszád parenchima sejtek sorainak száma a tűlevél domború oldalán

A tűlevél domború oldalán azt figyeltük meg, hogy a magyar fenyőfői populáción kívül mindhárom vizsgált élőhelyen a karos paliszád sejtek sorainak száma három, szórás nincs. A fenyőfői populáció volt az egyetlen ahol több tűlevelel is négy sejtstort számoltunk, és statisztikailag is megmutatkozott, hogy a magyar populáció szignifikánsan eltérő (átlagosan 3,52) (25. ábra és 26. ábra).



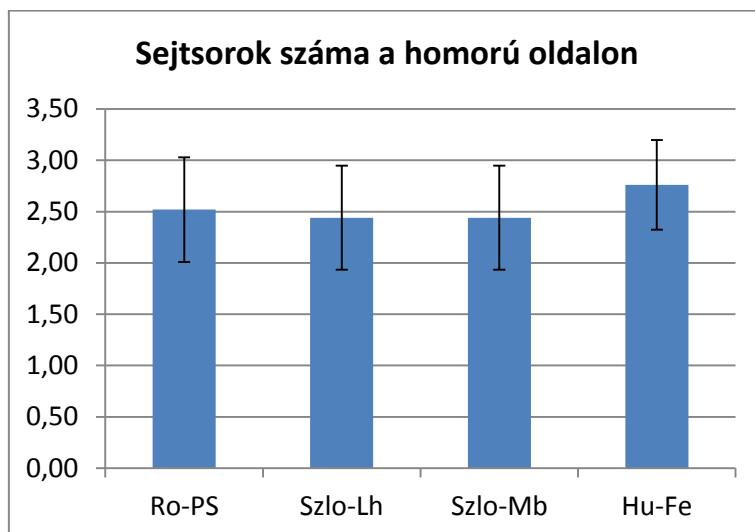
25. ábra: A karos paliszád sejtsorainak száma a vizsgált erdeifenyő állományok tűleveleiben a domború oldalon (* = az eltérés szignifikáns ($p < 0.05$) szinten)



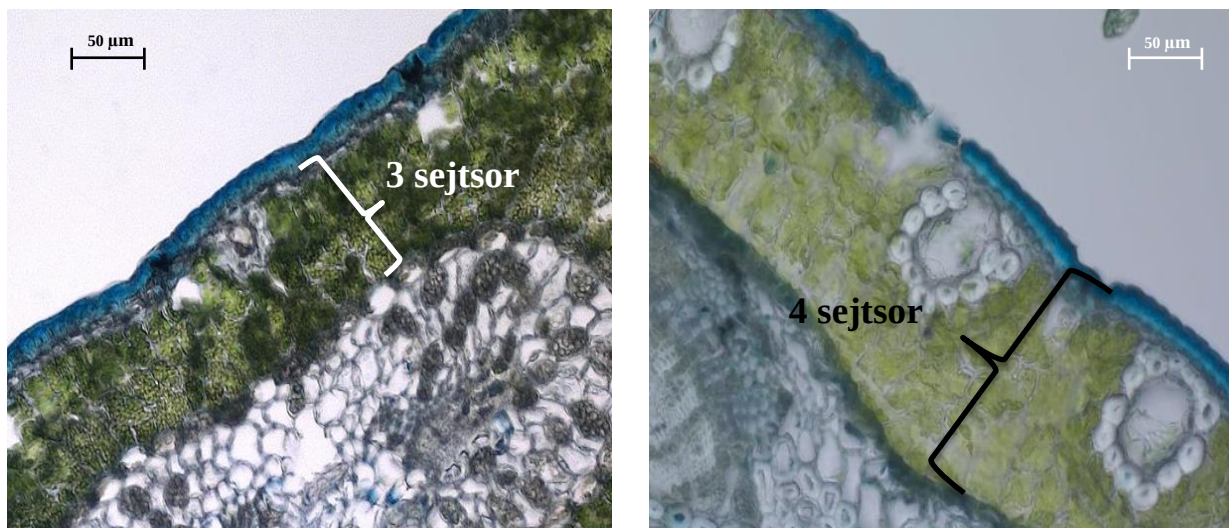
26. ábra: A *Pinus sylvestris* tűlevelének domború oldalán mért sejtsorok száma, bal oldalon a fenyőfői erdeifenyves tűlevél keresztmetszeti képe, jobb oldalon a Poiana Stampei erdeifenyő populáció tűlevél keresztmetszeti képe

A karos paliszád parenchima sejtek sorainak száma a tűlevél homorú oldalán

A tűlevél homorú oldalán mért karos paliszád sejtek sorainak száma nem mutatott nagy változatosságot, a sejtek 2-3 sorban álltak (28. ábra). Az átlag 2,44-2,76 között alakult, szignifikáns eltérést nem tapasztaltunk (27. ábra).



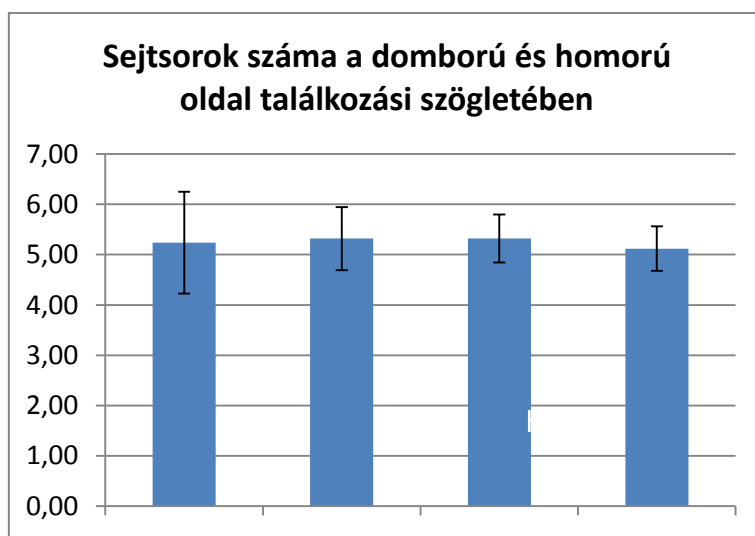
27. ábra: A karos paliszád sejtsorainak változása a *Pinus sylvestris* tűleveleinek domború oldalán



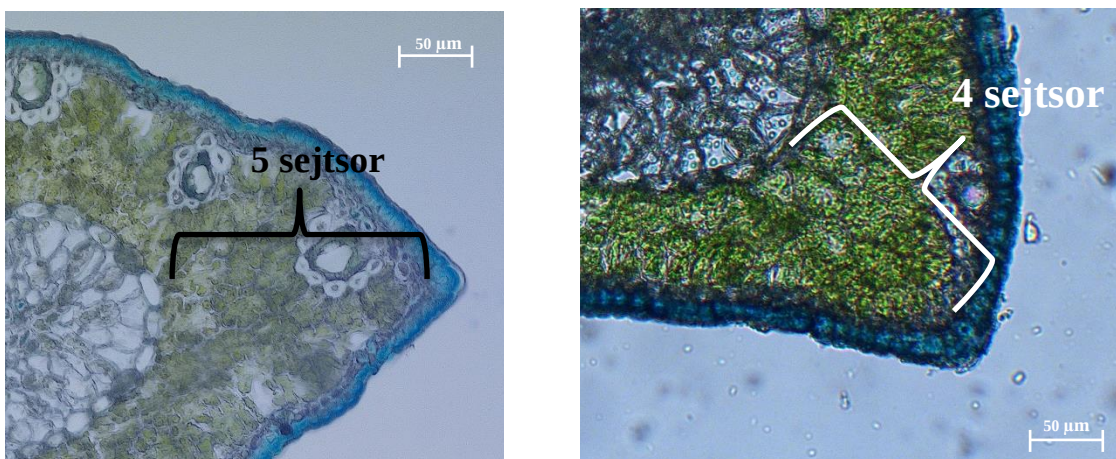
28. ábra: A *Pinus sylvestris* tűlevelének homorú oldalán mért sejtsorok száma, bal oldalon a Medzi bormi lárban található erdeifenyves tűlevél keresztmetszeti képe, jobb oldalon a fenyőfői populáció tűlevél keresztmetszeti képe

A karos paliszád parenchima sejtek száma a tűlevél domború és homorú oldalának találkozási szögletében

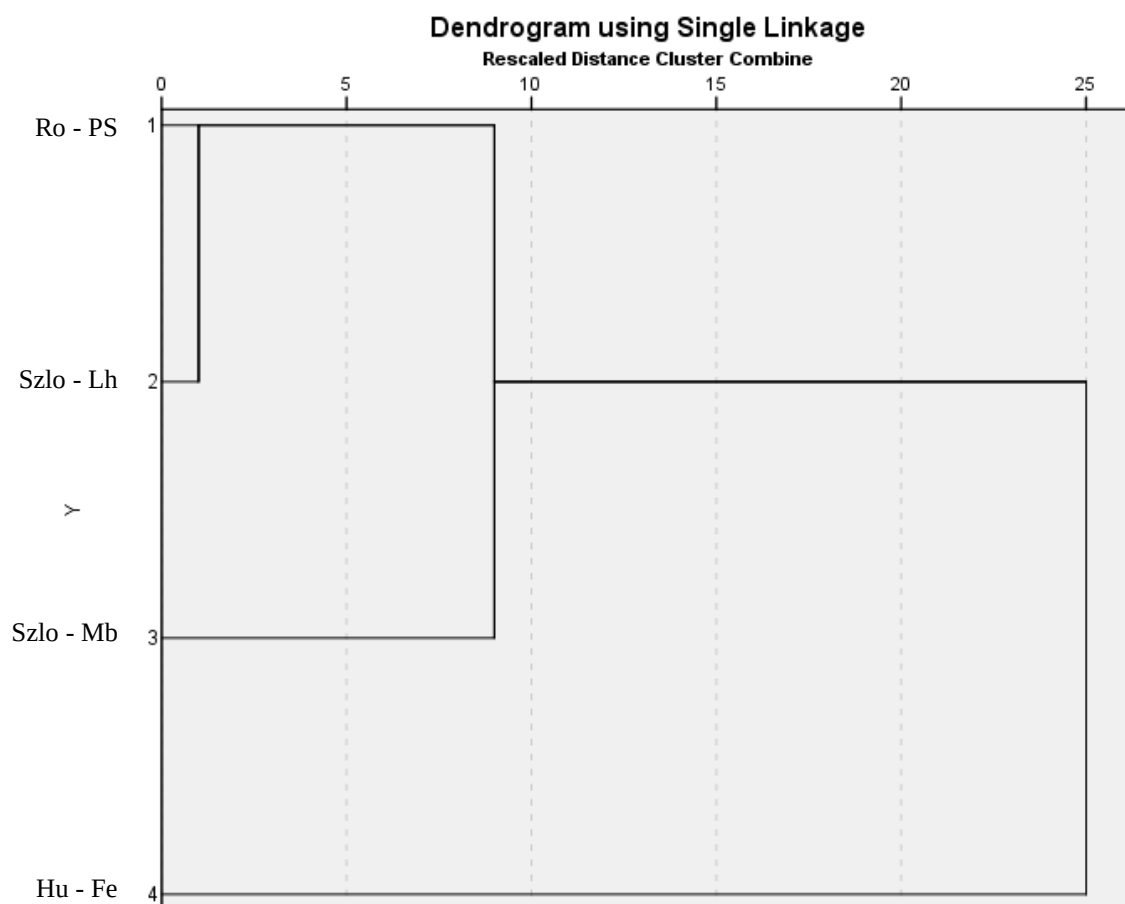
A tűlevél domború és homorú oldalának találkozási szögletében mért karos paliszád sejtek száma nem mutat nagy változatosságot, ahogy ezt a 29-es és 30-as ábrán láthatjuk. Átlagosan 5,12-5,32 között alakul a sejtsorszám, szignifikáns különbség nincs a négy vizsgált populációnál.



29. ábra: A karos paliszád sejtsorainak változása az erdeifenyő tűleveleinek domború és homorú oldalának találkozási szögletében



30. ábra: A *Pinus sylvestris* tűlevelének homorú és domború oldalának találkozásánál mért sejtsorok száma, bal oldalon a Liptovsky Hradokban található erdeifenyves tűlevél keresztmetszeti képe, jobb oldalon a Poiana Stampei populáció tűlevél keresztmetszeti képe



31. ábra Az erdeifenyő tűlevél-anatómiai paraméterek alapján a legközelebbi szomszéd (Nearest-neighbor) elvén készült csoportanalízis eredménye.

A négy változó statisztikai átlagai alapján számolt csoportanalízis eredménye a 31. ábrán látható. A fenyőfői populáció (Hu - Fe) a másik három állománytól teljesen elkülönül, független csoportot alkot.

5. ÉRTÉKELÉS, KÖVETKEZTETÉSEK

A tobozmorfológiai és tűlevél-anatómiai vizsgálatok, melyeknek a megtervezése korábbi irodalmak alapján történt, populációk közötti különbségekre hívta fel a figyelmet. Ezekből a különbségekből jól látható, hogy a Kárpát-medencében és környékén a természetes erdefenyő állományok morfológiailag nem homogének. A tobozpikkelyek számában, az apofízis méretében és a tűlevél-anatómiában is szignifikáns különbségeket tapasztaltunk.

Az apofízis a *Pinus* nemzetség markáns morfológiai bélyege, taxonómiai értékkel bír. Az erdefenyő apofízise nagy változatosságú, ezért a szignifikáns különbségek származási, taxonómiai, valamint eltérő biogeográfiai következtetésekre adnak lehetőséget. Emiatt az élőhelyek szerinti csoportosításban összehasonlítottuk a két szélsőséges élőhelytípus állományait, a lápiakat és a sziklaiakat.

Eredményeink szignifikáns különbséget mutattak minden apofízis paraméterben (apofízis hosszúsága/szélessége, apofízis hosszúsága/vastagsága) a két szélsőséges élőhely között, ezért egyértelműen megállapítható, hogy tobozmorfológiailag az eltérő élőhelytípusú állományok különböznek. (22. ábra) Országoként, tehát földrajzilag nem volt különbség, ezért is mondhatjuk, hogy az apofízis morfológiája élőhelyspecifikus. A lápi egyedek apofízise más, mint a sziklai élőhelyek apofízise, függetlenül attól, hogy milyen földrajzi térségből származnak a minták.

Érdekes módon, az élőhelyspecifikus eltéréseket kutatva kiderült, hogy a Kelemen havasok északi lábánál húzódó Poiana Stampei tűzegláp apofízise a lápi állományok között markánsan elkülönül, ami ezen reliktumnak tartott állomány elszigeteltségét bizonyíthatja (20. ábra). A sziklai populációk esetében a szlovákiai Turková tért el szignifikánsan a hasonló típusú élőhelyektől (21. ábra), ennek okát eddig megmagyarázni nem tudjuk, vélhetően más biogeográfiai múltú állományról lehet szó.

Az apofízis vizsgálatok arra is rámutattak, hogy Magyarországon belül, a két apofízis aránypárt tekintve a fenyőfői populáció szignifikánsan eltér a többi hazai állománytól.

A pikkelylevelek száma is nagy változatosságot mutatott a vizsgált 15 populációnál. A bulgáriai populáció tobozaiban szignifikánsan magas volt a pikkelylevelek száma (19. ábra). A többi állomány tobozpikkely száma 60 és 81 között változott, de közöttük nem mutatkozott szignifikáns különbség, tehát a pikkelylevelek száma nem tűnik élőhelyspecifikusnak.

A tűlevelek anatómiai változatossága elsősorban a gyantajáratok számában és a karos paliszád sejtsorainak számában volt szemléletes.

A vizsgálatok egyértelműen a fenyőfői homoki erdeifenyves elkülönülését mutatták, mely szerint a tűlevelek domború oldalán lévő paliszád sejtsorok miatt a tűlevelek vastagabbak, mint bármelyik másik vizsgált lápi vagy sziklai populáció tűlevele (25. ábra). Bár statisztikailag nem szignifikáns, de a homorú oldal sejtsorainak száma is magasabb volt a fenyőfői populáció esetében (27. ábra). Hasonlóan, a gyantajáratok száma is ebben a populációban volt a legmagasabb. Gencsi a gyantajáratok számát egységesen magasabbnak találta, tűlevelekként 15 gyantajáratot számolt (Gencsi in Majer, 1988). A mi eredményeink alapján a fenyőfői állomány tűlevél-anatómiai struktúrájában felfigyeltünk arra is, hogy a tűlevelek központi hengerében lévő transzfúziós szövetben a Toluidin kék festés hatására erőteljes elszíneződés mutatkozott, mely a sejtekben lévő beltartalmi eltérésekre is felhívja a figyelmet. Ennek további vizsgálatát tervezzük.

Összességében elmondható, hogy a fenyőfői őshonosnak tartott, de gyakran vitatott eredetű erdeifenyves állomány egyedeinél mind tobozmorfológiai mind tűlevél-anatómiai bélyegeken szignifikáns eltéréseket mutattunk ki, melyek alátámasztják ennek az állománynak az egyediségét és bizonyíthatják reliktum jellegű erdőssztyepp múltját.

Somogyi Gabriella recens molekuláris vizsgálatai igazolták, hogy a fenyőfői állományban élő fehér tollas szegfű a balti szegfűvek csoportjába tagozódik, annak egyik alfaja (*Dianthus arenarius subsp. borrusicus*) és genetikailag elkülönül a hazai bennszülött homoki fajunktól, a *Dianthus serotinus*-tól. Mindezek újabb bizonyítékok az erdeifenyő állomány őshonosságára, reliktum jellegére vonatkozóan (Somogyi, 2014).

ÖSSZEFOGLALÁS

Az erdeifenyő a Föld egyik legnagyobb elterjedésű nyitvatermő faja. A faj eurázsiai elterjedési területén a déli fennmaradt természetes állományok reliktumnak tekinthetők, a biodiverzitás szempontjából fontosak. A *Pinus sylvestris* hazai természetes populációi nem nagy kiterjedésűek, kiemelt jelentőségű közülük a fenyőfői állomány, melynek őshonosságára vonatkozóan ellentétes vélemények sora látott napvilágot.

Dolgozatom célja a hazai és közép-kelet-európai honos erdeifenyő populációk tobozmorfológiai és tűlevél-anatómiai összehasonlító értékelése és az élőhelyspecifikus állományok elkülöníthetősége morfometriai mérések alapján. A fenyőfői populáció feltételezett őshonosságának alátámasztása újabb, elsősorban korábbi szerzők által nem alkalmazott morfológiai bélyegekkel.

Vizsgálataimat a Budapesti Corvinus Egyetem Növénytani Tanszékén végeztem. A tobozmorfológiai vizsgálatokat 15 populáción, összesen 482 tobozon (30-40/populáció) végeztük, 11 paraméterrel dolgoztunk: a toboz hosszúsága, szélessége, ezek aránya; az apofízis hosszúsága, szélessége, ezek aránya; az apofízis vastagsága; az apofízis hosszúsága/vastagsága; a pikkelylevelek száma; a toboz száraztömege; toboz hosszúsága/pikkelylevelek száma. A tűlevél-anatómiai kutatást 4 populáción, összesen 100 tűlevél keresztmetszetén végeztük, 4 paramétert vizsgáltunk: a gyantajáratok számát, a karos paliszád sejtsorokat a fenyőtű domború és homorú oldalán, valamint a domború és homorú oldalak találkozási szögletében.

Az erdeifenyő apofízise olyan morfológiai bélyeg, melynek tanulmányozásával rámutathatunk származási, taxonómiai különbségekre, valamint eltérő biogeográfiai múltra is. Tobozmorfológiai eredményeink egyértelműen alátámasztják, hogy az apofízis méretében a két eltérő élőhelytípus, a sziklai és lápi élőhely között szignifikáns különbség van, tehát az apofízis morfológiája élőhelyspecifitást mutat, miközben független a földrajzi származástól.

A tűlevél-anatómiai vizsgálatok során megállapítottuk, hogy a fenyőfői populáció teljesen elkülönül a többi vizsgált állománytól. A fenyőfői tűlevelek karos paliszád sejtsorainak száma mind a domború, mind a homorú oldalon magasabb volt és a gyantajáratok száma is a vizsgált négy populáció közül a legmagasabbnak bizonyult.

Összességében elmondható, hogy a fenyőfői őshonosnak tartott, de gyakran vitatott eredetű erdeifenyves állomány egyedeinél mind tobozmorfológiai mind tűlevél-anatómiai bélyegekben szignifikáns eltéréseket mutattunk ki, melyek alátámasztják ennek az állománynak az egyediségét és bizonyíthatják reliktum jellegű erdőössztyepp múltját.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik segítettek, hogy ez a dolgozat sikeresen elkészüljön. Köszönöm tanszékvezető konzulensemnek, Dr. Höhn Mária egyetemi docensnek, konzulensemnek Tóth Endre Györgynek PhD hallgatónak, akik segítséget nyújtottak ebben a kutatásban. Köszönöm az értékes szakmai tanácsokat. Köszönettel tartozom Dr. Pócs Tamás akadémikus úrnak a spanyolországi mintákért, valamint a szakmai segítségéért. Továbbá köszönöm a Budapesti Corvinus Egyetem Növényteni tanszék összes dolgozójának a segítségét.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Androsiuk P., Kaczmarek Z., Urbaniak L. (2011): The morphological traits of needles as markers of geographical differentiation in European *Pinus sylvestris* populations. *Dendrobiology*. 65:3–16.
2. Androsiuk P., Urbaniak L. (2006): Differentiation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations in the Tatra Mountains based on needle morphological traits. *Biodiv. Res. Conserv.* 3-4: 227-231.
3. Bartha D. (1999): Magyarország fa- és cserjefajai. Mezőgazda Kiadó. p. 152-153.
4. Bennett K. D. (1984): The post-glacial history of *Pinus sylvestris* in the British Isles. *Quaternary Science reviews*. 3:133-155.
5. Bennett K. D. (1995): Post-glacial dynamics of pine (*Pinus sylvestris* L.) and pinewoods in Scotland. In: *Our Pinewood Heritage*. Aldhous J. R. (ed.) FC/RSPB/SNH, p. 23-39.
6. Bodnár L. (2006): Nemzeti parkok a Kárpát–medencében. Bodnár és Társa Geográfus Bt., p.116-258.
7. Bondor A. (szerk.), (1987): A fenyők termesztése és hasznosítása. Mezőgazdasági kiadó, Budapest p. 20-57.
8. Borhidi A. (2007): Magyarország növénytársulásai, Akadémiai Kiadó, Budapest
9. Bölöni J., Molnár Zs., Kun A. (szerk.) (2011): Magyarország élőhelyei, Vegetációtípusok leírása és határozója ÁNÉR 2011. MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete, Vácrátót p. 356-358.
10. Cheddadi R., Vendramin G. G., Litt t., Louis F., Kageyama M., Lorentz S., Laurent J-M., Beaulieu J-L., Sadori L., Lunt D. (2006): Imprints of glacial refugia in the modern genetic diversity of *Pinus sylvestris*. *Global Ecology and Biogeography*. 15:271–282.
11. Debreczy Zs., Rácz I., Musia K. (2011): Conifers around the world. Budapest. Dendropress. pp. 21-24.

12. Euforgen (2009): Distribution map of Scots pine (*Pinus sylvestris*) EUFORGEN 2009, www.euforgen.org. First published online on September 2004 - Updated on 24 July 2008.
13. Fekete G., Varga Z. (szerk.) (2006): Magyarország tájainak növényzete és állatvilága. MTA Társadalomkutató Központ, Budapest, p. 215-227.
14. Ferenczi J. (2011): Természetes európai populációk és kultúr eredetű erdeifenyő taxonok összehasonlító diverzitás vizsgálata kloroplasztisz SSR markerek alapján. Diplomamunka kézirat. Budapesti Corvinus Egyetem.
15. Gencsi L., Vancsura R. (1992): Dendrológia. Mezőgazda kiadó, Budapest p. 147-151.
16. Haraszthy L. (szerk.) (2014): Natura 2000 fajok és élőhelyek Magyarországon. Pro Véres Közalapítvány, Csákvár p. 786-788.
17. Hortobágyi T., Simon T. (szerk.) (1981): Növényföldrajz, társulástan és ökológia. Tankönyvkiadó, Budapest p. 147-149.
18. Huttunen, A., Huttunen, R., Vasari, R., Panovska, H. & Bozilova, E. (1992): Late- glacial and Holocene history of flora and vegetation in the western Rhodopes mountains, Bulgaria. Acta Fennica, 142:1-23.
19. Járainé Komlódi M. (2000): A Kárpát medence növényzetének kialakulása. Tilia (szerk.: Bartha Dénes) Válogatott tanulmányok II. Sopron p. 5-60.
20. Kárpáti Z., Terpó A. (1968): Növényrendszertan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest p. 139.
21. Kaundun S., Lebreton P. (2010): Taxonomy and systematics of the genus *Pinus* based on morphological, biogeographical and biochemical characters. Plant Syst. Evol. 284: 1-15.
22. Kerékgyártó Györgyné, L. Balogh I., Sugár A., Szarvas B. (2008): Statisztikai módszerek és alkalmazásuk a gazdasági és társadalmi elemzésekben. AULA Kiadó Kft. p. 307.
23. Keresztesi B. (1971): Magyar Erdők. Akadémia Kiadó, Budapest p. 252-255.
24. Kopasz M. (szerk.) (1976): Védett természeti értékeink. Mezőgazda Kiadó, Budapest p. 109-110.

25. Korpás Attiláné (szerk.) (1996): Általános statisztika I. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest p. 124-126.
26. Majer A. (1968): Magyarország erdőtársulásai. Akadémia Kiadó, Budapest p. 137-328.
27. Majer A. (1988): Fenyves a Bakonyalján. Akadémiai Kiadó, Budapest p. 15-19.
28. Marcysiak K. (2006): Scots pine (*Pinaceae*) from the Crimea compared to the species variation in Europe on the basis of cone traits. *Phytologia Balcanica*, Sofia 12(2): 203-208.
29. Matías L., Jump A. S. (2012): Interactions between growth, demography and biotic interactions in determining species range limits in a warming world: the case of *Pinus sylvestris*. *Forest Ecology and Management* 282:10–22.
30. Mátyás Cs., (2002): Erdészeti-természetvédelmi genetika. Mezőgazdasági kiadó, Budapest p. 356-362
31. Pócs T. (1965): A magyarországi tűlevelű erdők cönológiai és ökológiai viszonyai. Természettudományi Múzeum Növénytár és Egri Tanárképző Főiskola. Kandidátusi értekezés.
32. Pócs T. (1981): Növényföldrajz. In: Hortobágy T., Simon T. (szerk.) Növényföldrajz, társulástan és ökológia. Tankönyvkiadó, Budapest, p. 25-166.
33. Pop E. (1960): Mlastinile de turba din Republica Populara Romana. Editura Acad. R.P.R.
34. Price R. A., Liston A., Strauss S.H. (1998): Phylogeny and systematics of *Pinus*. in Richardson, D.M. (ed.), *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press. p. 49-68
35. Richardson D. M. (Editor) (1998): *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge. p. 96-118.
36. Sárkány S., Szalai I. (1966): Növénysszervezettani gyakorlatok. Tankönyvkiadó, Budapest p. 288-290.

37. Schmidt G., Tóth I. (2006): Kertészeti dendrológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest p. 39-40.
38. Simon T., Seregélyes T. (2004): Növényismeret, a hazai növényvilág kis határozója. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest p. 82-83.
39. Somogyi G. (2014): A *Dianthus sect. Plumaria* (Opiz) Asch. et Graebn. közép-európai fajainak komplex molekuláris taxonómiai értékelése. Doktori értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem.
40. Soó R. (1973): *Pinus sylvestris* subsp. *pannonica* (Schott) Soó, Acta Bot. Acad. Sci. Hung. 18: 177
41. Staszkievicz J. (1961): Biometric studies on the cones of *Pinus sylvestris* L., growing in Hungary. Acta Botanica Hungarica, 7(3-4):451-461
42. Takács Z. (2006) : Az Osztrák-Magyar Monarchia írásban és képben. Hallgatói Információs Központ.
43. Tóth E., Pedryc A., Höhn, M. (2013): Morphological and molecular evaluation of native Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations from south-eastern Europe. Biogeography of the Carpathians Conference. Poland. Krakow. Acta Biologica Cracoviensia, Series Botanica. 55(1):70
44. Tóth E., Pedryc A., Höhn, M. (2014a): Diversity pattern of natural *Pinus sylvestris* L. populations from South-Western Hungary revealed by cpSSR markers. Horticulture in quality and culture of life conference. Czech Republic. Lednice. Abstracts. p. 64.
45. Tóth E., Pedryc A., Höhn, M. (2014b): Peremhelyzetű, közép-kelet európai erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) populációk genetikai variabilitásának értékelése mikroszatellit markerekkel. X. Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében. Sopron. Poszter összefoglalók.
46. Turna I., Güney D. (2009): Altitudinal variation of some morphological characters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Turkey. African Journal of Biotechnology. 8 (2): 202-208.
47. Verzárné P. G. (1979): Drogatlasz. Medicina Könyvkiadó, Budapest

48. Willis K. J., Bennett K. D., Birks. H.J.B., (1998): The late Quaternary dynamics of pines in Europe. In: Richardson, D.M. (ed.), Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 107–121.
49. Zólyomi B. (1952): Magyarország növénytakarójának fejlődéstörténete az utolsó jégkorszaktól. MTA Biol. Oszt. Közlem. 1: 491-530.