

Doktori értekezés

Árvai Mátyás



Budapest, 2019

Holtfaanyag évgyűrűvizsgálatával nyert információk környezettörténeti szempontú értelmezése egy hegyvidéki és egy alluviális lelőhely példáján

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

Árvai Mátyás

Témavezetők:

Dr. Nagy Balázs Ph.D., habil. egyetemi docens

Dr. Kern Zoltán Ph.D., tudományos főmunkatárs

Doktori Iskola:

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar

Földtudományi Doktori Iskola

Vezetője: Dr. Bartholy Judit D.Sc., egyetemi tanár

Doktori Program:

Földrajz-Meteorológia Doktori Program

Vezetője: Dr. Karátson Dávid D.Sc., egyetemi tanár

Kutatóhelyek:

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest – Természettudományi Kar, Földrajz és

Földtudományi Intézet, Természetföldrajzi Tanszék

Magyar Tudományos Akadémia, Budapest – Agrártudományi Kutatóközpont, Talajtani és

Agrokémiai Intézet

2019

„The trees composing the forest rejoice and lament with its successes and failures and carry year by year something of its story in their annual rings.”

Andrew E. Douglass

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	6
2. A dendrokronológia története, biológiai és módszertani alapjai.....	8
2.1.A tudományos igényű faévgyűrűvizsgálatok.....	8
2.2.Az évgyűrűk keletkezése.....	8
2.3.A fatest részei.....	10
2.4.Mintavétel.....	11
2.5.A dendrokronológia alapelvei.....	12
2.6.A dendrokronológia alkalmazásának korlátai.....	13
2.7.A holtfaanyag szerepe és jelentősége a dendrokronológiában és a környezettörténeti vizsgálatokban.....	14
3. Kutatási előzmények, kitekintéssel az európai dendrokronológia fejlődésére.....	17
3.1.Az európai dendrokronológia és kihívásai.....	17
3.2.A hazai évgyűrű kutatások.....	17
4. A dolgozat célkitűzései.....	19
5. Holtfaanyag dendrokronológiai elemzése és környezettörténeti célú értékelése szubalpin környezetből.....	20
5.1.A vizsgálat bemutatása.....	20
5.2.A terület elhelyezkedése és jellemzői.....	21
5.3.A tőzegláp, mint konzerválóhely.....	23
5.4.Módszerek.....	24
5.4.1. <i>A tőzegláp fűrásalapú medermodellezése.....</i>	<i>24</i>
5.4.2. <i>Mintagyűjtés, minta előkészítés és dendrokronológiai elemzés.....</i>	<i>26</i>
5.4.3. <i>Radikarbonos kormeghatározás.....</i>	<i>30</i>
5.5.Eredmények.....	31
5.5.1. <i>A fűrásadatok eredményei.....</i>	<i>31</i>
5.5.2. <i>Évgyűrűszélesség görbék szinkronizálása.....</i>	<i>34</i>
5.5.3. <i>Radiokarbonos kormeghatározás eredményei.....</i>	<i>35</i>
5.5.4. <i>Összehasonlítás a környékbeli mesterkronológiákkal.....</i>	<i>39</i>
5.6.Következtetések.....	41
5.6.1. <i>A faminták relatív sorrendje.....</i>	<i>41</i>
5.6.2. <i>Fagygyűrűk megjelenése a szubfosszilis mintákban.....</i>	<i>43</i>
5.6.3. <i>Környezetváltozások a mintaterületen.....</i>	<i>44</i>

6. Szubfosszilis uszadékfaanyag faanatómiai és dendrogeomorfológiai kiértékelése alluviális környezetből.....	50
6.1.A vizsgálat bemutatása és kutatási előzmények.....	50
6.2.A mintaterület és a mintavételezés jellemzői.....	52
6.3.A famaradványok üledékföldtani környezete.....	52
6.4.Módszerek.....	53
6.4.1. <i>Dendrokronológiai vizsgálatok.....</i>	53
6.4.2. <i>Faanatómiai vizsgálatok.....</i>	54
6.4.3. <i>UAV (Unmanned Aerial Vehicle) alapú nagy felbontású felszínmodell és ortofotó készítése.....</i>	54
6.5.Eredmények.....	55
6.5.1. <i>Dendrokronológiai eredmények.....</i>	55
6.5.2. <i>Faanatómiai eredmények.....</i>	57
6.5.3. <i>Az elmúlt évszázad folyásirány változásainak térképi megjelenése.....</i>	59
6.5.4. <i>Nagyfelbontású felszínmodell elemzésének az eredménye.....</i>	59
6.5.5. <i>Akkumulációs ráta számítás eredménye.....</i>	63
6.6.Következtetések.....	63
6.6.1. <i>A fafajösszetétel és megjelenési szintjeik.....</i>	63
6.6.2. <i>Dendrokronológiai értelmezés.....</i>	65
6.6.3. <i>Környezetváltozások a mintaterületen.....</i>	66
7. Összegzés.....	70
Köszönetnyilvánítás.....	71
Irodalomjegyzék.....	72
Ábrajegyzék.....	89
Képek jegyzéke.....	92
Táblázatjegyzék.....	92
Mellékletek jegyzéke.....	92
Mellékletek.....	96

1. BEVEZETÉS

A természeti környezet folyamatos változása és ahhoz való alkalmazkodás minden életforma legfontosabb alaptulajdonsága. A dinamikus változás és az élőlények adaptációs képessége határozza meg egy adott faj fennmaradási képességét. Legyen szó akár növényi, akár állati vagy emberi civilizációról minden esetben függenek az élőhely környezeti állapotától és annak természetes változásaitól. A legtöbb esetben a természetes környezeti változások legerősebb hajtóereje az éghajlat alakulása. A folyamatosan változó klíma évezredes időtávban nézve hatalmas változásokat okoz a földfelszínen valamint döntő befolyásoló tényezőként hat az élővilágra is. Leggyakrabban az éghajlati elemek változásából adódó hatások nem közvetlenül fejtik ki hatásukat az élőlényekre, hanem ok-okozati rendszerben. Gondolhatunk a sokszor citált középkori éhínségekre aszályos évek után, vagy a pusztító járványokra, amelyek erős összefüggésben vannak a kedvezőtlen klíma miatti legyengült élő szervezetek alacsony ellenálló képességével (RÁCZ 2008). Az emberi kultúra színterétől nem túl messzire eltávolodva, a civilizációt körülvevő természetes környezetben ugyancsak felfedezhetőek ezek a folyamatok. Az emberiség és a természet állandó kölcsönhatásban, kényes egyensúlyban lévő rendszer, amiben az alkalmazkodás a fennmaradás alapvető záloga. A klíma közvetett hatásait vizsgálhatjuk akár a vitalitásukat veszített bükk állományt megtámadó rovarkártevők szélesebb elterjedésében (SZAKÁCS 2012), vagy akár az extrém csapadékesemények miatti villámáradások gyors felszínalakító tevékenységében (SCHUMACHER 2017). A természetes lokális környezet változásai sok esetben megfigyelhetőek az ott kialakult növényzet válaszreakciói valamint a vegetáció állapota alapján. A vegetációra ható két legfontosabb éghajlati elem a hőmérséklet és a csapadék.

A Föld felszínére érkező napsugárzásból származó energia elosztását és annak szabályozását végző visszacsatolási mechanizmusok egyik fontos eleme a földi növényzet. A globális növényzeti zónák a térben a rendelkezésre álló „erőforrások” alapján alakultak ki, elterjedésüket a fentebb említett két éghajlati paraméter hozzáférhetősége limitálta. A Földre érkező energiamennyiség megváltozása okozta éghajlati zóna eltolódások, akár hatalmas módosulásokat is előidézhetnek a vegetációban, ezzel megindítva a környezet jelentékeny megváltozását. A nagyobb területre ható éghajlati változások mellett, lényeges lokális változásokat, térszín átrendeződéseket okozhatnak a klíma által indukált külső erők felszínalakító tevékenysége. A hidrológiai tényezők alakulása által akár évenkénti méretesebb változások mehetnek végbe a folyók futásában, kanyarulataik elmozdulásában, vándorlásaiban. Az állandó, vagy időszakos vízzel átjárt területeken tapasztalható leginkább a csapadék akár

menyiségi akár eloszlásában lezajló változás. A hőmérséklet, mint a másik fontos éghajlati elem, változásának egyik legalkalmasabb vizsgálati térszíne a hegységek régiója. A vízmenti, alacsonyabban fekvő területektől eltávolodva a magasabb tengerszintfeletti régiók valamivel zordabb klímájú területein leginkább a vegetáció összetételében és elterjedésében vizsgálható a környezet változása.

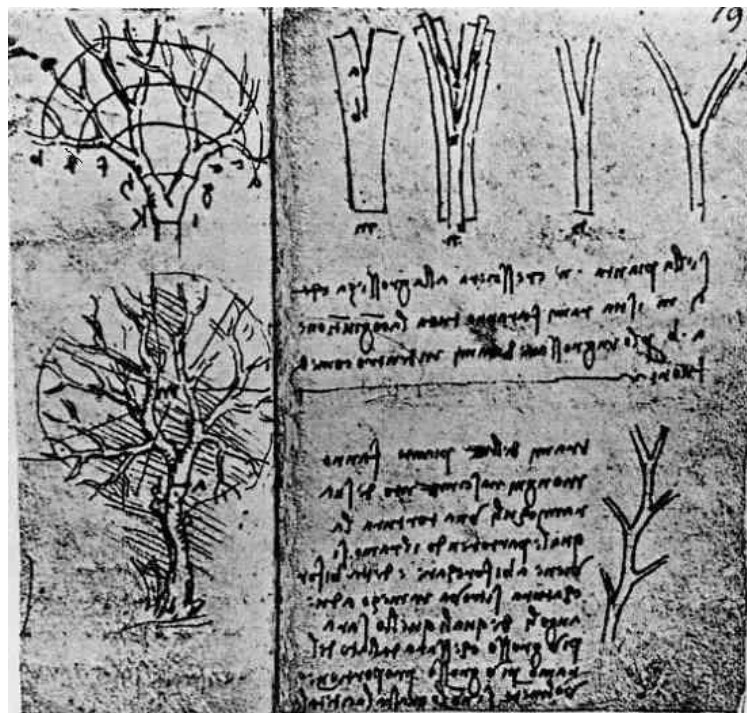
Véleményem szerint a civilizáció, valamint a társadalom fejlődési menetének megértéséhez elengedhetetlen az azt körülvevő természet folyamatainak vizsgálata, amely különválaszthatatlan kerete az emberi társadalmaknak. Az értekezésnek nem célja a komplex ember-természet rendszer vizsgálata, viszont igyekszik egy fontos elemét tudományos igényességgel elemezni.

A dolgozatban alkalmazott dendrokronológia módszertana, mint egy földtudományos kutatási eszköz jelenik meg. Fő kérdés az évgyűrűelemzések alkalmazása konkrét földtudományi vizsgálatokban. Az értekezés célja a kutatási eszközön keresztül, egy a földtudományi közösség számára érdekes elemzési séma, mint hazai tudományos újdonság, bemutatása, konkrét esettanulmányokon keresztül. Az elvégzett munka és az eredmények jelentőségének a világosabb érthetősége miatt, nagy módszertani keretbe helyezi azt, ahol az évgyűrűelemzések eszköztárának vannak alá rendelve a vizsgálatokat. A célkitűzések részletes bemutatását az 4-es fejezet taglalja.

2. A DENDROKRONOLÓGIA TÖRTÉNETE, BIOLÓGIAI ÉS MÓDSZERTANI ALAPJAI

2.1. A tudományos igényű faévgyűrűvizsgálatok

Félévezred távlatából is világhíres olasz polihisztor, Leonardo Da Vinci széles érdeklődési köréből természetesen a fák sem maradhattak ki. Az 500 évvel ezelőtti fennmaradt vázolatain, még a mai napig is igényesen mutatja be a növénybiológiai megfigyeléseit. A reneszánsz mester biológiai megfigyeléseiben elsőként ismerte fel a fák gyűrűinek az éves karakterét (SCHWEINGRUBER 1988). A fák keskeny évgyűrűit az aszályos évekkel hozta kapcsolatba, amikor is kisebb növekménnyel kell számolni, a vastagabb gyűrűk keletkezését a csapadékos vegetációs periódushoz kötötte, amikor relatív nagyobb növekményt képes produkálni a fa. Továbbgondolva, a mai *proxi* jellegű adatok alapötletét fogalmazta meg félezer évvel ezelőtt, de a technológia fejlettsége sokáig limitálta az ötlet tudományos kibontását. A faévgyűrűk szezonálisának a gondolata felé majd több mint 150 évvel később fordult újra a tudományos érdeklődés: először MALPIGHI (1675) majd GREW (1682) munkásságában (STUDHALTER 1955). Az 1. ábra prezentálja da Vinci vizsgálódásainak egy másik eredményét, miszerint egy vegetációs periódusban keletkező növekmény, azaz ágak, összvastagsága egyenlő a fa törzsének vastagságával.



1. ábra: Leonardo da Vinci 15. századi vázolata a fák évenkénti növekményéről, és az ágak átmérőiről (Forrás: *Trattato sulla Pittura, Parte sesta: Degli alberi e delle verdure; condotto sul Cod. Vaticano Urbinate 1270 – Értekezés a festészetéről, 6. fejezet: A fákról és zöldségekről; Vatikáni Könyvtár 1270-es kód; 1651*)

Hiába az olasz tudós részletes ábrázolásai, magyarázatot nem sikerült találnia a biológiai jelenségnek. Félézer évvel később, matematikai alapokon nyugvó vizsgálattal mutatták ki, hogy a Leonardo szabályként elhíresült jelenségre a magyarázat, a fák önazonos növekedése, amely a legjobb ellenállást nyújtja az erős szelekkel szemben (ELOY 2011).

A reneszánsz kor után a 18. és a 19. századi európai természettudósok és természetbúvárok feljegyzéseiben lehet felfedezni utalásokat a fák növekedése és az éghajlat kapcsolatára. Például Alexander Catlin Twining 1827-ben készített feljegyzéseket az évgyűrűkről és arról, hogy a fák gyűrűinek a szélessége és a klíma között összefüggés mutatható ki, valamint, hogy elképzelhető a gyűrűsorozatok megfeleltetése egymáshoz. A tudományos igényvel bíró faévgyűrű elemzés egészen a 20. század első feléig váratott magára. Andrew Ellicott Douglass, arizonai csillagász volt az első, akiben megfogalmazódott a kérdés, hogy a napfolttevékenység ciklikus múltbéli változását vizsgálni lehet-e a fák évgyűrűsorozatainak elemzésével? Élőfákból vett mintáit később régészeti faanyagokkal egészítette ki, és kronológiákat épített. Sikeresen kimutatta az összefüggést az évgyűrűsorozatok és a napfolttevékenység között és emellett lefektette a mai dendrokronológia módszertani alapjait (DOUGLASS 1919). 1929-ben már 700 évre visszamenő kronológiával rendelkezett, és a pontos klímátörténeti adatok segítségével számos történelmi esemény kiváltó okát tudta magyarázni (pl.: pueblo-indiánok elvándorlását) (STOKES & SMILEY 1996). 1937-ben alapította meg az Arizoniai Egyetemen az Évgyűrű Vizsgáló Laboratóriumot és ezzel kezdetét vette a tudományos alapokon nyugvó dendrokronológia, mint diszciplína.

Az évgyűrű kronológia építés alapját az a felismerés adta, hogy az egymás közelébe növekvő fákat hasonló hatások érik, így hasonló évgyűrűmintázatok jönnek létre. A dendrokronológia módszerének alapja a fásszárú növények ciklikus növekedése. Az évszakos ciklikusság azt jelenti, hogy a növekedési időszakot egy nyugalmi periódus követ. A mérsékelt övezet területein a tél elmúltával és a vegetációs időszak kezdetével a fák és cserjék növekedésnek indulnak. A nyár folyamán növekedésük lelassul és tavasszal a hirtelen nőtt részek megszilárdulása történik. Ez a két eltérő növekedés eredményezi az évgyűrűt, amely két részből áll: a növekedés megindulásával egy világosabb úgynevezett korai pászta alakul ki, míg az év derekán végbemenő szilárdító növekedés adja a sötétebb késői pászttát (KÁZMÉR 2003).

2.2. Az évgyűrűk keletkezése

A fákban az osztódó sejteket nevezzük merisztéma sejteknek, melyek legfontosabb tulajdonsága a folytonos megújulási képességgel rendelkező osztódás. A csúcsmerisztéma az ágak hosszabbodásáért, a gyökerek és a magasságbeli növekedésért felelős. A sugárirányú

növekedés, azaz az évgyűrű képződése, a laterális merisztémák aktivitásához köthető (HARASZTHY 1968).

A fatest legjellegzetesebb egysége, amely minden részében megjelenik a törzsnek az évgyűrű. Évgyűrűk elsősorban a mérsékelt, és egyes esetekben a hideg égvői fákra jellemzőek, ugyanis kialakulásuk a kambium – azaz az osztódószövet – szakaszos évszakos működésének az eredménye. A sejtosztódás a kambiumban történik, amely egy vékony réteggént található a fakéreg és a fatest határán. A kéreg felé a floém képződik, melynek feladata a tápanyagok szállítása. A sejtosztódás közben a fatest (xilém) sejtjei differenciálódnak a fa belseje felé, melynek feladata a fa támasztása. A téli, nyugalmi időszakban a kambium működése leáll, így a növekedés is. Működése újraindul a tenyészidőszak korai szakaszán, amikor is az újonnan kialakuló lombkorona, vagy tűlevelűek esetében az új hajtások, nagymértékű vízigénye miatt ritkább, de nagyméretű szállítóedények keletkeznek. Ezen edények átmérője tekintélyesebb például a tölgyek, mint a nyitvatermők sejtrácsát alkotó vízszállító tracheidák esetében (BUTTERFIELD ET AL. 1997). Ezek biztosítják a növekedés kezdetén a megfelelő mennyiségű vizet a megújuló lombzat fejlődéséhez. A víz szállításának pumpája a transzspiráció, amely a levélen lévő gázcserenyílások (sztóma) segítségével történik (SPEER 2010). A növekedési periódus későbbi, nyári szakaszán sűrű, kisebb üregű és vastagabb falú szilárdító elemek jönnek létre, amelyek az éves növekménnyel gyarapodott fatest biztos szilárdítását adják. Az így kialakult komponenseket pásztáknak nevezzük, és attól függően, hogy a tenyészidőszak mely időszakában képződtek, korai (tavaszi) vagy kései (nyári) pásztának nevezzük. Pászták mind tűlevelű, mind pedig lombhullató fáknál kialakulnak, de a sejtszerkezet mintázata határozza meg, hogy a kései és a korai pászta közötti határvonalat, azaz az évgyűrűhatárt, mennyire egyértelműen lehet detektálni.

A korai és kései pászta részaránya az évgyűrűn belül fajonként eltérő és a fatest mechanikai tulajdonságait alapvetően befolyásolja. Gyűrűslikacsú fáknál a kései pászta aránya jellemzően magas (pl. tölgy 65%) (MOLNÁR & BARISKA 2002), melynek köszönhetően jóval szilárdabbak is. További különbség a fenyők és a lombos fák között, hogy míg előbbi csoportnak kései, utóbbinak korai pásztamérete közel állandó. Ebből adódóan a keletkező évgyűrű szélességét fenyők esetében elsősorban a korai, míg lombos fák esetében a kései pászta mérete határozza meg (BUTTERFIELD ET AL. 1997).

2.3. A fatest részei

Az évgyűrűvizsgálatok eredményeinek a kiértékelésénél sok esetben döntő szerepet kaphat a faminta fajmeghatározása vagy éppen a sejtszerkezeti anomáliák detektálása. A több egységből felépülő fatest szerkezete akár már makroszkóposan részekre bontható, így

támpontot kínálva a nemzetség, vagy akár fajszintű besoroláshoz (pl. SCHWEINGRUBER 1990, MIHALIK ET AL. 1999, SCHWEINGRUBER ET AL. 2006).

A legtöbb fa belső szerkezete három nagyobb részegységre bontható, melyeken belül további elemek különíthetők el. Kívülről befelé haladva az első nagy egység a kéreg, mely két részre osztható, háncsra (belső kéreg) és héjkéregre (külső kéreg).

A kéreg után befelé haladva helyezkedik el a szíjács, amely a legfiatalabb évgyűrűket tartalmazza, melynek a fő feladata a víz szállítása. A szíjács jellemzően lazább, mint a fatest többi része, melynek oka a kisebb gyanta- és cserzőanyag tartalom (MOLNÁR & BARISKA 2002). A mechanikai jellemzői nem maradnak el a gesztétől (MERELA & ČUFAR 2013), azonban a rengeteg tápanyagnak és víznek köszönhetően a rovar kártevők számára vonzó desztináció. Ez az oka, hogy a szíjácsot gyakran eltávolítják a fák felhasználása előtt, melynek fontos jelentősége van a dendrokronológiai datálás során.

A következő nagy szerkezeti egység a geszt, mely tulajdonképpen a fatest korábban szíjácsként funkcionáló holt része, mely a vízszállításban már nem vesz részt, csak szilárdító szerepe van. A szíjács gesztté alakulása folyamatosan, évről évre történik, mely során számos élettani, biológiai és kémiai változás történik a fatest adott szakaszán. Gyakori, hogy a folyamat során gesztesedő anyagok rakódnak le a sejtfalakon és a sejttöregekben, mely a geszt elszíneződését eredményezi. Ennek megfelelően színes gesztű (pl. erdeifenyő) és színes geszt nélküli (pl. bükk) fák különíthetők el (MOLNÁR & BARISKA 2002). A gesztesedés a törzs közepétől, a bél irányából indul, és nagyjából évente egy évgyűrű alakul át szíjácsból gesztté.

A szíjács-geszt határvonal mindig követi az évgyűrűk ívét, azonban az átmenet jellege különböző lehet. A fatörzs legbelső részén az ún. juvenilis fa található, melyek fiatal korban szállító, majd később raktározó szerepe van. A juvenilis fa a bél körül található belső (fajtól függően) 5-20 évgyűrűt tartalmazza. A juvenilis fa évgyűrűi az első években szélesebbek és elmosódott pásztahatárokkal rendelkeznek (MOLNÁR & BARISKA 2002).

2.4. Mintavétel

Az évgyűrű adatsorok alapját a fákból vett minták szolgáltatják. Élőfák esetében növedékfűrő általi magminta vételre kínálkozik lehetőség, holtfák esetében kézi-, vagy láncfűrész használatával történő fakorong vágás a legcélravezetőbb. Ez esetben a fa teljes kerületéről rendelkezésre áll információ, szemben a furat 4 vagy 5 mm-es átmérőjével, amely csupán a fatest egy kis kiragadott részletet reprezentálja. A mintavételezési eljárásoknál sok tényezőt figyelembe kell venni. Ha az egyes időszakok átlagtól eltérő időjárási eseményeit szeretnénk vizsgálni, akkor más mintavételezési szabályokat kell előtérbe helyezni, mintha a

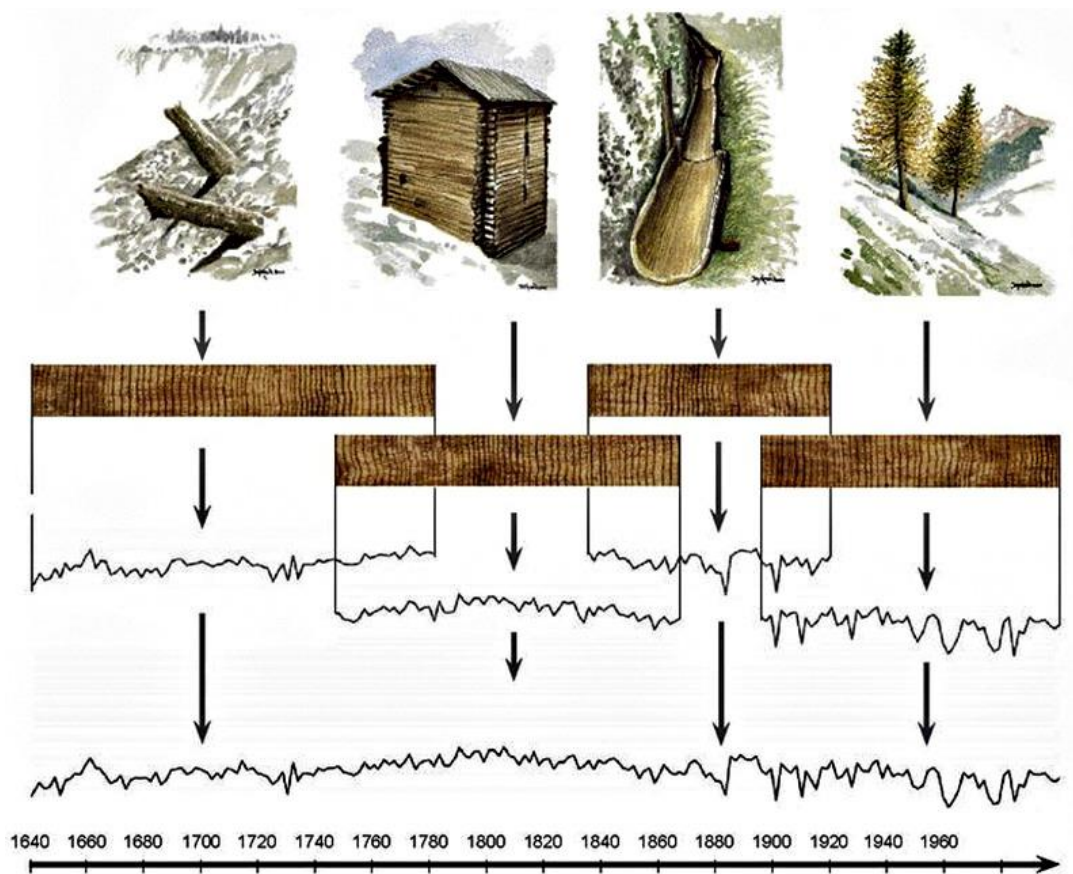
lokális felszínalakító folyamatok hatásait vizsgálánánk. Eltérő típusú elemzésnél eltérő fafaj szolgáltathat megfelelő információt. Extrém időjárási események jobban hatással vannak a kitett vagy meredek részeken növvő fákra, valamint az erdők szélén nem zártállásban fejlődő egyedekre is. A kívánt vizsgálat határozza meg tehát a mintagyűjtés helyét és a minták mennyiségét is (SCHWEINGRUBER 1996).

2.5. A dendrokronológia alapelvei

A dendrokronológia történeti alkalmazása azon a felismerésen alapul, hogy az egymáshoz közel azonos időben élő különböző faminták évgyűrűsorai egymással megfeleltethetőek, így folytonos, akár a régmúltba visszanyúló idősort lehet létrehozni. Ezt nevezik keresztdatálásnak (*cross-dating*), illetve átlapolásnak (*overlapping*) (2. ábra). Évszázadokat vagy akár évezredekkel felölelő évgyűrű-adatsorokat egyértelműen nem lehet létrehozni csak élő fákból vett mintákkal. Az élőfák, fajfüggően, pár száz éves korig élnek (BROWN 1996), majd kidőlésük után holtfaként még fellelhetők az erdei ökoszisztémában akár évtizedekig. A régi építményeinek faanyaga alkalmas lehet hosszabbítani az élőfák adatsorát, azonban az építészeti fejlődésével és az esetleges épület rekonstrukciók miatt ilyesfajta minták sem mindig állhatnak nagy tömegben rendelkezésre. A több ezer évet átölelő európai évgyűrű-adatbázisok összeállítása minden esetben úgynevezett szubfosszilis vagy holtfaanyagok felhasználásával vált lehetővé (Pl.: PILCHER ET AL. 1984, LEUSCHNER & DELORME 1988, BECKER 1993, ERONEN ET AL. 2002, FRIEDRICH ET AL. 2004).

A dendrokronológia további két alapelve a történeti elv és a szinkron elv (FRITTS 1976). A történeti elv azon az egyedi jelenség felismerésén alapszik, hogy egy minimum 30 évgyűrűvastagságból álló sorozat elhanyagolható kis valószínűséggel fog újra előfordulni egy adott fafaj életében, így biztosan, gyakorlatilag megismételhetetlen történeti jelenség a vizsgált évgyűrűsorozat.

A szinkronelv: azonos fafajú, egyazon helyen növekvő egyedekben a faévgyűrűk változása hasonló, ugyanis megegyező környezeti hatások érik őket, amelyekre azonos fiziológiai működésük miatt azonos módon reagálnak. De ez meg is fordítható. Ha a fák évgyűrűvastagságának a változásai két különböző – de ugyanahhoz a fajhoz tartozó – egyednél hasonló, akkor hasonló hatások érték őket tehát egymás közeléből származnak és egykorúak.



2. ábra: Az évgyűrűsorozatok egymáshoz megfeleltetése és kronológia építés elméleti ábrája, kihangsúlyozva az eltérő mintavételi helyek időbeli fontosságát (forrás: <http://www.fe.ethz.ch/en/research/dendrochronology-and-phenology/tree-ring-lab/crossdating.html>).

2.6. A dendrokronológia alkalmazásának korlátai

Mivel a fák a saját szűkebb környezetük jellemzőiről tárolnak információkat, ezért fontos, hogy a minták egy bizonyos területről származzanak, ahol hasonlóak a növekedési viszonyok (pl.: éghajlati feltételek). Megfelelő mennyiségű mintából álló kronológiának a vizsgálata adhat csak kielégítő választ egy-egy éghajlati elem és a növekedés közötti kapcsolatra. A hasonló tengerszintfeletti magasságban, egymástól nem túlságosan messze növő (100 km belül), megközelítőleg egykorúnak gondolt, vagy datált, de különböző fafajok alkotta kronológiák közti megfeleltethetőség lehetséges, ha a fő növekedést limitáló tényező megegyezik (pl. hőmérséklet).

A fentebb leírt okok miatt a mintákból összeállított referenciasorozatok nem alkalmazhatók a Föld más területeire, tehát nincs globális referencia. Ezen tény miatt még nagyobb fontossággal bírnak a lokális kronológiák. Vizsgálatuk elengedhetetlen ahhoz, hogy egy adott

területről információk álljanak rendelkezésre, mely környezeti tényezők változására érzékenyek és milyen mértékben.

A vizsgálat szakterülete és célja alapján a dendrokronológia nevezéktana és módszertana igen kiterjedt, bővebben az 1. mellékletben olvasható a különböző évgyűrű-elemzési módszerekről.

2.7. A holtfaanyag szerepe és jelentősége a dendrokronológiában és a környezettörténeti vizsálatokban

Szubfosszilis fa elnevezést kap minden olyan nem fosszilizálódott faanyag, amely évszázadokkal vagy éppen évezredekkel ezelőtt rakódott le a folyóvízi üledékben, moréna anyagban vagy mocsarakban, lápokban (KAENNEL & SCHWEINGRUBER 1995). A folyópartok mentén feltárt falból kiálló, vagy kavicsbányászat során kotrógépekkel kiemelt fatörzsek döntő többségben tölgy nemzetséghez tartozó egyedek, vagy esetleg az egykori ártéri erdő keményfás ligeterdeinek más jellemző fája. A magashegységi moréna üledékéből származó faminták javarészt, túlevelűek, csak úgy, mint a hegységi lápokban megőrződött fák zöme. Síkvidéki lápok esetében döntőtöbbségben szintén tölgyek konzerválódtak (PILCHER ET AL. 1984). A minták többségének a színéről szokás „fekete tölgynek” nevezni a szubfosszilis faanyagot, ami azonban nem összekeverendő az Észak-Amerikában őshonos névrokon, Fekete tölgygel (*Quercus nigra*). Az eltemetődött tölgyek színe a vizes környezetben változik meg. A vízben oldott vas vegyületek reakcióba lépnek a tölgyfa csersav tartalmával. Az így lezajló kémiai folyamat hatására megváltozik a faanyag színe, besötétül és az idő múlásával egyre sötétebb, végül koromfekete lesz. A szín megváltozása mellett azonban a fa mechanikai és fizikai tulajdonságai is megváltoznak (KOLÁŘ & RYBNÍČEK 2010). Régióinkban a tölgyfafajok mellett előfordulhatnak még bükk, szil, nyár és fenyőminta is (ÁRVAI ET AL. 2018A). Jelentőségük a hosszú kronológiaépítés mellett abban áll, hogy a szubfosszilis fatörzsek, mint nagy felbontású környezetváltozásra utaló rekordokként lehet tekinteni (ECKSTEIN ET AL. 2011).

Az élő fákból készíthető dendrokronológiai adatsorok hosszát a fák biológiai élettartama limitálja. Bár vannak kivételesen hosszú életű fafajok (bővebben BROWN 1996 és OLDLIST) de az élő fákból készíthető kronológiák hossza jellemzően 200-300 év. Amennyiben korábban elpusztult fák (holtfák) évgyűrűadatsorát szinkronizálni lehet az élő fák adatsoraival, akkor a biológiailag lehetséges élettartamnál lényegesen hosszabb évgyűrűadatsor készíthető. Ezáltal egyrészt a dendrokronológiai kormeghatározáshoz használható referencia adatsor megnyújtható, azaz a kormeghatározás lehetséges időtartama kiterjeszhető, másrészt amennyiben az évgyűrű-adatbázisból kinyerhető valamely paraméter környezet-

rekonstrukcióra használható, úgy a rekonstrukció hosszabb időtartamra készíthető el. Európa számos területén már példaként szolgáló sokezer éves kronológiák érhetőek el (Pl.: PILCHER ET AL. 1984, LEUSCHNER 1988, BECKER 1993, ERONEN ET AL. 2002, FRIEDRICH ET AL. 2004, NICOLUSSI ET AL. 2014, PROKOP ET AL. 2017), amelyeket kivétel nélkül földtani képződményekben megőrződött szubfosszilis fák segítségével terjesztettek ki.

Hazánkban a leghosszabb dendrokronológiai alapú kormeghatározásra lehetőséget kínáló adatsor az ú.n. Közép-magyarországi Tölgy Alapkronológia, amely pillanatnyilag Kr.u. 1370-ig folyamatos (GRYNAEUS 2015). A régióban további hosszú kronológiák is elérhetőek (*Táblázat 1.*). Jellemző, hogy ezeket a hosszú kronológiákat az élő fák adatsorainak épületfa mintákkal történt összevonásával sikerült létrehozni (PROKOP ET AL. 2016, TÓTH ET AL. 2015, NECHITA ET AL. 2018). A nemzetközi példákból ismert, hogy a kronológiák jelentős további meghosszabbítása az épületfák helyett a fiatal üledékes képződményekben megőrződött, de már a történelmi faanyagnál idősebb leleteket is kínáló minták körét bevonva lehetséges. Régióban több helyen is dokumentáltak, illetve gyűjtöttek holtfaanyagot fiatal (holocén) üledékekből (ÁRVAI ET AL. 2015B, 2017) de feljük eddig szerény tudományos érdeklődés fordult. Az egy-egy mintán elvégzett vizsgálatok a holtfa mechanikai tulajdonságára (HORSKY & REINPRECHT 1985, KÚDELA & REINPRECHT 1990), az évgyűrűszélesség ciklikusságára (BABOS 1987-88), vagy speciális régészeti szempontú (HORVÁTH 1974) elemzésekre szorítkoztak. Több mintán történő földtudományos kiértékelés, a holtfaanyag kronológiába illesztésére törekvő kísérlet ez idáig hazánkban nem történt. Különösképpen figyelemre méltó ez a kutatási úr, mert míg a negyedidőszaki makro-botanikai leletek között (JAKAB & SÜMEGI 2011) a lényegesen apróbb maradványokon számos kutatási eredmény gazdagította már a régióból környezettörténeti ismereteinket (pl. JAKAB & SÜMEGI 2005, MAGYARI ET AL. 2008, VINCZE ET AL. 2017, JAKAB ET AL. 2019) addig az egyértelműen a legnagyobb mérettartományt képviselő holtfaanyagon környezettörténeti rekonstrukcióban történő felhasználására még kísérletet sem dokumentál a hazai szakirodalom.

Táblázat 1.: A Kárpát-medence és környékéről elérhető leghosszabb évgyűrűkronológiák

Évgyűrűkronológia			Referencia
Név	Fafaj	Időszak	
Tátra	Vörös fenyő (<i>Larix decidua</i> Mill.)	963-2011	Büntgen et al. 2013
	Lucfenyő (<i>Picea abies</i> L. Karst)	1538-2004	Büntgen et al. 2007
Kelemen-havasok	Cirbolyafenyő (<i>Pinus cembra</i>)	996-2005	Popa & Kern 2009
	Lucfenyő (<i>Picea abies</i> L. Karst)	1599-2004	Popa & Sidor 2010
Radnai-havasok	Cirbolyafenyő (<i>Pinus cembra</i>)	1386-2005	Popa & Bouriaud 2014
Közép-magyarországi alap	Tölgy (<i>Quercus</i> spp.)	1370-2015	Grynaeus 2011
Udvarhelyszéki	Tölgy (<i>Quercus</i> spp.)	1361-1842	Tóth et al. 2015
Balaton	Tölgy (<i>Quercus</i> spp.)	1549-2004	Kern 2007
Bécsi-medence	Tölgy (<i>Quercus</i> spp.)	1172-2003	Geihofer et al. 2005
Máramaros	Tölgy (<i>Quercus</i> spp.)	1236-2016	Nechita et al. 2018
Morva-medence	Jegenyefenyő (<i>Abies alba</i> Mill.)	1325-2007	Kolář et al. 2012
Bihar	Jegenyefenyő (<i>Abies alba</i> Mill.)	1583-2004	Kern et al. 2004

3. KUTATÁSI ELŐZMÉNYEK, KITEKINTÉSSEL AZ EURÓPAI DENDROKRONOLÓGIA FEJLŐDÉSÉRE

3.1 Az európai dendrokronológia és kihívásai

Európában javarészt a német nyelvterületen ismerték fel leghamarabb a dendrokronológiában rejlő lehetőségeket. Németországban, Svájcban alakultak a mára már világhíressé vált kutatóhelyek. Akár a faanatómia területét elért eredményeket (SCHWEINGRUBER 1990, 1996, 2001, 2006, 2007) akár a leghosszabb, a holocén időszakot lefedő, európai évgyűrű kronológiát (pl. BECKER 1993, FRIEDRICH 2004) tekintjük, jelentékeny arányban vannak jelen ezen országokból származó tudósok. Természetesen a 20. század végére majd minden országban alakultak évgyűrű laboratóriumok, azonban a vasfüggöny mögötti államok ebben is némi lemaradással küzdenek. Kiemelkedő munkáságukkal, jó példa lehet Csehország (Brno), Lengyelország (Krakkó), Szlovénia (Ljubljana) vagy éppen Románia (Moldvahosszúmező). Másik oldalról, a Szlovénián kívüli ex-jugoszláv tagállamok vagy éppen a Görögországi dendrokronológiai kutatások csak elvétve valósulnak meg hazai kutatókkal. Sok esetben nyugat-európai vagy éppen észak-amerikai kutatók kezdik el az adott kelet-európai ország évgyűrűvizsgálati lehetőségeinek a kiaknázását (pl. PEARSON ET AL 2014), szerencsére a legtöbb esetben helyi résztvevőket bevonva. Fontosnak tartom megemlíteni, a több országon átívelő nagy területet felölelő, sok mintavételi helyszínt magába foglaló kutatásokat is (pl. WAZNY ET AL. 2014). Az ilyen, és ehhez hasonló átfogó kutatások mutathatnak rá a hiányosságokra, jelen esetben a közép-európai és a mediterrán területről származó évgyűrűkronológiák közti nem folytonos térbeli eloszlására. Nem meglepő mód a két említett terület között a Kárpát-medence terül el, ahonnan hiányoznak az ezer évet átölelő kronológiák. Ezek az adatsorok képezhetnék a hidat a Mediterráneum és a közép-európai területek adatsorai között, melynek köszönhetően hazánk és környéke az európai dendrokronológia egyik nagy figyelmet érdemlő és döntő fontosságú régiójává emelkedett a 2010-es években (WAZNY ET AL. 2014).

3.2 A hazai évgyűrű kutatások

Magyarországon, európai viszonylatban, korán felfigyeltek a dendrokronológiai kutatásokban rejlő lehetőségekre. Már az 1940-es években készült tanulmány a napfolttevékenység és a fák növekedése közti lehetséges kapcsolatról (KULIN 1941), azonban ezt követően nem kezdődtek szisztematikus vizsgálatok a témában. Évtizedekkel később kezdődtek meg az eleinte csak pontszerű, egy-egy mintán megvalósuló mérések (MAJER 1972, HORVÁTH 1974, PAPP 1984, 1986). A kezdeti vizsgálatok is már rámutattak az

évgyűrűelemzések széles körben való alkalmazhatóságára. Tanulmányok számos tudományterület keretein belül születtek úgy, mint csillagászat, erdészet, régészet, azonban a környezettörténeti szempontú vizsgálatok egészen az 1980-as évek derekáig nem születtek és a 2010-es évekig is csupán elvétve jelentek meg tanulmányok. Pionír munkát végzett a klíma faktorok tükrében vizsgált évgyűrűelemzések körében Babos Károly (BABOS 1984). A kezdeti hazai kutatások (BABOS 1984, 1986; PAPP 1986) is rámutattak arra, hogy egyes fafajok más-más időjárási elemek változására érzékenyek. A klíma szignál megőrzésért tulajdonságaik mellett megvilágításba helyezték a faminták datálásának, valamint az egyes minták egymáshoz hasonlításának nehézségeit is. A magyarszezsődi, Rába menti régészeti feltárásból előkerült tölgyfaleletet a további régészeti tárgyak datálása után a rétegtani helyzete alapján korolták be (HORVÁTH 1974). A 20. század utolsó évtizedében kezdődtek meg a szisztematikus mintagyűjtések és készültek el az első robusztusnak mondható kronológiák (GRYNAEUS 1995, 1996). Ezek eredményeképp állt össze a már említett Közép-magyarországi Tölgy Alapchronológia, amely kormeghatározásoknak nyújtott lehetőséget régészeti (GRYNAEUS 2015) és műemlékvédelmi (GRYNAEUS & SARKADI 2008, PAPP & GRYNAEUS 2009) kutatásokban egyaránt. A régészeti datálások megtámogatása mellett egyéb éghajlat- és környezetkutatások vizsgálatok is napvilágot láttak (KÁZMÉR 2003, KERN & POPA 2008). Az Erdészeti Tudományos Intézetben az erdészetileg fontos fafajok növekedésének éghajlati elemekkel kimutatható kapcsolatát vizsgálták (SZABADOS 2006, 2007) és mintegy évtizednyi szünet után a közelmúltban indultak újra ezen a téren (GARAMSZEGI & KERN 2016, GARAMSZEGI ET AL., 2018). A közelmúltban a Szegedi Tudományegyetem műhelyeiből kikerült geomorfológiai kutatásokban is sikerrel alkalmazták az évgyűrűelemzéseket (BLANKA ET AL. 2006, KISS & SIPOS 2009). Dendroklimatológiai (LADÁNYI & BLANKA 2015) és dendrokémiai (KISS ET AL. 2019) témával foglalkozó eredmények is megjelentek, de kiemelendő a hazai erdeifenyő állományok növekedésének éghajlati kapcsolatát szakmai színvonalon elemző munkák sora (MISI & NÁFRÁDI 2016A, B, 2017). A hazai évgyűrűkutatások palettájáról azonban a holtfaanyag dendrochronológiai és környezettörténeti célú értékelésére törekvő szisztematikus kutatómunka egyelőre még hiányzik.

4. A DOLGOZAT CÉLKITŰZÉSEI

A doktori értekezésem keretein belül bemutatásra kerül a dendrokronológia, mint önálló tudományág. Ismertetem módszertanát, kitérve az alkalmazhatóságának széles spektrumára és korlátaira, valamint az elmúlt években elvégzett évgyűrűvizsgálatok eredményeit az eltelt pár ezer év környezettörténetének tükrében.

Az ELTE Dendrokronológiai Laboratóriumának munkatársai terepi bejárásaik alkalmával több hazai kavicsbányában (pl. a Mura és a Hernád mentén) is gyűjtöttek holtfaanyagot, amelyek dendrokronológia feldolgozására mindeddig nem került sor. A Természetföldrajzi Tanszék munkatársai a Máramarosi-havasokban egy 2010-es, alapvetően glacio-geomorfológiai célú terepbejárás alkalmával, egy ma fátlan környezetben elhelyezkedő tőzeglápban több méretes fatörzset találtak. A fenti információkra támaszkodva doktori kutatásom céljának azt tűztem ki, hogy részben a fent említett leletanyagokra támaszkodva, részben új helyszíneket és mintákat is vizsgálatba vonva a holtfaanyag dendrokronológiai elemzésére építsem doktori kutatásomat. A kutatás során arra törekedtem, hogy a legszélesebb körben használt évgyűrűparaméter (évgyűrűszélesség) mellett az alapvető faanatómiai információkat (pl. fafaj), valamint az anatómiai és kronológiai eredményeket kombináló információkat (pl. csírázási/kidőlési periódusok) a korábbi kutatásoknál kimerítőbben felhasználjam. Ezáltal a holtfaanyagból olyan többlet információkkal egészítsem ki a vizsgált helyszínek paleokörnyezeti rekonstrukcióját, amely a hazai környezettörténeti kutatásokban újszerű megközelítésnek értelmezhető. Továbbá bemutatásra kerülnek az ún. szubfosszilis, holtfaanyag lelőhelyei, valamint a famaradványok alkalmazhatóságukat prezentálom kettő esettanulmány eredményein keresztül.

Következő kutatási célkitűzésem évgyűrű lebegőkronológiák létrehozása, amelyek a Kárpát-medence, egy keleti és egy nyugati határvidékére szolgáltatnak új információkat, nem csak a környezetváltozásokra, hanem az egykori vegetáció összetételre is. A kapott eredményeket komplexebb interpretációval kívánom vizsgálni, ezért összehasonlítást teszek a környékbeli elérhető hosszabb évgyűrű adatbázisokkal.

További célom a különböző földrajzi régiókban fekvő mintaterületekből származó holtfaanyagok vizsgálati eredményeit egyrészt dendrokronológiai másrészt földtudományi szempontú bemutatása. A szubalpin környezetben megőrződött valamint az alluviális térszínből származó famaradványok környezettörténeti szempontú elemzése a hazai földtudományos vizsgálatokban ezidáig nem jelent meg. Végül a kutatást végigkísérő cél az eredmények komplex, szintetizáló értelmezése.

5 HOLTFAANYAG DENDROKRONOLÓGIAI ELEMZÉSE ÉS KÖRNYEZETTÖRTÉNETI CÉLÚ ÉRTÉKELÉSE SZUBALPIN KÖRNYEZETBŐL

5.1 A vizsgálat bemutatása

A doktori kutatómunkával célba vett egyik régió a Máramarosi-havasok egyik kisebb hegysége a Visói-havasok. Az elmúlt években öt többnapos terepi kutatómunka alkalmával jártam be a környék tőzeglápjait, famaradványok után kutatva. Megfogalmazott céljaimmal összhangban kerestem a holtfaanyagot, hogy a faminták segítségével több ezer évesre növelhessem a jelenleg elérhető évgyűrűkronológiákat. A dolgozatban bemutatott Farcău-tőzegláp feltárása mellett felkerestem a területen ismert potenciális lápokot, amelyekben konzerválódhattak famaradványok (Visói-havasok: Vinderel-csúcs közelében fekvő három láp; Bárdói-Pietrosz: Cristina és Tăul Mare-Bardău láp, Tăul Băiței láp). Sem a Visói-havasokban sem a Bárdói-Pietrosz területén található lápok egyikében sem találtam konzerválódott fatörzset. A lápokból vett furatminták mérete mutatja, hogy akár a 4 méter vastagságot is elérheti az üledék (FARCAȘ ET AL. 2009, 2013, TANȚĂU ET AL. 2011). Ilyen mélységekből a mintavétel lehetetlen, valamint az acélrudas szondával a fatörzsek helyzetének a detektálása sem lehetséges. Mindazonáltal feltételezhető, hogy találhatóak bennük famaradványok, azonban hozzáférhetetlen mélységben. A Tăul Băiței láp, illetve láposodó tó, esetében a nyílt vízfelületeknél látni lehet a bedőlt lucfenyőtörzseket, valamint megfigyelhető, hogy a jobban elmocsarasodó részein már a lápon is nőnek túlevelű fák, nem csupán a széleken. Az egyértelműen látható minták azonban a nagy víztartalom és a nyílt vízrészek miatt szintén nehezen hozzáférhetőek illetve speciális felszerelést igényelne a megmintázásuk (ld. pl. ERONEN ET AL. 2002). A felsorolt terepi tapasztalatok alapján még jobban felértékelődik a Farcău-tőzegláp jelentősége, mint az eddig felfedezett egyetlen olyan lelőhely ahol nagyszámban és hozzáférhető mélységben konzerválódtak a fatörzsek.

A szubfosszilis fákat rejtő földtani képződmények egyik jellemző konzerváló területe a tőzeglápok (KAENNEL & SCHWEINGRUBER 1995). Az ezekből előkerült faminták elemzéséhez érdemes megemlíteni pár előzetes információt.

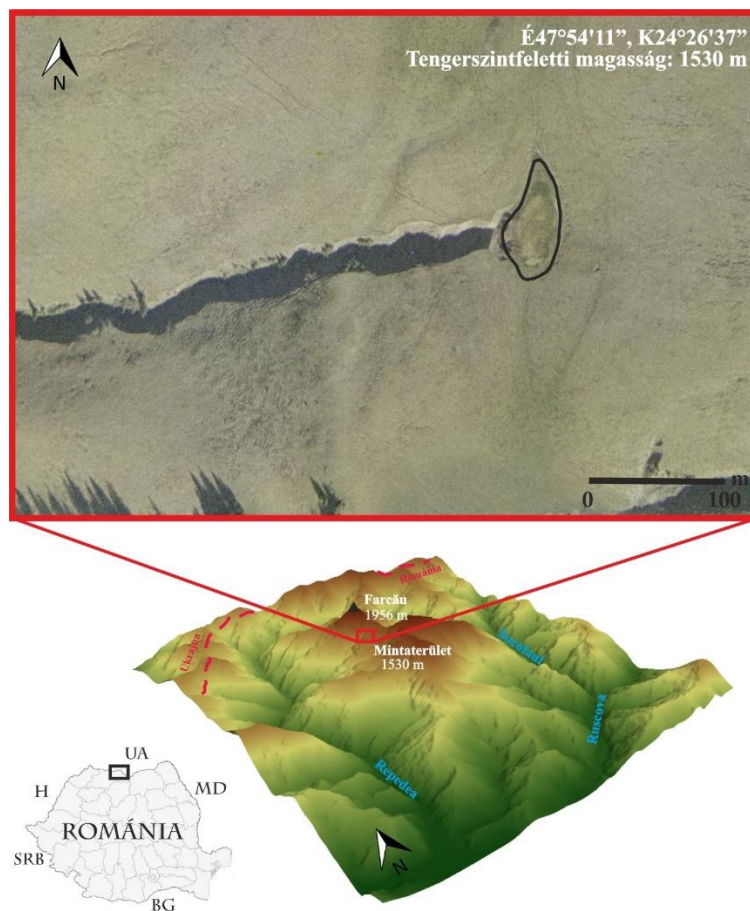
Az évgyűrűelemzések egyik fő alaptétele, hogy mindig a vizsgálat jellege dönti el, honnan vesszük a mintát (ld. 2.1-es fejezet). Lápból származó faminták esetében nincs lehetőség megválasztani, mely faegyed kerül megmintázásra, minden egyes előkerült vagy kiásott minta jelentőséggel bíró lelet. Nem ismeretes, hogy mely faegyedek nőttek egymás mellett, vagy melyik fák nőttek közel, illetve messzebb a láp peremétől vagy éppen a lápon. A régióból elérhető mesterkronológiák végdátumánál feltételezhetően idősebb famaradvány is elkerül, így valószínűsíthető, hogy nincs lehetőség abszolút kort rendelni a mintákhoz. Ha az átlapolás nem

lehetséges más kronológiákkal, akkor lehetőség adódik radiokarbonos (^{14}C) kormeghatározásra, valamint emellett a faminták rétegtani helyzete szolgáltathat alapot relatív korcsoportok meghatározására. A rétegtani helyzet pontos feltáráshoz terepi megfigyelések segítettek, továbbá fúrásalapú medermodellezés és térinformatikai elemzések készültek (ld. 5.4.1. fejezet).

A minták sajátságos helyzete tükrében módszertani kihívásokkal terhelt az elemzés, ezáltal egy régmúltba nyúló ökológiai nyomozást vetít előre a kutatás.

5.2 A terület elhelyezkedése és jellemzői

A kutatási terület az Északkeleti-Kárpátok fő tömegét adó – és egyben a legmagasabb csúcsokat is magába foglaló – Máramarosi-havasok déli részén terül el (HAJDÚ-MOHAROS 2010). Ezen belül a Visói-havasok központi területén a Rugasu gerinc alatt a Vinderel-platón, a fölé emelkedő Farcău főcsúcs (1956 m, $\text{É}47^{\circ}55'$, $\text{K}24^{\circ}27'$) környezetében helyezkedik el az azonos nevű, kb. 0.33 hektáros tőzegláp (1530 m, $\text{É}47^{\circ}54'$, $\text{K}24^{\circ}26'$) (3. ábra), amely megfelelő konzerváló területnek minősült a beledőlt fatörzsek számára.



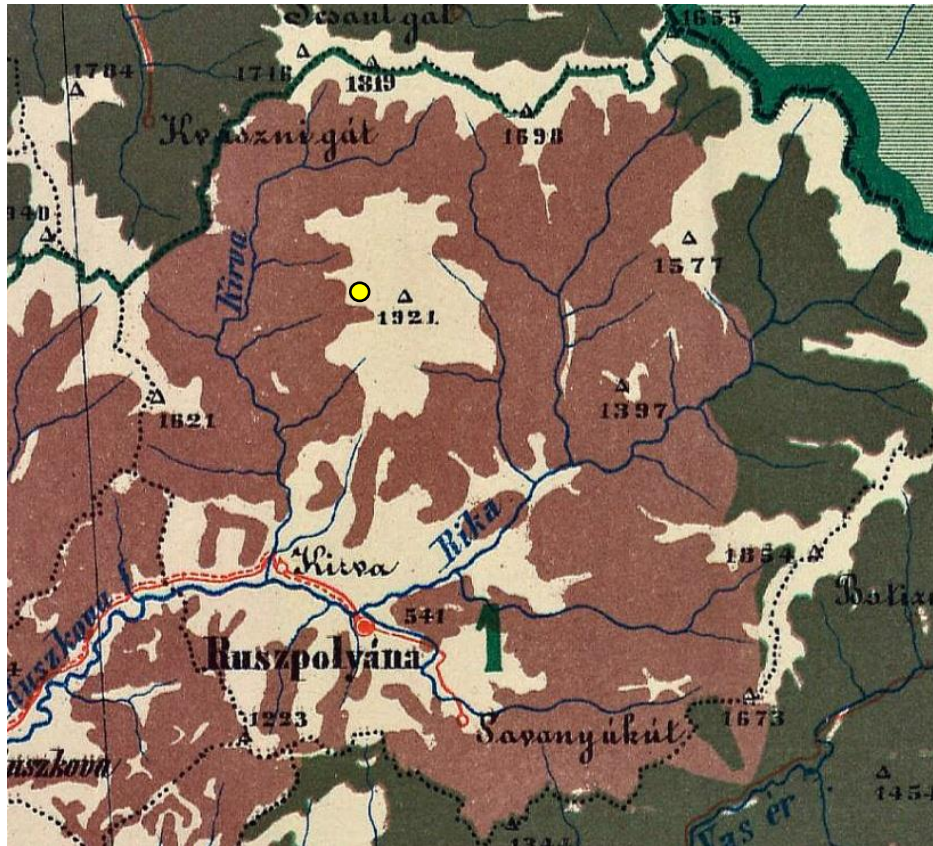
3. ábra: A Visói-havasok Farcău masszívuma és a mintaterület helyzete. Fekete körvonal jelöli a tőzegláp határait.

Valószínűleg valamilyen lejtős tömegmozgás hatására, lokális mélyedés alakult ki, amely összegyűjtötte a mikrokörnyezetének lefolyó vizeit.

Az emberi megtelepedés és a nagyméretű állatállomány miatt jelenleg a mintaterület egy teljesen fátlan környezetben található (3. ábra). A hozzáférhető legkorábbi térképet a Második Katonai Felmérés ide tartozó szelvénye, valamint az 1885-ben kiadott *Magyar Állam őszi erdősegeinek átnézeti térképe az egyes községek határában uralkodó főfanem kitüntetésével* (BEDŐ 1885). A Második Katonai Felmérés nagyjából 150 évvel ezelőtti térképszelvénye a mintaterületen a maihoz rendkívül hasonló erdőhatárt mutat (4. ábra), valamint a 130 éves erdősültségi térkép is megerősíti ezt (5. ábra). Ez adta az első támpontot a minták korát illetően, ugyanis a tőzeglápban konzerválódott faanyag a térképek szelvényezési időszakánál csakis idősebb lehet.



4. ábra: Erdőhatár a mintaterületen, a Második Katonai Felmérés térképszelvényén és egy GoogleEarth felvételen. Piros körök jelölik az erdőhatár jellegzetes futását, amely felismerhető mindkét ábrán



5. ábra: Az 1885-ös erdőszültségi térkép (BEDŐ 1885) a Visói-havasok területéről, sárgapont jelzi a mintaterület helyzetét.

5.3 A tőzezláp, mint konzerválóhely

A kárpáti magashegységi területeken az utolsó glaciális maximum (LGM – Last Glacial Maximum) után a jég visszahúzódásával (RINTERKNECHT ET AL. 2012, RUSZKICZAY ET AL. 2016), a hegységek lankás oldalainak rossz lefolyású részein alakultak ki az első tőzezlápok. A magashegyi környezetben előforduló fellápnak vagy oligotróf lápnak nevezett láptípus főleg szilikátos alapkőzetű területek lefolyástalan völgyeiben alakul ki, melyet jellemzően mészszegény víz táplál (BORHIDI 2003). A Máramarosi-havasokban tőzezlápokból elsősorban palinológiai kutatás céljából vett furatminták elemzéseivel megállapítható, hogy a vizsgált legidősebb tőzezláp legalsó rétegei nagyjából 8000 évesre datálhatók (FARCAȘ ET AL. 2013). A Máramarosi-havasok lápjában őrződtek meg továbbá az egykori erdők kidőlt fáinak maradványai, amelyek hozzájárulhatnak a terület egykori természetes környezetének pontosabb rekonstrukciójához.

Számos esetben a lefolyástalan vagy rossz lefolyású depressziók kialakításában lejtős tömegmozgások játszanak kiemelkedő szerepet. A mintaterületen – a Visómenti hegycsoportban – a mesterségesen leszorított erdőhatár felett fekvő gyephavasi zóna területén erősen aprózódott és mállott több méter vastag regolit található (MÎNDRESCU 2003). A kárpáti területek közül a Máramarosi-havasok belső oldala különösen csapadékos (1200-1500 mm),

mert pontosan a nyugati szelek útjában magasodik (HAJDÚ-MOHAROS 2010). A nagy mennyiségű csapadék, a felszint borító fásszárú vegetáció híján, közvetlenül, intercepció hatása nélkül éri el a felszint. A víz a kőzetszemcsék felszínén és pórusaiban helyezkedik el, így a – málláson átesett – lejtő anyagának állékonysága gyorsan megváltozhat. A nagy víztartalmú lejtő pedig lényegesen kedvezőbb feltételt jelent a csuszamlások számára, mint a száraz (SZABÓ 1996).

5.4 Módszerek

5.4.1. A tőzegláp fúrásalapú medermodellézése

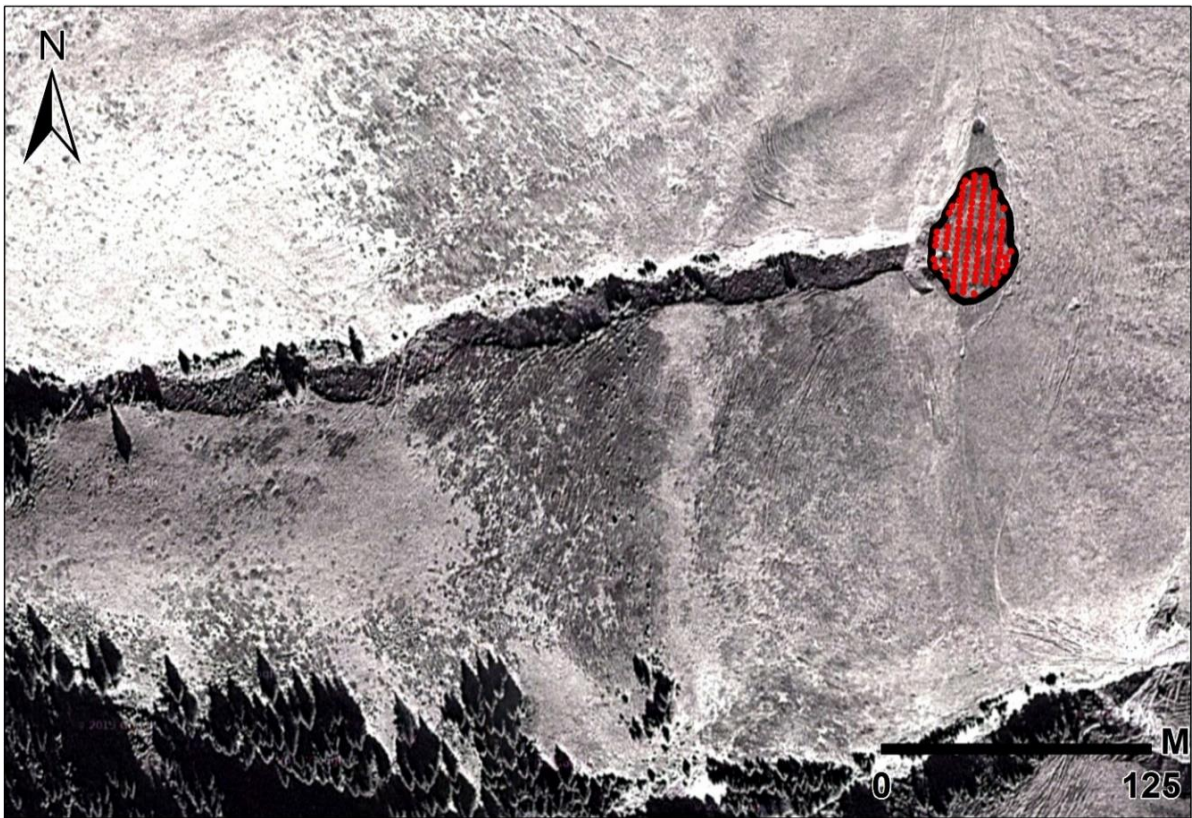
A Farcău-tőzegláp, amely egykor kis kiterjedésű tó volt, egy lefolyástalan depresszióban alakult ki. A tó nyugati partvonalát egy hátravágódó vízmosás érte el, amely vizétől fokozatosan megfosztotta, ennek következményeképpen a láp összeroskadt (*1. kép*). Ez a geomorfológiai szituáció tette alkalmassá arra, hogy a lápban keletkezett üledékek határainak becslésére végzett fúrásalapú interpoláció segítségével vizsgáljam a tőzegláp víztartalmának fokozatos elvesztésének hatásait a tavi üledékre, valamint a tőzegrétegre.



1. kép: A hátravágódó vízmosás által elért Farcău-tőzegláp (Fotó: Nagy B. 2011)

A terepi mintavételezés során a fúrások egyenközű rácsháló mentén öt méterenként kerültek mélyítésre. A fúrások Ejkelkamp kézi talajfúróval történtek 5 x 5 méteres rácshálóban, ami a láp teljes egészét lefedte (*6. ábra*). A fúrásokból nyert adatokat empirikus iránymenti

félvariogramok segítségével elemeztem. A láp egyes rétegeinek félvariogram-felületek segítségével feltárt térbeli struktúrája jó támpontot nyújthat a láp fejlődéstörténetének rekonstrukciójához. Célom volt az adathalmaz térbeli korrelációs struktúrájának megvizsgálása, hogy az mennyiben alkalmas térbeli interpolációra, valamint módszertani elemzésben a magashegyi fellápok kialakulási feltételeinek és a bennük lejátszódó üledékképződési és tőzegesedési folyamatok rekonstrukciós lehetőségeit vizsgáltam.



6. ábra: A Farcău-tőzegláp fúrásponyjai (piros pontok)

A fúrások a meder aljzatáig mélyültek. Az üledékszelvény jellegzetességei alapján négy réteget különítettem el: talajréteg, tőzeg, tavi üledék és a legmélyebben található szürke színű feltehetően mállási réteg. A terepen gyűjtött adatokat GPS-mérések alapján georeferáltam, majd geoadatbázisba rendeztem. A geostatistikai elemzéseket Surfer 11-es és ArcMap 10.2.2-es szoftverkörnyezetben végeztem el. Surfer 11-ben a *Variogram* és a *Grid* funkciót alkalmaztam, míg az ArcMap-ben a *Georeference* és a *Geostatistics Wizard* eszközöket. A térbeli változékonyságot leíró függvények közül az iránymenti empirikus félvariogramot használtam. A félvariogram-függvény attribútumai közül a hatástávolságot vettem figyelembe, ami azt a távolságot adja meg, amelyen belül a vizsgált paraméterre az összefüggési struktúra sajátos jellemvonásai még érzékelhetők (KOHÁN & SZALAI 2014, KOVÁCS ET AL. 2005). A hatástávolságon kívül eső minták korrelálatlanok (CHILÉS & DELFINE 2012). A térbeli adatok

irányfüggő változása esetén az interpolációs eljárás (*krigelés*) folyamán irányonként más-más távolságon belül lévő pontok értékét veszi figyelembe, és súlyozza azokat a kapott empirikus félvariogramokra illesztett elméleti félvariogramok alapján. A félvariogramok szeperációs távolság tengelyénél maximum távolságnak 30 métert adtam meg.

5.4.2. Mintagyűjtés, minta előkészítés és dendrokronológiai elemzés

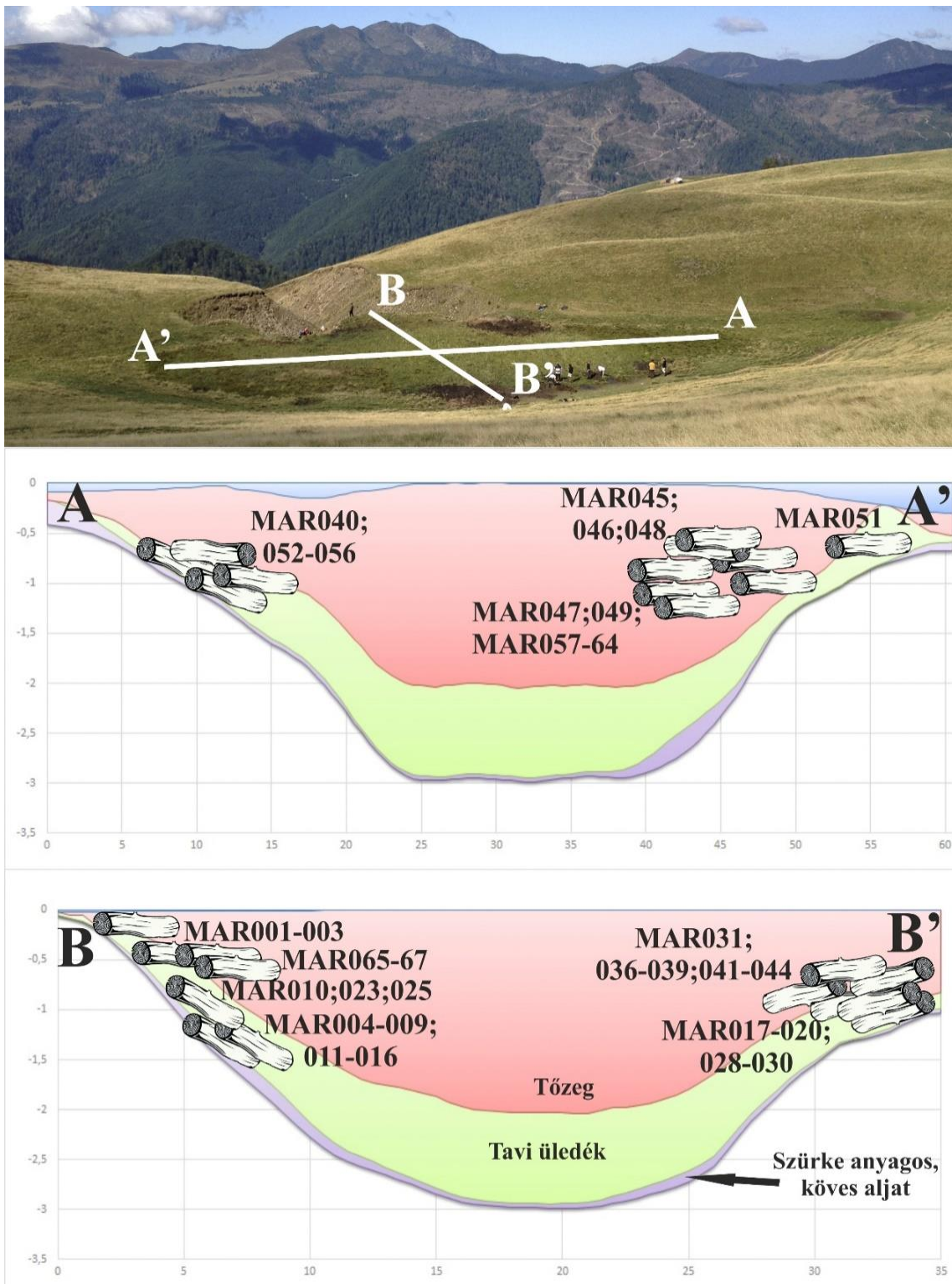
Összesen öt terepi mintagyűjtési akció alatt 67 darab famaradványt sikerült felszínre hozni és megmintázni. Az 5-10 centiméter vastagságú fakorongok mintavétele kézi,- vagy motoros láncfűrészsel valósult meg. A mintavételnél külön figyelem irányult, hogy amennyire lehetett a gyökérzethez minél történjen a korong kimetszése, azért, hogy a legtöbb évgyűrűt tartalmazza a levett korong, és, hogy a csírázási időpontra is a lehető leginkább reprezentatív adatot nyerhessek. Minden fatörzsből egy korong került levágásra, majd címkézésre és csomagolásra (három betű és három számjegű kódolással folytonos számozással: *MAR001 - MAR067*). A minták lapon belüli helyzetét kétféleképpen lehetett meghatározni. A lapon nyugati szélét elérő hátravágódó vízmosás által feltárt szelvényben szabad szemmel is felfedezhető famaradványok, kilógó törzsek (2. kép).



2. kép: A vízmosás által feltárt lápprofil és a felszínre került, valószínűleg kimosott fatörzsek
(Fotó: Nagy B. 2014)

A lapon többi részén a mintakeresés egy 20 mm átmérőjű 1,5 méteres acélrúd szondával történt. Habár a fúrások eredményei megmutatták, hogy a lapon aljzata akár 3 méterre is lehet a felszíntől, azonban a 1,5 méternél mélyebben fekvő esetleges mintákat a munkagödrök vízzel feltöltődése miatt lehetetlen volt ásással a felszínre hozni. A lapon interpolált rétegszerkezete alapján a profil harmadát kitevő organikus makrofossziliákban (kéregdarabok, tobozok, faágak és törzsek) gazdag tavi üledék található. A lapon felső kétharmadát kitevő nagyrészt

tőzegmohából álló réteg csupán a faminták kisebb százalékát tartalmazta (7. ábra). A legtöbb famaradvány a 0,5 és 1,5 méter mélység közötti rétegből került elő, valamint pár minta a torrens felőli oldalon már a felszínen feküdt.

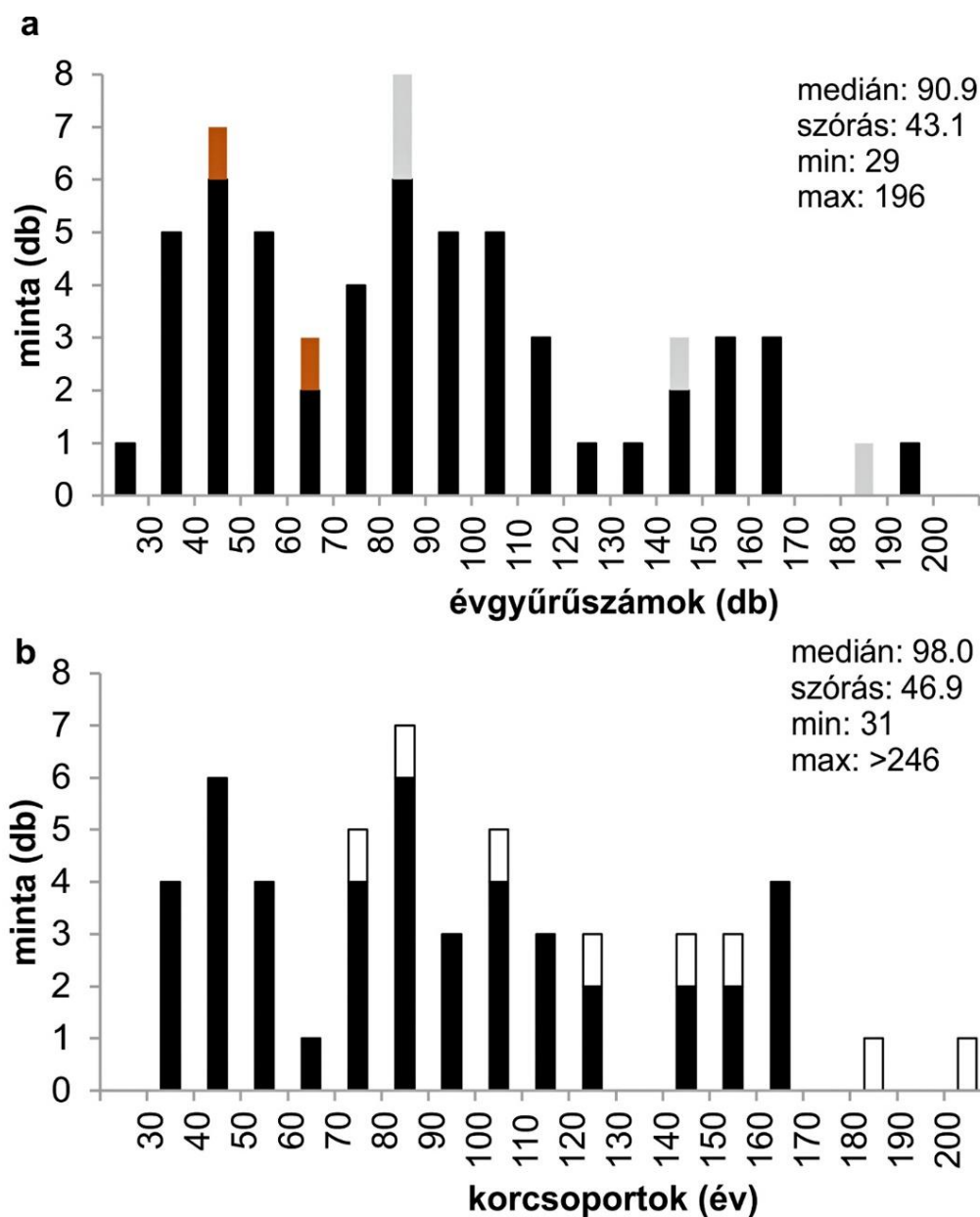


7. ábra: A 67 faminta üledékföldtani elhelyezkedése a lápon belül.

A faminták felszínét gépi szalagcsiszolóval munkáltam meg egészen addig, míg a sejtszerkezete tisztán láthatóvá nem vált. A faanatómiai vizsgálatokat binokuláris mikroszkóppal végeztem el, az anatómiai azonosító jegyek értelmezéséhez a következő szakirodalmi forrásokat használtam fel: SCHWEINGRUBER 1990, 1996, 2001, 2007, SCHWEINGRUBER ET AL. 2006, BUTTERFIELD ET AL. 1997.

A faminták nagy többségét, összesen 58 darabot, lucfenyőként (*Picea abies* (L.) H. Karst) azonosítottam, míg 7 mintát jegenyefenyőként (*Abies alba* Mill.), valamint 2 famintát bükkként (*Fagus sylvatica*). A minimum illetve maximum évgűrű szám a mintákban 29 valamint 196 darab (8. ábra/a). A 7 jegenyefenyő minta egy, a lápból előkerült faácsolatból származik, amelynek ismeretlen a rendeltetése, valamint az alapanyagául szolgáló fák származási területe is. Az ismeretlen származási hely miatt a későbbi elemzésekből kihagytam az ácsolat alkotta faanyagokat, melyek a minták koreloszlásában sem jelennek meg, valamint külön tanulmányban tervezem tárgyalni az elemzését. A minták koreloszlásánál nem vettem figyelembe továbbá a bükk mintákat (MAR036, MAR062), az ágakat (MAR026, MAR027, MAR060, MAR061), valamint egy további lucmintát ahol felmerült a lehetőség, hogy egy már megmintázott fából származik (mintakód: MAR042 és MAR043), így a későbbiekben összevont átlagukkal számoltam az elemzésekben (8. ábra/b). A faágak esetében nagy valószínűséggel egy törzsből származnak az egyes párok (MAR026-027 és MAR060-61), így a későbbi évgűrűelemzéseknél a párok közül mindenesetben a vastagabbik, több gyűrűt tartalmazót vettem csak figyelembe.

A dendrokronológiai elemzésre előkészített minták évgűrűit minimum két sugár mentén számoltam le. A szubfosszilis fák esetében számos esetben (különösképpen, ha már a felszínre is került), három vagy akár négy sugár mentén is érdemes számolni későbbiekben mérni a mintákat, minimalizálva a mérési hibákat, amelyek száradásból valamint a rétegnyomás hatására kialakult deformációkból adódhatnak (ERONEN ET AL. 2002, BERNABEI ET AL. 2018). A minták évgűrűszélesség-mérése számítógéphez csatlakoztatott LINTAB mérőasztalon valósult meg 0,01 milliméter pontossággal, TSAP szoftverkörnyezetben (RINN 2005), valamint a görbék grafikus összehasonlítását, keresztdatálását is a TSAP szoftver keretei között végeztem el (COOK & KAIRIUKSTIS 1990, POPA 2004, SPEER 2010). A minták teljes feldolgozását, a csiszolástól a kronológia építésig a Budapest Évgűrű Laboratórium berendezéseit használva végeztem el (KÁZMÉR & GRYNÆUS 2003). A keresztegyezésekhez a klasszikus dendrokronológiai statisztikai mérőszámokat vettem figyelembe, úgy, mint együttfutási százalék (GLK – Gleichläufigkeit % ECKSTEIN & BAUCH 1969) és módosított t érték (t_{BP} BAILLIE & PILCHER 1973).



8. *ábra: A faminták eloszlása évgyűrűszámaik alapján. a: A 67 db minta tíz éves korcsoportokba rendezve a számolt évgyűrűszámok alapján. Barna szín jelöli a bükk mintákat, szürke pedig az faágakat b: A minták becsült kora kiegészítve a nem mérhető gyűrűkkel, valamint a becsült hiányzó évgyűrűszámokkal, tíz éves korcsoportokba rendezve. Fehér oszlopok jelölik ahol nem volt becsülhető a hiányzó évgyűrűszám a minta nagyfokú hiányossága miatt, egységesen 50 gyűrűvel lettek kiegészítve. Az alap statisztikák az ábra mindkét panelje esetén a jobb felső sarokban olvasható.*

A minták többsége rendelkezett bélel, 27 minta esetében azonban hiányzott. Megbízható hiányzó évgyűrűszámot tudtam rendelni 19 mintához, grafikus koncentrikus körbebecsléssel (APPLEQUIST 1958), melynek eredményeként megállapítható, hogy 1 és 10 közötti a hiányzó gyűrűszám a 19 minta esetében. Nagyobb belső részt nem tartalmazó minták esetében mindnél

egységesen 50 gyűrűvel becsültem a béli hiányzó gyűrűk számát. Számos esetben ez valószínűsíthetően kevés (pl. MAR002, MAR059), azonban a szubfosszilis lucfenyő populáció korösszetételéhez jobb becslést eredményezett. Mindazonáltal fenntartásokkal kezeltem a korcsoportos-eloszlásban ezeket a mintákat.

Mint jellemző sejtszerkezeti anomáliát, azonosítottam fagygyűrűket is a famaradványokban, amelyek a gyors tavaszi extrém lehűlés anatómiai evidenciájaként értelmezhetők (GLERUM & FARRAR 1966).

5.4.3. Radikarbonos kormeghatározás

Tizenkét minta került kiválasztásra radiokarbonos kormeghatározás céljából. A kiválasztáskor cél volt, hogy lehetőleg a már összerendezett szinkronizált évgyűrű adatsorokból, valamint egyes famintákból is kerüljenek ki. Külön cél volt a bükk minták korának meghatározása. A minták konvencionális sav-bázis-sav (AAA – acid-alkali-acid) előkészítéssel lettek kezelve (MOLNÁR ET AL. 2013A), majd a cellulóz elválasztás után zártcsöves grafitizálásuk történt. (RINYU ET AL. 2013). A radiokarbon elemzést EnvironMICADAS gyorsító tömeg spektrométerrel (AMS) végezték a Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratóriumban, Debrecenben (MOLNÁR ET AL. 2013B). A radiokarbon korok kalkulációja STUIVER & POLACH (1977) ajánlásait követve valósultak meg. A kalkulált korok kalibrációját naptári évekre az OxCal v4.3.2 szoftverrel (BRONK RAMSEY 2017) és az IntCal13 (REIMER ET AL. 2013) kalibráló adatbázist felhasználva végeztem el.

Ha dendrokronológiai alapokon nyugvó szinkronizált évgyűrűkronológiából rendelkezésre áll több radiokarbon mérés is, akkor lehetőség nyílik a kalibrációt úgynevezett *wiggle-matching* technikával (BRONK RAMSEY ET AL. 2001) elvégezni, amely az OxCal v4.3.2 program, *D_sequence* függvényével érhető el (BRONK RAMSEY 2017). Azon előzetes információ birtokában, miszerint ismeretes, hogy a két radiokarbonra kiválasztott évgyűrűszakasz között pontosan mennyi év a különbség, a ^{14}C kormeghatározás hibáját mérsékelni lehet, ezáltal magasabb pontossággal adható meg a kor, mint egyetlen radiokarbon adat hagyományos kalibrációjánál (PEARSON 1986, BOLKA & KRAPIEC 2012).

5.5 Eredmények

5.5.1. A fúrásadatok eredményei

A hátravágódó torrens a lóp elérésével megkezdte az amúgy is rövid életre ítélt tó felemésztését. Nagy valószínűség szerint már tőzegesedő, halódó állóvizet ért el, de a víz fokozatos elvezetésével felgyorsította ezt a folyamatot. A háromdimenziós medermodellel vizsgálhatóvá váltak az egyes rétegek átrendeződését eredményező vízlecsapolási folyamatok. A medermodell rétegeinek pontosabb becsléséhez volt szükséges az iránymenti félvariogramok számítása.

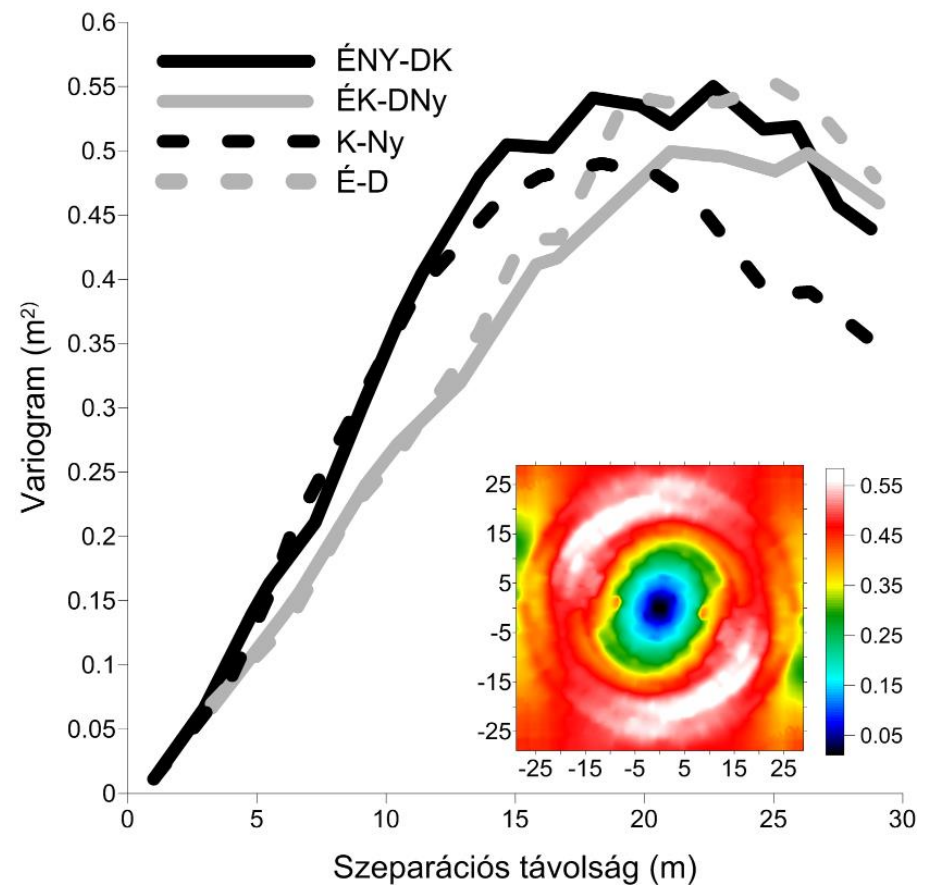
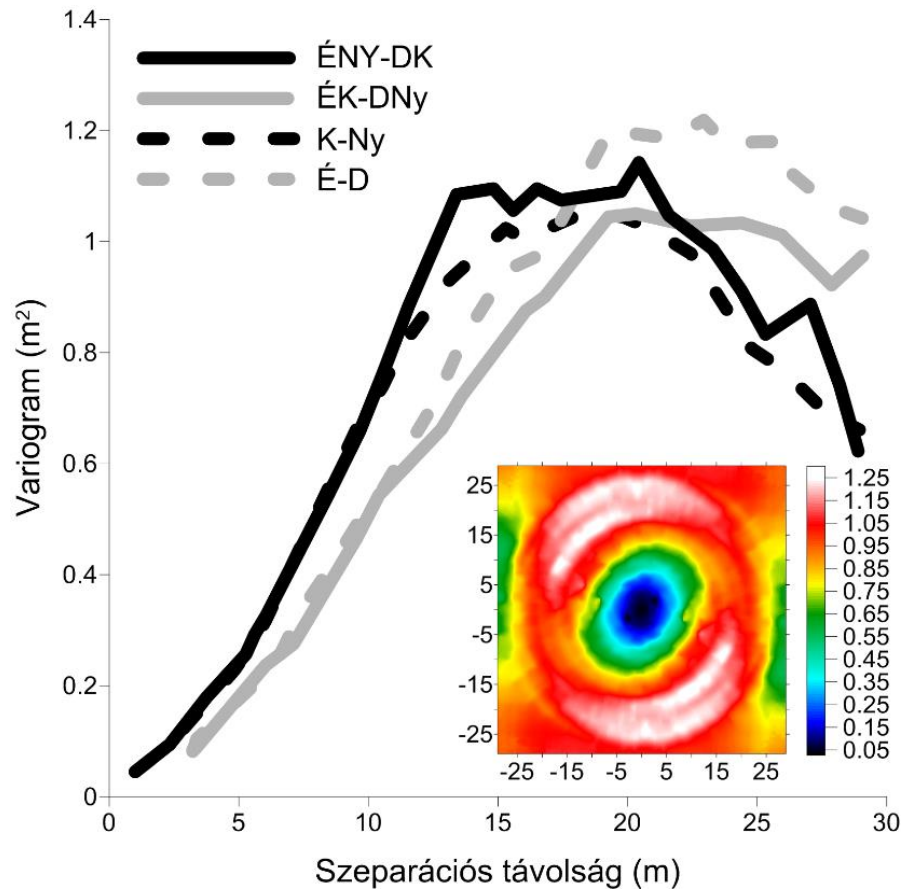
A tavi üledék esetében (9. ábra/bal) a legnagyobb hatástávolság ÉK-DNY irányban mutatkozik, ami mintegy 18 méter. A tőzeg esetében (9. ábra/jobb) az anizotrópiát jelölő legnagyobb hatástávolság szintén az ÉK-DNY irányában tapasztalható, nagysága meghaladja a 20 métert.

A felmért négy réteg közül empirikus iránymenti félvariogramokat két réteg adatai alapján készítettem: a tavi üledék és a tőzeg (9. ábra). Ezen két réteg vizsgálata a legfontosabb, amelyek alapján megfoghatóvá vált az egykori tó feltöltődése és az azt követő lóp fejlődési szakaszhoz köthető feltöltődés. Mindkét réteg esetében a négy főirányban, 45 fokoskénti forgatással, készítettem el a félvariogramokat.

Tehát, mivel

- a tér négy irányába készített félvariogramok mindegyikében a hatás távolság nagyobb volt, mint öt méter és
- mindegyik iránymenti félvariogram értékelhető és nem röghatas típusú volt (a variogramoknak van felszálló ága és utána a variancia körül rendeződnek pontjai; részletekért lásd pl. HATVANI ET AL. 2014);

az adatok iránymenti félvariogramjainak kiértékelése alapján kijelenthető, hogy az 5 méterenkénti terepi mintavétel elegendő a rétegek pontos térbeli interpolációjához.



9. ábra: A tavi üledék réteg adataiból készített irány menti empirikus félvariogramok egységes koordináta-rendszerben és a félvariogram felület (baloldali panel); A tőzeg réteg adatiból készített irány menti empirikus félvariogramok egységes koordináta-rendszerben és a félvariogram felület (jobb oldali panel)

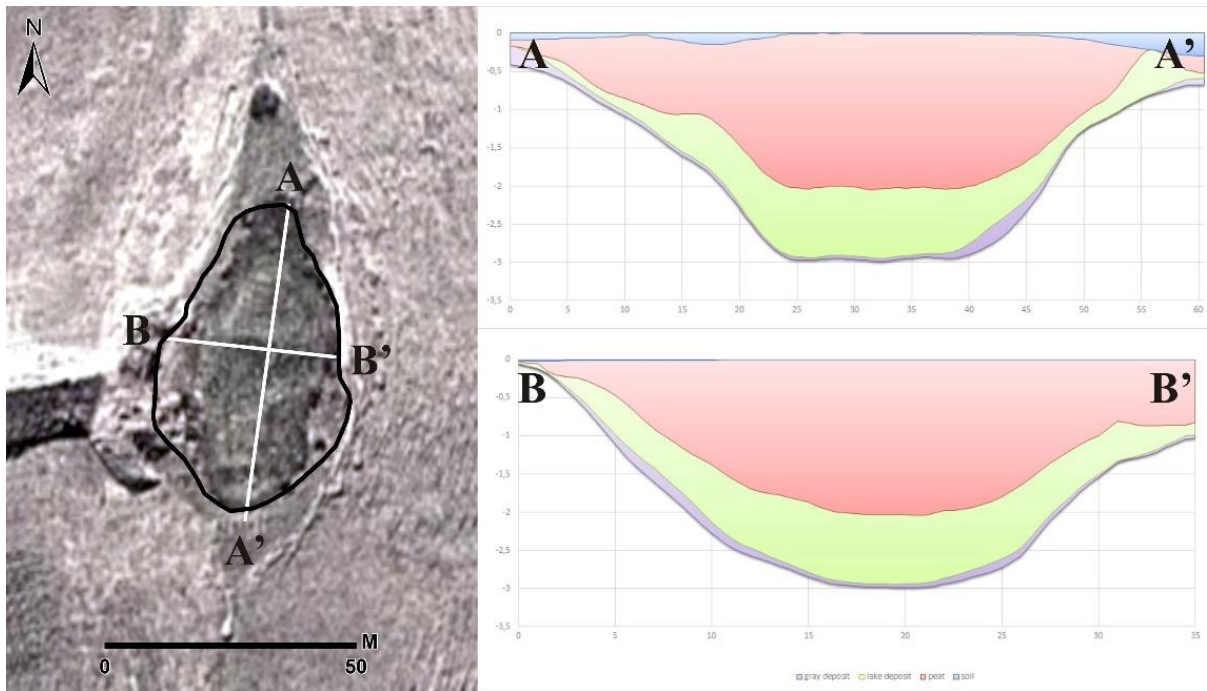
További fontos jellemző, amely a 9. ábrán látható félvariogramokról anizotrópia olvasható le, ami azt jelenti, hogy irányonként változik a hatástávolság nagysága. A hatástávolság eltérő értéke a tér más-más irányába jelöli magát az anizotrópiát, az irányának szöge pedig azt, melyik égtáj irányába van az adatokban a változékonysági különbség. Mindkét réteg esetében egyértelműen tettenérhető ez az anizotrópia, továbbá a megnyúltság irányában pár fokos eltérés tapasztalható. A tavi üledék esetében 65° míg a tőzeg esetében 70° . Természetesen maga a mintavételezés is valamelyest determinálta az anizotrópiát a lópban, azonban a mintavételezés térbeli eloszlása szükségszerűen az egykori tómeder elliptikus alakját követi.

Az anizotrópia síkjának az iránya magának a mélyedést kialakító egykori tömegmozgás síkjának a felszíni metszésvonalát jelöli ki, amely közel merőleges a jelenlegi lejtő dőlésirányára. Mind a négy interpolált réteg keresztmetszeti képe látható két profil mentén a 10. ábrán.

Az „A” profilt az előzőekben közölt anizotrópia szögével megegyező irányban jelöltem ki a lóp megnyúltságának tengelyében, a „B” profil pedig az „A” profilra merőlegesen, a nagy változékonyságot mutató irányba került kijelölésre.

A „B” profil mentén egyértelműen látható, hogy a lóp lejtőhöz közeli partján a tőzeg vastagsága lényegesen nagyobb, mint a lóp többi part közeli részén. A tőzeg az egykori partvonalnál valószínűleg egyenletesen vékonyodik, azonban recens állapotában az tapasztalható, hogy a partra az aktív lejtőről szállítódó hordalék rátelepült.

Az „A” profil déli elvégződésénél szintén a lehordódott anyag miatt vastagabb talajréteg alakult ki, így tőzeg csak minimális mértékben tudott kialakulni és a tavi üledék felett egyből talajtakaró található. A lóp középső területén a legnagyobb a tőzeg réteg vastagsága: több mint két méter. A réteg fenekének egyenetlenségét feltehetőleg a hátravágódó vízmosás vízének eróziós tevékenysége alakította ki. A finomabb szemcseösszetételű tavi üledéket a víz energiája bizonyos helyekről kimosta, így a tőzeg vastagabb rétegben képződött ezeken a részeken.



10. ábra: A tőzeglápon felvett két profil mentén a négy interpolált réteg.

A tőzegláp rétegeinek pontos vizsgálatának az eredményeire támaszkodva világosabban érthető a famaradványok rétegtani helyzete, ezáltal pedig a minták relatív datálása is könnyebben interpretálható.

A medermodellezés eredményeinek a konklúziójaként elmondható, hogy a fúrásadatok alapján készített iránymenti félvariogramok segítségével igazolást nyert a mintavételezési gyakoriság helyes megválasztása, valamint a determinisztikus becslési eljárásoknál pontosabb térbeli interpoláció készült az egyes rétegekre. Az irányonkénti autokorrelációt, struktúrát, valamint a hatástávolságok változásával meghatározott anizotrópiát figyelembe véve interpolált rácspont adatok alapján pontosabb képet kaphattam a tavat kialakító hatásokról és a tőzégképződés egyediségéről is. Ezenkívül az antropogén erdőirtások okozta erózió megerősödésével kialakult vízmosások a tavi üledékekre gyakorolt eróziós hatásai is vizsgálhatóvá váltak.

5.5.2. Évgyűrűszélesség görbék szinkronizálása

A máramarosi szubfosszilis faminták kronológiaépítés célú dendrokronológiai vizsgálatát, az 5.4.2.-es fejezetben kifejtett okok miatt, 57 tűlevelű fatörzsmintán végeztem el. A mért évgyűrűszámok alapján hármass eloszlást mutatnak a vizsgált minták (8. ábra/a), amely jelenség a korcsoportos összehasonlításban figyelembe véve a hiányzó gyűrűk becslését, még hangsúlyosabbá válik (8. ábra/b). Az évgyűrű mintázatok sikeres szinkronizációjához elengedhetetlen a minimális 30 évgyűrűszám, azonban a nagyon biztos, erős statisztikákkal

rendelkező kereszttegyezéshez a vizsgált mintáknak minél több gyűrűvel kell rendelkezniük. A máramarosi famaradványok esetében 17 darab minta tartalmaz 60 gyűrűnél kevesebb mérhető gyűrűt, azonban 12 minta 120 gyűrűnél többet tartalmaz, amelyek hosszukkal rendkívül értékesnek bizonyultak a dendrokronológiai elemzésekben. A minták nagy többsége (47db) a szinkronizációk során összesen 7 csoportba voltak rendezhetők (*melléklet 2-től 8-ig*). Minden három vagy több mintát tartalmazó csoport külön megjelenést kapott. Elnevezésüket az MM, mint Máramaros (Maramureș) betűkód és folytonos számozás adta. Megjegyezném, hogy a számozás nem igazodik kronológiai sorrendhez. A keresztdata-lási elemzési munkák előrehaladtával az egyes elkészült lebegőkronológiák kapták a folytatólagos számozást (MM1 ... MM7). A későbbiekben a relatív vagy numerikus kormeghatározás alapján kerültek elhelyezésre az idővonalon, így elvesztve a számozás szoros egymás utáni rendjét.

A leghosszabb időszakot lefedő lebegőkronológia az MM1-es, amely 9 mintát foglal magába és 259 évet fed le. A második leghosszabb, holtversenyben az MM2 és az MM5, mindkettő 188 évet ölel fel. MM3 kronológia 166 évet fed le és 6 faminta átlaga építi fel, míg a 10-10 mintából felépülő, s ezáltal a legjobban reprezentált idősorok az MM4 és MM2 141 év hosszúságúak. Az MM5 négy famintát tartalmaz, amelyből az egyik (MAR027) ág, így a későbbi dendroökológiai értelmezésekből kihagytam, hiszen nem tudható a törzs mely részén nőtt, így becsülni sem lehet a faegyed csírázását vagy akár kidőlését. Az MM6 öt famintából áll és 103 évet ölel fel. Az MM7 a legrövidebb, mindössze 47 év, és a legkevesebb mintát (3) tartalmazó lebegőkronológia, azonban átfed két másik kronológiával is, viszont a jellegzetes nagyobb növekedést mutató évgyűrűmintázata alapján (*8. melléklet*) külön kezeltem.

A háromnál több mintát tartalmazó kronológiák mellett egy szinkronizált mintapárt lehetett létrehozni (MAR15-39) amely összesen 70 évet ölel fel.

10 mintát nem lehetett sikerrel szinkronizálni, vagy a kevés évgyűrűszám miatti nem megbízható statisztikai eredmények vagy az egyéni növekedési sajátosságok miatt. A két bükk mintánál kísérletet tettem, hogy egy mintapárnak összeillenek-e, de az alacsony évgyűrű szám itt sem kedvezett az elfogadható statisztikai eredményeknek, így továbbra is külön kezeltem a mintákat.

5.5.3. Radiokarbonos kormeghatározás eredményei

Az épített lebegőkronológiák közül az MM6-os nem rendelkezik radiokarbonos kormeghatározással. A tülevelű famaradványok közül legfiatalabb kort az MM3-as kronológia kiválasztott mintán végzett elemzés adta (*Táblázat 2.*). Ezenkívül még az MM5-ös és az MM7-es rendelkezik egy-egy darab ¹⁴C méréssel. Az MM1, MM2, MM4 esetében több ¹⁴C kor segítette a pontosabb datálást, a fentebb már említett (*5.4.3. fejezet*) wiggle-matching

technikával. Az MM1 esetében a két radiokarbon kor között a becsült évgyűrűkülönbség 81 darab. Az MM2-nél a három ^{14}C kor dendrokronológiailag meghatározott időbeli távolsága 54 és 71 év. Az MM4 esetében a két radiokarbon kor közti átlagos eltérés 25 év. A radiokarbon korok kalibrálása az OxCal 4.3.2-es programmal valósultak meg (BRONK RAMSEY 2017), az IntCal13-as kalibráló görbe (REIMER ET AL. 2013) alapján (9. és 10. melléklet).

A wiggle-matching technika segítségével figyelemreméltó eredmény a kalibráció során kapott időbeli kiterjedés jelentős megszorítása (Táblázat 2.). A Bayes-féle wiggle-matching radiokarbon korok az MM1 esetében (11. ábra/a) a kidőlés dátumának utolsó évgyűrűje 537 – 582 cal AD, az MM2-nél (11. ábra/b) a dátum 626 – 652 cal AD, valamint az MM4-nél (11. ábra/c) pedig 855 – 941 cal AD. Az OxCal program egyezési indexe (A%), minden minta esetében elégséges volt, azonban egy esetben (MAR001), az érték nem érte el a megfelelő szintet. A kor további kalibrációjában nem vette figyelembe a MAR001-es mintát, azonban jelentős különbséget nem kaptam. A felső és alsó határa 95,4% valószínűségi tartomány mellett átlagban 4 év volt, nagyobb időbeli eltolás nélkül. A wiggle-matching technikában ezen oknál fogva kihagytam, azonban a 11. ábra B paneljén megjelenítettem. A nem tisztázott körülmények miatt megjelenő, nem elfogadható radiokarbon kor, rávilágít az évgyűrűsorozatok szinkronizációjának a jelentőségére. Ha szimpla ^{14}C korrall rendelkezik a faminta, nem nyílik lehetőség a kapott kor validálására. Jelen esetben, mivel a radiokarbonra kiválasztott évgyűrűszakasz a fa fiatalabb részéből származik (25-27. évgyűrű a MAR001-es fa életében), elképzelhető, hogy idősebb korhoz tartozik, de a fiatal fa növekedésében a ^{14}C más kort adott.

A két bükk minta, habár gyenge statisztikákkal hasonlítottak egymáshoz, végezetül a radiokarbon vizsgálat alapján megállapítható, hogy nem egykorúak.

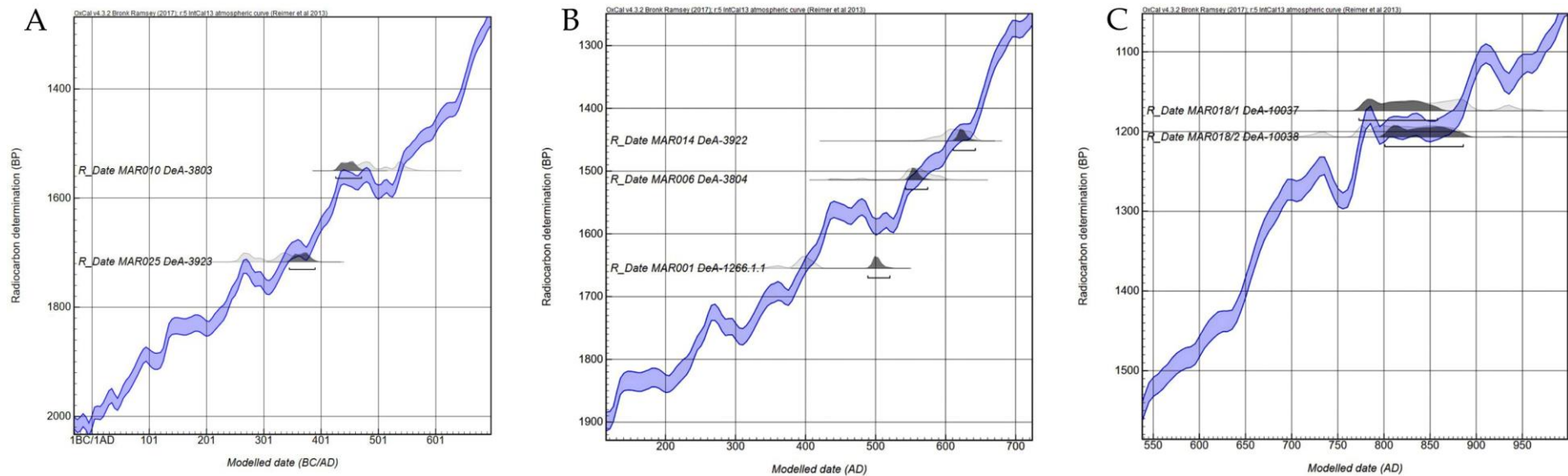
Táblázat 2. A kronológiába rendezett faegyedek közül kiválasztott minták konvencionális és kalibrált radiokarbon kora. A nem modellezett tartomány az egyes kalibrációk eredménye, ahol pedig alkalmazható volt az esetben a wiggle-matching technikával modellezett becsült tartomány található. A kalibrált korok utáni zárójelben a nem modellezett kalibrált korok 2σ tartomány több valószínűsíthető szakaszát prezentálja százalékos megoszlásban.

	Mintakód	n ^a	lab.kód ^b	¹⁴ C kor BP	nem modellezett		modellezett		A (%) ^c
					kal. AD (95.4%)	kal. AD (95.4%)	kal. AD (95.4%)	kal. AD (95.4%)	
					-tól	-ig	-tól	-ig	
MM	MAR003	4	DeA- 1267.1.1	1039±16	984	1023	-	-	-
	MAR001	3	DeA- 1266.1.1	1655±15	346 378	370 (12.2%) 422 (83.2%)	489	515	0.5
MM2	MAR006	4	DeA-3804	1514±17	435 472 534	448 (2.2%) 486 (3.5%) 603 (89.7%)	543	569	141
	MAR014	2	DeA-3922	1452±18	574	645	614	640	111
MM1	MAR010	5	DeA-3803	1550±17	427	558(95.4%)	426	471	106
	MAR025	3	DeA-3923	1717±19	255 315	303 (34.9%) 388 (60.5%)	345	390	92
MM4	MAR018/1	4	DeA-10037	1174±25	771 922	900 (87.7%) 949 (7.7%)	772	858	104
	MAR018/2	6	DeA-10038	1207±26	718 766	743 (6.8%) 890 (88.6%)	800	886	108
MM5	MAR017	9	DeA-10036	1297±33	660	770	-	-	-
MM7	MAR012	6	DeA-10035	1543±26	426	576	-	-	-
Fagus	MAR036	8	DeA-10039	1281±26	670	770	-	-	-
Fagus	MAR062	14	DeA-10040	710±24	1261 1370	1300 (91.4%) 1380 (4.0%)	-	-	-

^a: a radiokarbonos kormeghatározáshoz használt évgyűrűszám

^b: a debreceni AMS laboratórium egyedi kódja (MOLNÁR ET AL. 2012)

^c: az OxCal wiggle-match modell egyedi egyezési százalék értéke

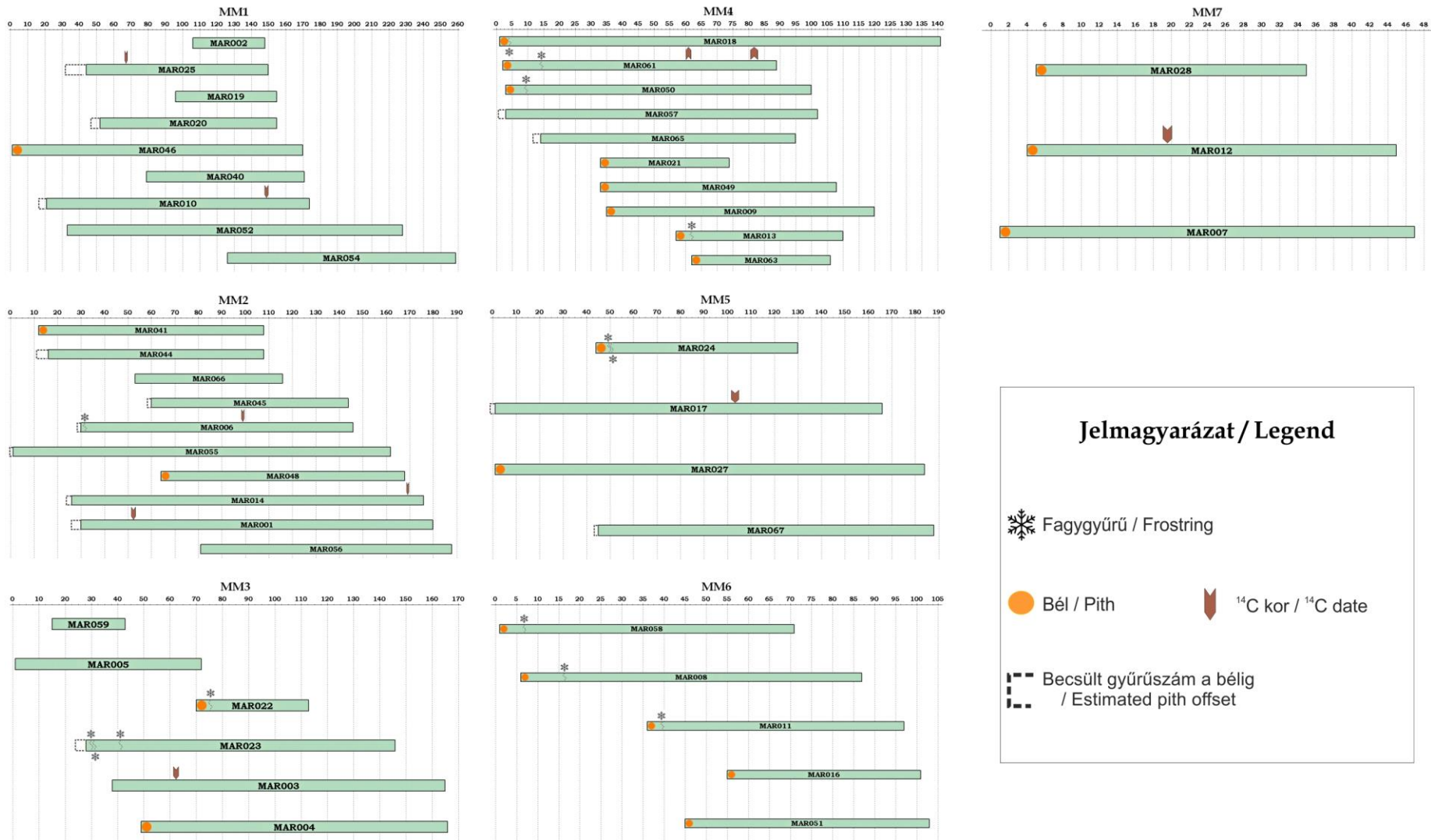


11. ábra: Az MM1 két mintájának radiokarbon korának pontosítása wiggle-matching technikával (DeA-3803 mintakód jelöli a MAR010-es, míg a DeA-3923 kód pedig a MAR025-ös famintát). A sötétszürke görbe mutatja a csökkentett valószínűségi szakaszt az ismert előzetes dendrokronológiai információ alapján, miszerint a két mérés közti átlagos gyűrűszám 81 (A); Az MM2 három mintájának radiokarbon korának pontosítás wiggle-matching technikával (DeA-3922 mintakód jelöli a MAR014-es, a DeA-3804 kód a MAR006-osat, míg a DeA-1266.1.1 pedig a MAR001-es famintát). A sötétszürke görbe mutatja a csökkentett valószínűségi szakaszt az ismert előzetes dendrokronológiai információ alapján, miszerint a mérések közti átlagos gyűrűszám 54 és 71 (B); Az MM4 két mintájának radiokarbon korának pontosítása wiggle-matching technikával (DeA-10037 mintakód jelöli a MAR018-as minta fiatalabb radiokarbon korral jellemezhető szakaszát, míg a DeA-10038 kód pedig az idősebb szakaszt). A sötétszürke görbe mutatja a csökkentett valószínűségi szakaszt az ismert előzetes dendrokronológiai információ alapján, miszerint a két mérés közti átlagos gyűrűszám 25 (C)

5.5.4. Összehasonlítás a környékbeli mesterkronológiákkal

A környékbeli leghosszabb lucfenyő mesterkronológiák utolsó keltezett gyűrűje 1676 AD (Csornahora hg., 30 km-re északra a mintaterülettől, KACZKA & BÜNTGEN 2007) illetve 1588 AD (Kelemen-havasok, 100 km-re délnyugatra a mintaterületről, POPA & SIDOR 2010). A máramarosi lebegőkronológiákon végzett radiokarbonos kormeghatározás valamint a minták rétegtani elhelyezkedésükből adódóan mind két mesterkronológia végdátumánál idősebbek a szubfosszilis famaradványok.

Az évgyűrűkronológiák földrajzi érvényességi tartománya miatt kétséges messzebről származó mesterkronológiákkal megpróbálni a szinkronizációt. Azonban a hegyvidéki régiókban világszerte, ahogyan a Kárpátokban is, az elsődleges növekedést limitáló faktor a túlevelű fák esetében a nyári hőmérséklet (SAVVA ET AL. 2006, BÜNTGEN ET AL. 2007). Erős klímászignálként megjelenő limitáló tényező a magasabb tengerszintfeletti magasságokban nagyobb területen is kiterjedhet, ahogyan a Máramarosi-havasok szomszédságában fekvő Radnai-havasok esetében is (TIMIȘ & POPA 2010). Az utóbbi évek kutatásai rámutattak, hogy a Keleti-Kárpátok területén 1300 m tengerszintfeletti magasságot meghaladó lucfenyves régiókban a legerősebb növekedést limitáló éghajlati paraméter a nyári hőmérséklet (SIDOR ET AL. 2015), amelyet egy független kutatás is megerősített hasonló eredményeivel (PRIMICIA ET AL. 2015). A magasan fekvő régiók közös éghajlati szignálja lehetőséget nyújtott, hogy szinkronizációt végezzek a nyári hőmérsékletre érzékeny kelemeni cirbolyafenyő kronológiával (POPA & KERN 2009). A keresztdatálásra tett kísérletet a szakirodalmi források mellett megerősítette a radiokarbonos kormeghatározás eredménye is. Az MM3 lebegőkronológia utolsó gyűrűi az 1087 – 1126 AD időszakra tehetőek, amely át fed a kelemeni cirbolya kronológia idős szakaszával. Rétegtani megfigyelések alapján a szinkronizált mintapár (MAR15-39) is alkalmasnak minősült mesterkronológiai összehasonlításra. Mindazonáltal a tűzegláp, mint mintaterület egyedi helyzetétől nem lehet eltekinteni, ugyanis a lápon vagy a szélén növő fák esetében növekedés befolyásoló tényező lehet a vízszintingadozás is (EDVARDSSON ET AL. 2012, EDVARDSSON & HANSSON 2015). Valószínűsíthető, hogy a legtöbb faminta a láp szélén nőtt, így vízszintingadozás általi egyedi évgyűrűmintázatok alakulhattak ki bennük. A szinkronizálási kísérlet a mesterkronológiához, az MM3 és a MAR15-39-es mintapár esetében sem hozott biztos eredményt. Alacsony statisztikai eredményeket magyarázhatja a kevés átfedő évek, vagy a kelemen-havasi mesterkronológia korai szakaszának alacsony mintaszáma is. Ezenkívül lehetséges, hogy a tűzegláp szélén növő fák növekedése az epizodikus vízszintingadozások miatt egyedi évgyűrűmintázatok alakultak ki, ezzel háttérbe szorítva a hőmérsékleti jelet a faminták évgyűrűjellemezőiben.



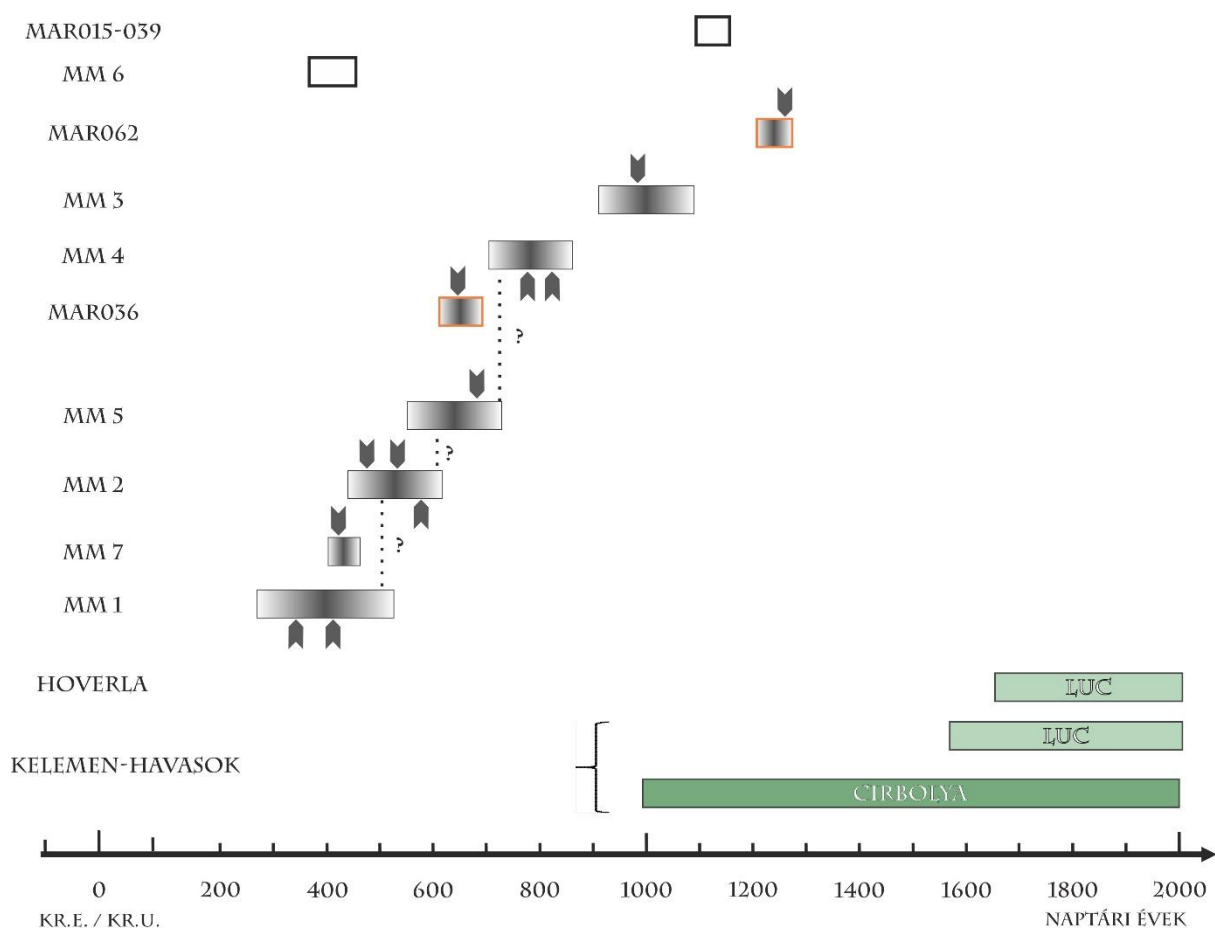
12. ábra: A hét máramarosi lebegő kronológia. Sárga kör jelzi a minták elején, ha béllel rendelkeznek; a minták fiatal (bal) végén szaggatott vonal mutatja a bélíg hiányzó évgyűrűk becsült számát; hófehély szimbólum jelzi a fagygyűrűk mintán belüli pozícióját, míg barna nyíl prezentálja a ¹⁴C korok mintán és kronológián belüli helyzetét, szélességük a kiválasztott évgyűrűszámok tekintetében változik. A mintasávok a végdátum, azaz kidőlési dátum szerint vannak rendezve az egyes kronológiákban, kivéve az MM4 esetében ahol a nagy bélszám miatt csírázási dátum szerint van rendezve.

5.6 Következtetések

5.6.1. A faminták relatív sorrendje

A radiokarbon korok mellett a famaradványok egymáshoz viszonyított rétegtani helyzete segítette a lebegőkronológiák és a mintapár időbeli sorrendjét felállítani (13. ábra). A legidősebb szakaszt átölelő lebegőkronológia az MM1, amely egészen a 2. század végéig ér el. Az MM2 és MM7 kronológiák rendelkeznek átfedő szakasszal, azonban a gyenge statisztikai eredmények miatt külön kronológiákban maradtak. Nagy valószínűség szerint csak rövid szakaszt fednek át, amely az MM2 esetében a legfiatalabb az MM1 esetében a legöregebb szakaszra esik, amely időszakokban a fák növekedési anomáliái merően eltérők lehetnek. Az MM5 és MM4 is rendelkezik átfedő szakasszal, valószínűsíthető ez esetben is, hogy oly kevés gyűrű fed át, hogy a biztos keresztdatalás nem lehetséges. Az egyik bükk faminta (MAR036), is a két kronológia időszakára tehető, azonban a fafajok közti keresztdatalás még azonos törzsön belül is kétséges lehet, nyitva,- és zárwatermő fafaj esetében pedig igen valószínűtlen. A legidősebb kronológiától mintegy 300 évnyi időbeli távolságra dataálta a ¹⁴C módszer az MM3 kronológiát, valamint még fiatalabb kort kapott a másik bükk minta (MAR062).

A radiokarbon korral nem rendelkező lebegőkronológiák (az ábrán üres négyszög jelöli) közül az MM6-os famintáinak a rétegtani helyzete adta a viszonylagos elhelyezkedést a többi kronológiához képest. A MAR015-039-es mintapár esetében az elhelyezkedését az idősávon egy gyenge statisztikákkal bíró (GLK 70%, T_{BP} 2,9, dátum: 1064-1133) keresztdatalás eredménye szolgáltatta, amelynél a mestergörbe a kelemen-i cirbolyafenyő-kronológia (POPA & KERN 2009) volt. Az eredmény fenntartásokkal kezelendő, ugyanis egyrészt a mintapár rövidege (70 év), másrészt az eltérő mértékű évgyűrű-növekedés miatt valószínűsíthető, hogy a mintapár faegyedei inkább a lápon növekedtek, így problémás lehet az összevetése a hőmérséklet-érzékeny cirbolyafenyő adatsorával.



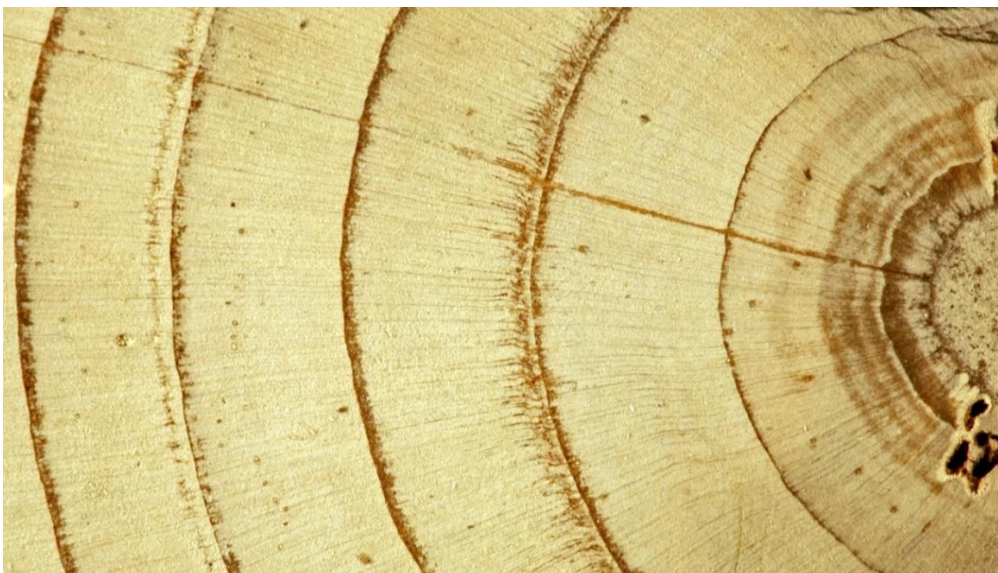
13. ábra: A hét lebegőkronológia elhelyezkedése az idővonalon a radiokarbon korok és a rétegtani megfigyelések alapján. Szürke színátmenetes sávok jelzik a radiokarbon kormeghatározással rendelkező kronológiákat. Szürke nyilak jelölik a ^{14}C korok szakaszait. Barna keretű színátmenetes sávok a bükkminták, az üres sávok a relatív rétegtani helyzet alapján kerültek elhelyezésre. Pontozott függőleges vonalak a kérdéses átfedő szakaszokat mutatják. A zöld sávok a környékbeli elérhető mesterkronológiák (Hoverla lucfenyő, KACZKA & BÜNTGEN 2007; Kelemen-havasok lucfenyő, POPA & SIDOR 2010; Kelemen-havasok cribolyafenyő, POPA & KERN 2009)

További érdekes megfigyelés, hogy meglepő differenciálódás figyelhető meg kronológiákat felépítő minták beleinek meglétét és állapotát illetően (12. ábra). A fiatalabb korcsoportban figyelhető meg inkább a bél megléte, míg az idősebb korcsoportokban csupán egynéhány mintánál detektálható épnek, valamint magas arányban található nagyméretű hiányzó farész. Ez összhangban van azzal a jelenséggel, hogy a korcsoportok relatív korát állapotuk szerint is lehet ellenőrizni, mivel a fiatalabb minták jobb megtartásúak kevésbé sérültek, mint az öregebb minták.

5.6.2. *Fagygyűrűk megjelenése a szubfosszilis mintákban*

Közel 5400 gyűrű mikroszkópos vizsgálata után a szubfosszilis anyagban 29 fagygyűrűt azonosítottam. Az összes fagygyűrűt a korai pásztában figyeltem meg (14. ábra), amelyek okozója tavaszi vagy kora nyári fagyeseeményt lehetett. Fagysérült gyűrűket általában lucfenyőkben figyeltek meg (PANAYOTOV ET AL. 2011, BICZYK & KACZKA 2014), de a környékbeli régióban leírták más tűlevelű fafajoknál is (POPA ET AL. 2006, PANAYOTOV & YURUKOV 2007, KERN & POPA 2008). Habár a szubfosszilis fagygyűrű adatok erősen limitáltak, mégis érdekes lehetőségek nyújtanak a modern feljegyzésekkel való összehasonlításra. Nem azonosítottam fagysérülést 15 évnél idősebb korban lévő gyűrűben. Ez egybecseng a jelenkori megfigyelésekkel is, miszerint nagyrészt juvenilis fában azonosíthatóak fagysérülések (PANAYOTOV ET AL. 2011, BICZYK & KACZKA 2014). Ezenkívül a fagygyűrűk időben nem esnek egybe az egyes mintákon (12. ábra), valószínűsíthető, hogy a lebegőkronológiák időszakában nem volt jellemző a területen a nagy kiterjedésű extrém fagyeseemény (POPA ET AL. 2006), azonban az anatómiai jegyek egyértelműen dokumentálják az egyes évek hideg késő tavaszait.

Viszonylag koncentráltan jelennek meg a fagysérülések az MM3 kronológiában 30 és 80 év között (becsült naptári kor a 10. század vége), ahol az azonosított 29 gyűrűből 4 található. Az MM4 lebegőkronológia szintén 4 fagygyűrűt tartalmaz 3 és 65 év között (becsült naptári időszak 8. század eleje). A szubfosszilis faminták elemzése által valószínűsíthető, hogy e történelmi korokban nagyobb gyakorisággal jelentkeztek késő tavaszi fagyok.



14. ábra: A máramarosi MAR007-es mintában azonosított „fagygyűrű” jellegzetes lángnyelves megjelenése. Kora tavaszi fagyeseeményre enged következtetni, hogy csupán 1-2 sejt sor képződött az adott évben a sejtek fagyás okozta összeroskadásig.

5.6.3. Környezetváltozások a mintaterületen

A fejezetben a tőzeglápból előkerült szubfosszilis faanyagok elemzésének az eredményei alapján következtetett környezetváltozások kerülnek bemutatásra. A 16. ábra jeleníti meg az összefoglalt eredmények értelmezését környezetváltozások szempontjából. A rekonstrukciók alapjául egy 2015-ös UAV (Unmanned Aerial Vehicle) alapú felmérés (MÉSZÁROS ET AL. 2016) adataiból előállított felszínmodell szolgált. A legidősebb állapotot az ide vonatkozó 1:25000-es méretarányú román térkép szintvonalalaiból állítottam elő (15. ábra/1). A további időszakok rekonstrukcióit két művelet segítségével készítettem. Egyrészt a vízmosás meredek falú völgyének két völgyvállának magassági pontjai alapján interpoláltam felszínt kitöltve ezzel a vízmosást, másrészt a tőzegláp területén az egyes rétegek mélységi adatait felhasználva (ÁRVAI ET AL. 2015A) számoltam át a felszín modell idevonatkozó értékeit, így megkapva az egykori tómedence alját (15. ábra/2) valamint az azt kitöltő egyes rétegeket (tavi üledék, tőzeg).

A faanyagok vizsgálatát a lelőhely tágabb környezetéből származó palinológiai vizsgálatok eredményeivel hasonlítottam össze, illetve egészítettem ki. A Máramarosi-havasok magasabb, 1500 méter tengerszint feletti régiójában számos tőzegláp található. Nagy figyelmet kapott a Cristina és a Tăul Mare-Bardău valamint a Poiana Știol tőzegláp, amelyekből vett furatminta palinológiai elemzésével elkészült a terület vegetációs rekonstrukciója (FARCAȘ ET AL. 2009, 2013, TANȚĂU ET AL. 2011), valamint a Radnai-havasokban fekvő Buhăiescu Mare tó, a Știol tó és a Tăul Muced tőzegláp furatmintái alapján vegetációra irányuló pollenmezések és hidrometeorológiai rekonstrukciók érhetőek el (GEANTĂ ET AL. 2014, FEURDEAN ET AL. 2015, HALIUC ET AL. 2016, DIACONU ET AL. 2017).

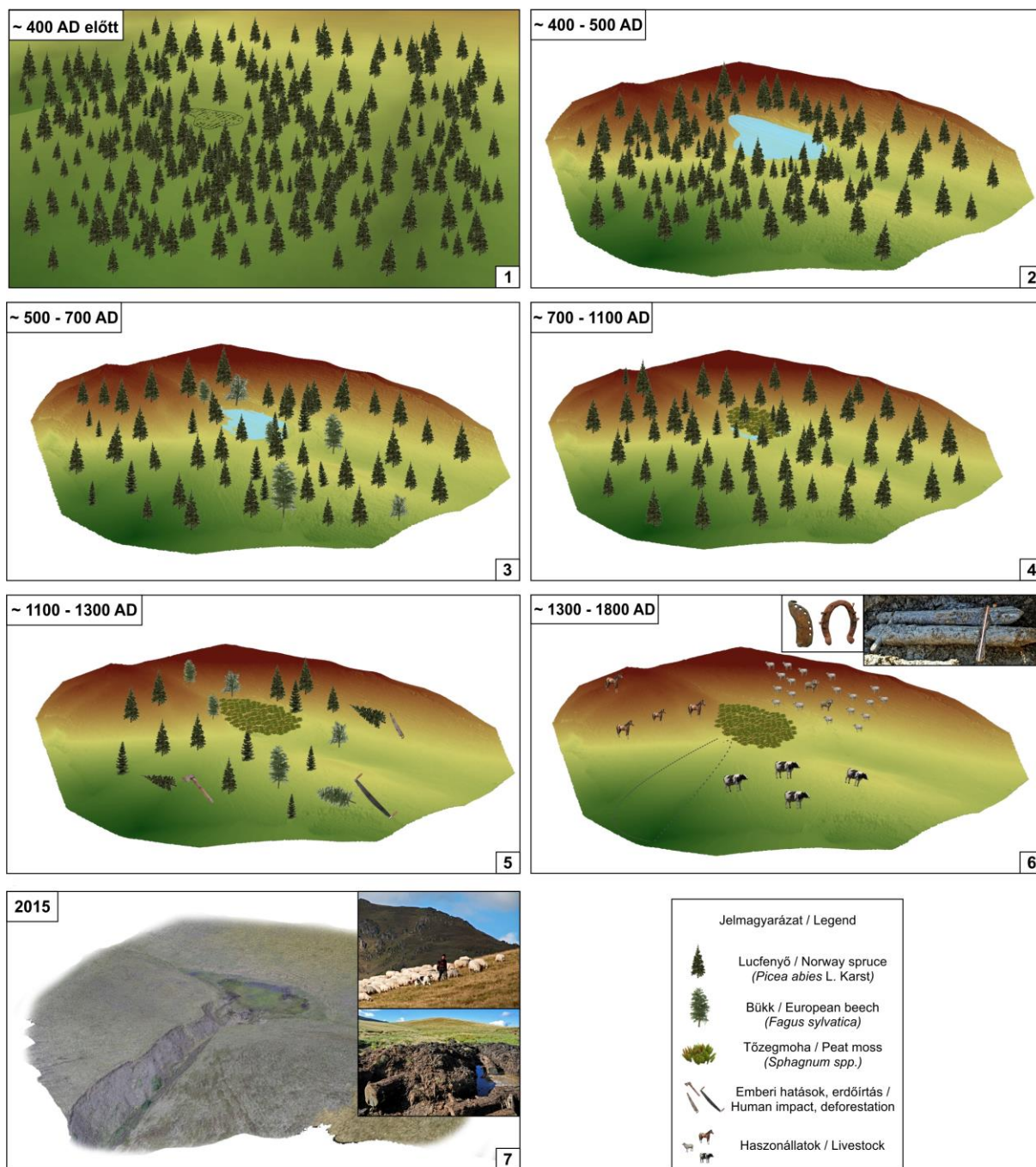
A szubfosszilis faminták kidőlési hullámai jelezhetik az egykori tómedencét kialakító tömegmozgás, vagy több idejű tömegmozgások, esetleges korát. A legidősebb minta (MAR025) korát megelőző időszakban, azaz valamikor az 5. század előtt, nagy kiterjedésű lucfenyvesek borították a hegységi területet (TANȚĂU ET AL. 2011, FARCAȘ ET AL. 2013), valamint a tómedence sem alakult még ki (15. ábra/1).

A jelenleg rendelkezésre álló minták azonban nem mutatnak tömeges egyidejű pusztulást. Mérsékelt, de egybecsengő fakidőlési periódus az MM1 kronológia 155. éve. Bár valószínűleg inkább erdőirtással semmint felszínmozgással függ össze kidőlésük, azonban a becsült kidőlési dátumok (433 – 478 AD) azt sugallják, hogy a tómedence az 5. században már létezett (15. ábra/2).

A legidősebb fakidőlési csúcsot az MM1 155. évében azonosítottam. A MAR019 és MAR020-as megőrződött utolsó gyűrűje és azonos kidőlési dátuma egyidejű kidőlést mutat. Emellett a MAR025-ös utolsó gyűrűje 5 évvel korábbi, azonban az erodált széle alapján

feltételezhető, hogy pár gyűrű elveszett onnan. A három minta alapján egy becsült kidőlési dátumot lehet megadni 433 – 478 AD közötti időszakra. Az MM1 további három mintája (MAR046, MAR040, MAR010) is hasonló, egymáshoz nagyon közeli, kidőlési dátumot mutat, kevesebb, mint 20 évvel az előző kidőlési hullám után.

A 6. és 7. század a legnagyobb mintaszámmal reprezentált szakasz, az elemzett minták 44%-a ezt az időszakot fedi le. A mintaterület, 1500 méter tengerszintfeletti régióban a vizsgált időszakon belül a 7. században jelenik meg először a bükk (mintakód: MAR036; 13. ábra és 15. ábra/3), amely a klimatikusviszonyok megváltozásának evidenciájaként értelmezhető. A Radnai-havasokban található Poiana Ştiol tőzegláp üledékeiben konzerválódott pollenek arányaiban is megemelkedik a bükk aránya. A Tăul Muced tőzegláp üledékeinek elemzése alapján a régió éghajlatának átmeneti periódusa ez az időszak ahol a *chironomidae* (árvaszúnyogok) alapján rekonstruált közel 2000 évig tartó relatív melegebb és száraz időszak (DIACONU ET AL. 2017) fordul át jóval nedvesebbé és hűvösebbé (FEURDEAN ET AL. 2015, DIACONU ET AL. 2017). A hosszan tartó melegebb, száraz időszak nem kedvez a lucfenyvesek vitalitásának (KOLOSZÁR 2010), valamint az éghajlat nedvesebbé fordulása miatt a tó hidrológiai viszonyai is megváltozhattak. A csapadékosabb időszak és az emelkedő talajvízszint (DIACONU ET AL. 2017) is okozhat nagyobb arányban fakidöléseket a tóperemen növő állomány körében. Ugyanebben az időszakaszban a fásszárú vegetáció nagyarányú csökkenést mutat (FARCAŞ ET AL. 2013), amely megmutatkozik a feltárt, jelentős mennyiségű kidőlt fatörzsekben is. Valószínűsíthető, hogy természetes folyamatok alakíthatták a vegetáció összetételét, ugyanis sem a Máramarosi-havasok régiójából származó pollenelemzések nem mutatnak nagymennyiségű *urticaceae* (csalánfélék) pollent, amely szignifikáns atopogén indikátorként jelenik meg (FARCAŞ ET AL. 2013), sem a Radnai-havasok két tavából vett üledékfuratok elemzése sem mutatnak erdőégetésre utaló nagyarányú mikro,- és makropernyét (GEANTĂ ET AL. 2014). Mindemellett a meredeken csökkenő lucpollennel párhuzamosan nem mutatkozik csökkenés a terület bükk állományában (FARCAŞ ET AL. 2013), amely szintén inkább a klimatikusviszonyok változását támasztja alá.



15. ábra: A tőzegláp területének környezetváltozása az elmúlt 1600 évben. **1:** Az 5. század előtti tómeder nélküli állapot, sűrű lucfeny vessel. **2:** 5-6. század, a kialakult tómedence lucfenyő erdővel. **3:** 6-7. század, a bükk első megjelenése a vizsgált időtávban, vegyes erdők veszik körbe a feltöltődő tómedencét. **4:** 8-11. század, tőzegesedő láp, lucfenyők a láp szélén és a lápon is nőnek. **5:** 12-13. század, tőzegláp, a bükk második megjelenése, vegyes erdőségek és emberi erdőirtások kora. **6:** 14-18. század, fás vegetáció nem található a területen, nagyfokú emberi jelenlét nagyszámú állatállománnyal, kialakuló vízmosással (szaggatott vonal). **7:** A jelenlegi környezet UAV alapú 3D modellje (MÉSZÁROS ET AL. 2016), fejlett vízmosással, fás vegetáció nélkül, tőzegláp vízének nagy része lecsapolódott, nagyszámú állatállomány.

A 8-11. század közötti periódusból (15. ábra/4) egységesen csak lucfenyőminták maradtak fent, lombhullató famaradvány nem került elő. A különböző mértékű növekedést mutató faminták alapján valószínűsíthető, hogy a gyorsabb növekedésű kevesebb gyűrűt tartalmazó fák a lápon, vagy nagyon közel a vízenyős részhez növekedtek, míg a hosszabb évgyűrű adatsorokat tartalmazó, de kisebb növekedésű fák inkább a láp szélén nőttek mélyebb talajvízszint mellett. A időszakot reprezentáló MM4-es kronológia famintáinál két csírázási időszakot lehet elkülöníteni, az első a 8. század legelején, a másodikat mintegy 35 évvel később. Mindkét erdődinamikai változásra utaló egységes csírázás egybeesik a régió túlevelű vegetációjának egy újraerdősülési szakaszával (FARCAȘ ET AL. 2013, GEANTĂ ET AL. 2014). További érdekes megfigyelés a MM4 kronológiában a faminták felénél megjelenő erős növekmény visszaesés a 102. évtől, ami nagyjából a 8 és 9. század fordulójára tehető (4. melléklet). Az ismert vegetációs és éghajlati rekonstrukciók nem mutatnak hirtelen bekövetkező anomáliát, így nagy valószínűség szerint a feltöltődő tó hidrológiai viszonyainak a megváltozása okozta a hirtelen növekmény csökkenést. Kiegészítő információ, hogy az MM4 10 db mintájából 5 fedti le ezt a szakaszt és mind az 5-ben megjelenik a visszaesés, feltételezhetőleg több mintában is megjelenne a csökkenés, ha elérnék ezt az időszakot.

Az 12-14. század minták tekintetében a leg-alulreprezentáltabb időszak, az összes elemzett mintaszám csupán 15%-a fedti le a periódust. A lucfenyőminták mellett ismét megjelenik a bükk (mintakód: MAR062), jelezve, hogy a magasabban fekvő területeken is vegyes erdőségek alakultak ki (15. ábra/5). Az alacsony mintaszám és a környékbeli üledékekből feltárt megemelkedett makropernye mennyiség (FEURDEAN ET AL. 2015, HALIUC ET AL. 2016) az emberi hatások erősödését valószínűsíti, amelyet megerősítenek az időszakban tapasztalható bükk pollen arány csökkenés, valamint a csalánfélék pollenjeinek megjelenése (FARCAȘ ET AL. 2013).

Az utolsó rekonstruált időperiódus a 14-19. század, amely időszakban teljes mintahiátus van (15. ábra/6). A fásszárú vegetáció eltűnése mellett az emberi hatások fokozatos erősödése mutatható ki mind a mikro,- és makropernye, mind a pollenelemzések alapján (FARCAȘ ET AL. 2013, GEANTĂ ET AL. 2014, FEURDEAN ET AL. 2015). Az erdőirtások utána havasi legelőkön nagyszámú állatállományra utal a csalánfélék pollenjének meredek emelkedése (FARCAȘ ET AL. 2013). A visszaerdősülést a folyamatos emberi jelenlét mellett nehezíti, hogy a magasabban fekvő területek jellemző fafajai (lucfenyő, jegenyefenyő, bükk) nem képesek az erdőtüzek utáni regenerációra (FEURDEAN ET AL. 2017) utat engedve ezáltal a tűzzel ellenállóbb fafajok (pl. európai mogyoró – *Corylus avellana*, közönséges gyertyán – *Carpinus betulus*) valamint a lágyszárúak nagytömegű elterjedésének (HALIUC ET AL. 2016). A környékbeli üledékelemzések

eredményei mellett a tőzeglápban talált régészeti objektumok (hegyi lópatkók, faácsolat 16.ábra/6: fotók) mint az emberi jelenlét konkrét bizonyítékai támasztják alá a szinte folyamatosnak mondható emberi jelenlétet a hegyvidéki területen. Az időszak utolsó szakaszában nagy valószínűség szerint már elkezdett kialakulni a vízmosás. A 2. Katonai Felmérés során 1859-60-ban térképezett (JANKÓ 2007) ide vonatkozó szelvényén már megjelenítették a vízmosást, tehát biztos, hogy a 19. század második felében már fejlett torrens létezett a mintaterületen.

A jelenlegi állapotot bemutató panel (15. ábra/7) egy 2015-ös UAV-alapú felmérésből származó mintegy 185 millió pontból generált 37 millió elemi felülettel rendelkező 3D modell (bővebben: MÉSZÁROS ET AL. 2016). A térképi megjelenítések alapján (ld. 5.2 fejezet) az elmúlt 150 évben jelentős felszínborítás-változás nem tapasztalható a területen. Habár a termikus erdőhatár alatti régióban fekszik a mintaterület, az erdőirtások miatt teljesen fátlan a környezet. A tőzeglápban konzerválódott fák (15. ábra/7 alsó fotó) a terület fás vegetációjának utolsó maradványai. A régióban elterjedt hagyományos havasi pásztorkodás nagyszámú állatállománya (15. ábra/7 felső fotó) miatt nem képes a fásszárú vegetáció a magasabb régiók visszahódítására.

Az esettanulmány végén kiemelném a főbb eredményeket. A 2010-ben felfedezett tőzegláp unikális geomorfológiai helyzete a kárpáti hegyvidék első szubfosszilis faanyagok lelőhelyéül szolgált. A láp szisztematikus feltárása, több terepi munkával a minták begyűjtése valamint dendrokronológia elemzése valósult meg. A faévgűrű-vizsgálatokon alapuló kronológiaépítés mellett a fő érdeme az eredmények szintetizáló értelmezése, amely alapján az elmúlt 1600 év legfontosabb környezetváltozásainak a rekonstrukciója valósult meg a mintaterületen. Fő eredmények:

- Sikeresen detektáltam a bükk megjelenését 1500 méter feletti régiókban. Először a 6. majd a 13. században jelent meg a régióban.
- A mintaterület fátlan magassági régiója a 13. és 14. század fordulóján már kialakult, valamint ekkora keltezhető a mai napig jelenlévő transzhumán pásztorkodás elterjedése
- A minták által felölelt időszakban a terület túlevelű erdeinek az összetételét homogén lucfenyő alkotta kizárólag

A konzerválódott idős faanyagok ilyen mértékű komplex vizsgálata újdonságként jelenik meg a hazai földtudományos kutatások széles spektrumában. Egyik fő célkitűzésem az elérhető mesterkronológiák kiterjesztése volt a szubfosszilis holtfák segítségével. Ennek

érdekében az 5.1-es fejezetben felsorolt tőzeglápokat kerestem fel és vizsgáltam át famaradványokat keresve. Sem a Visó-i-havasokban sem a Bárdói-Pietrosz területén található lápok egyikében sem találtam konzerválódott fatörzset. A terepi tapasztalatok alapján felértékelődött a Farcău-tőzegláp, amely az eddig felfedezett egyetlen olyan lelőhely ahol nagyszámban és hozzáférhető mélységben konzerválódtak a fatörzsek. A célom, hogy kiterjesszem a kronológiákat, csakis nagyobb tömegű és hosszabb időszávot átfogó minták elemzésével lett volna megvalósítható, ami a fentebb felsorolt okok, miszerint nem található több minta a lápokban, miatt nem volt kivitelezhető.

6. SZUBFOSSZILIS USZADÉKFAANYAG FAANATÓMIAI ÉS DENDROGEOMORFOLÓGIAI KIÉRTÉKELÉSE ALLUVIÁLIS KÖRNYEZETBŐL

6.1 A vizsgálat bemutatása és kutatási előzmények

Az értekezés keretein belül bemutatott második esettanulmánnyal a szubfosszilis faanyagok másik jellemző konzerváló területéről, a folyóvízi-üledékből előkerült faminták elemzését végeztem el. A fafaj meghatározást és az évgyűrűelemzéseket is földtudományi szemszögből értelmeztem, kihangsúlyozva a folyóvízi környezet dinamikus változásainak feltárását.

A Kárpát-medence folyók szabdalta táján jelentős vizes, illetve víztől függő élőhelyet képviselnek az ártéri erdők. Az ártéri erdők kiterjedése a 19. századi folyószabályozások, valamint az ezeket követő tájhasználat-váltás nyomán jelentősen csökkent. A területvesztés mellett az ártéri erdeink fafajösszetétele is jelentősen átalakult az utóbbi mintegy másfél évszázad során (VIRÁG 2016). A földtani formákban előforduló szubfosszilis uszadékfák jellemzően kavicságyból vagy más folyóvízi üledékből kerülnek elő (KALICKI & KRAPIEC 1995, KERN & POPA 2016). A minta felszínre kerülésre vagy kavicsbányászat során valósul meg vagy pedig a folyók magas partjaiból kiálló törzsek jelennek meg a folyók eróziós tevékenysége által. Kavicsbányászathoz kötődően előkerült faanyagokat hazánk szinte minden jelentősebb folyója mentén regisztráltak (bővebben: ÁRVAI ET AL. 2015B, 2017), azonban az alámosott partok mentén természetes erózió által feltárt *in situ* törzsekre csupán egy hazai példa hozható, egy drávai kanyarulat Babócsánál (ÁRVAI ET AL. 2018). Kitekintve a Kárpát-medence területére is, hasonló helyzetben lévő mintákon való elemzéseket csak elszórtan végeztek (NECHITA ET AL. 2014, KERN & POPA 2016).

A dendrokronológiai módszerekkel adatbázisba rendezett adatok az ártéri erdők természetes fajszerkezetének és korösszetételének rekonstrukciójára használható adatforrásként is értelmezhetők. A történeti erdészeti dokumentumok felhasználása alapján kategorizált ártéri erdőségek fafajösszetétele (VIRÁG 2016) tovább árnyalható egy természettudományos leletekre támaszkodó elemzéssel. A vegetációtörténeti kutatások mellett lehetőséget biztosítanak a famaradványok geomorfológiai megfigyelésekre és elemzésekre valamint múltbéli környezetváltozások vizsgálatára is.

A hazai folyók mentén előkerült faminták nem ismeretlenek a magyarországi kutatásokban (bővebben: ÁRVAI ET AL. 2017). A 20. század második felében csupán elvétve, leginkább pontszerű mérések valósultak meg (pl. HORVÁTH 1974, HORSKY & REINPRECHT

1985), később az 1990-es években azonban a magyarországi szisztematikus dendrokronológiai kutatómunka megindulása után (GRYNAEUS 2009) a hazai folyóvizekhez kötődő leletek elemzése is gyakrabban jelentek meg a tudományos publikációkban. Ezek azonban főként régészeti indíttatású munkák voltak. A régészeti leletanyagokat tekintve talán az első említésre méltó egyedi objektum a Dráva barcsi szakaszáról az 1970-es években talált bődönhajó, azaz tölgyfacsónak (MAGYAR 1973, 2007); a leggyakoribb lelettípus pedig a folyók alacsony vízálláskor előkerült egykori hídlábak csonkjai, például a szolnoki török kori híd (SZÁNTÓ ET AL. 2007) vagy a Pinkamindszent melletti középkori híd (GRYNAEUS & ILON 2016).

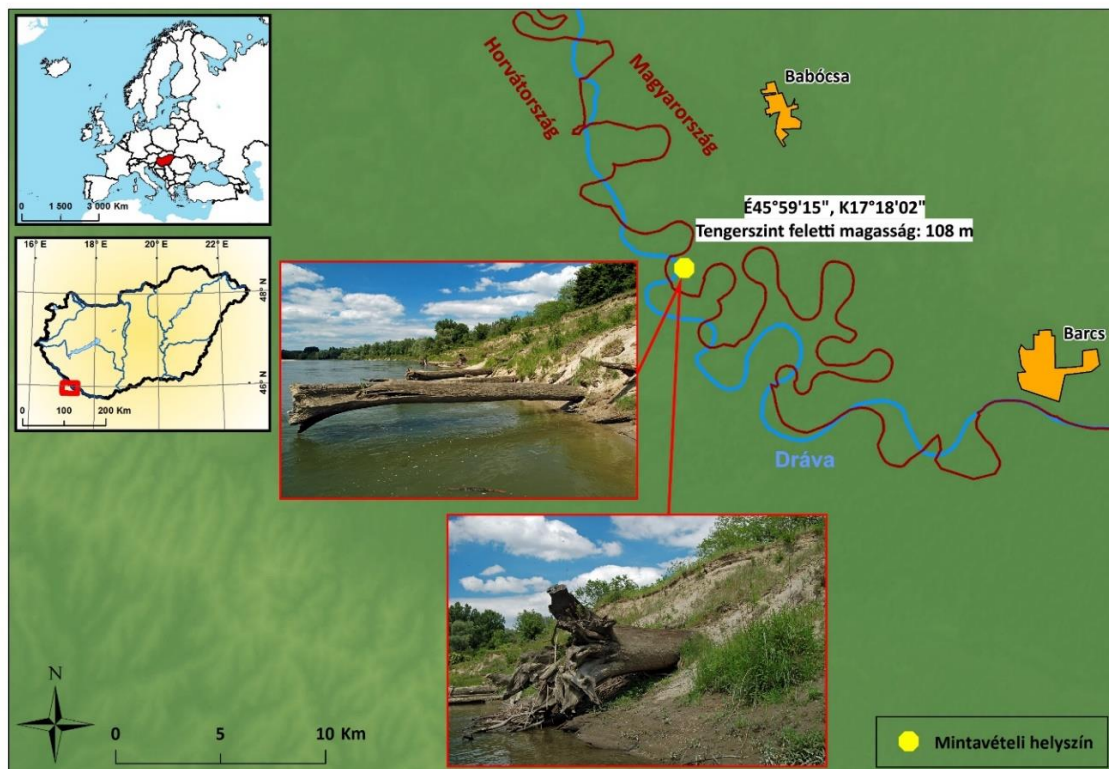
A marosi szigeteken álló fák kolonizációs idejének dendrokronológiai módszerekre épülő becslését alkalmazva becsülték a szigetek folyásirányú vándorlásának sebességét (BLANKA ET AL. 2006, KISS & SIPOS 2009). Példáját adva ezzel az évgyűrelemzésekben rejlő lehetőségekre a recens alluviális felszínfejlődés dinamikájának vizsgálatában. Azonban a holtfa mintákon végzett dendrokronológiai alapokon nyugvó földtudományos kérdések tisztázására irányuló vizsgálatok mindeddig nem készültek hazánkban.

Az elmúlt évek terepi kutatásai során számos folyó hazai szakasza mentén gyűjtöttem be a mintákat. Észak-Magyarországon a Sajó és a Hernád mentén (Zsujta, Garadna, Hernádszurdok, Sajópetri, Sajószentpéter, Alsózsolca, Nyékládháza), Nyugat-Magyarországon a Mura és a Dráva mentén (Muraszemenye, Babócsa) végeztem terepi mintagyűjtő munkát. A kavicsbányák mellett a folyók csónak nélkül felkereshető szakaszait jártam be, megfelelő konzerváló terület után kutatva. Több szempontból is egy babócsai Dráva kanyarulat bizonyult a legígéretesebb lelőhelynek, így ezt választottam a síkvidéki alluviális környezetből származó holtfaanyag évgyűrvizsgálatával nyert információk környezettörténeti szempontú értelmezéséhez kapcsolódó esettanulmánynak. A leletanyag dendrokronológiai elemzésének bemutatásával, földtudományi kiértékelésével a későbbi hasonló kutatások számára kívánok példával szolgálni, a holtfaanyag geomorfológiai célú vizsgálatára.

A kutatás egyik célja, a folyásirányok és azok megváltozásainak a detektálás a faanyagok elemzéseivel. A faminták kettős csoportosítása egyrészt a fatörzsek irányultsága, másrészt a partfalban elfoglalt helyzetük különböző magassági szintjei alapján valósult meg. Mindemellett a különböző szintekből származó faminták évgyűrűadatsorainak eredményes szinkronizálása esetén a záróévgyűrűk közti évekből számítható korkülönbség és a holtfaanyaghoz köthető horizontok közti szintkülönbség lehetőséget nyújtanak akkumulációs ráta becslésére is.

6.2. A mintaterület és a mintavételezés jellemzői

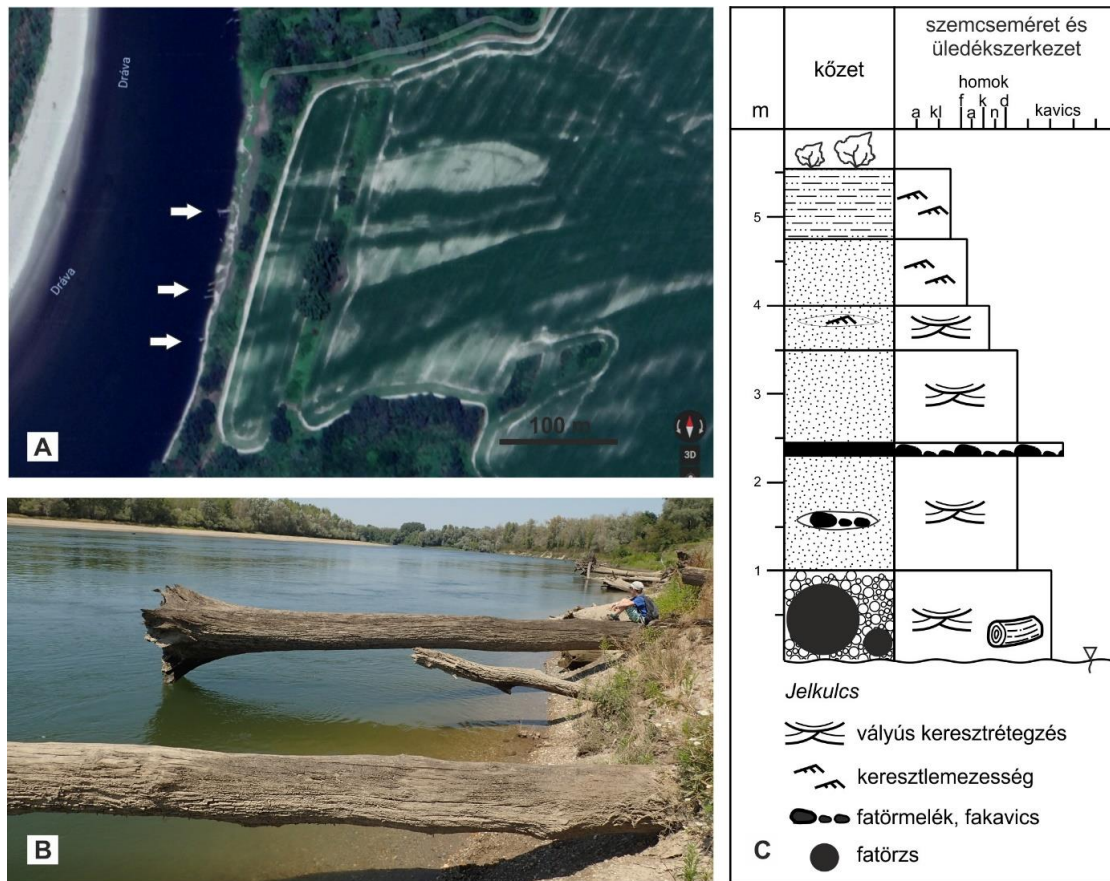
A minták származási területe egy Babócsa melletti drávai folyókanyarulat magaspartja (é.sz. 45°59'15", k.h. 17°18'02"), melynek tengerszint feletti magassága 108 méter (16. ábra). A 2017 nyár közepi, valamint a 2018 őszi alacsony vízállás lehetőséget nyújtott a meredek partfalból kiálló farönkök megközelítésére, amelyekből a két terepi mintavétel alkalmával összesen 27 különböző holtfából sikerült mintát gyűjteni. Egy minta esetében (BAB011) kis méretéből kifolyólag, nem volt szükséges helyszíni mintavétel, minden más esetben azonban motorfűrész használatával 5-10 cm vastagságú korongmintákat vettem.



16. ábra: A Babócsa melletti mintavételi helyszín közel a horvát-magyar államhatárhoz, valamint a partfalból kiálló szubfosszilis holtfatörzsek. (Fotók: Csór Sándor)

6.3. A famaradványok üledékföldtani környezete

A fatörzsek egy kb. 100 m hosszú, É-D-i irányú folyószakaszon találhatóak (17. ábra/A), melyek csak alacsony vízálláskor láthatók. Az eltemetett fatörzsek a Dráva keleti partfalából állnak ki és a terepi megfigyelések alapján több szintben jelennek meg a feltárt szelvény alsó ~2 méterében (17. ábra/B), ugyanakkor további fatörzsek a víz alatt is láthatók voltak. A feltárt üledéksorban felfelé finomodó szemcseméretet lehetett megfigyelni (17. ábra/C) (bővebben: ÁRVAI ET AL. 2018).



17. ábra: Famaradványok a Dráva-üledékben. A fák (fehér nyilakkal jelölve) helyzete 2017. augusztusi GoogleEarth műholdképen (A), Látvány észak felé az A ábra középső nyilánál (B), A fákat befoglaló üledék rétegsora (C). (Ábra forrása: Sebe Krisztina 2018 – In: ÁRVAI ET AL. 2018)

6.4. Módszerek

6.4.1. Dendrokronológiai vizsgálatok

A terepen megfelelően becsomagolt mintákat az ELTE Őslénytani Tanszékén működő Budapest Évgyűrű Laboratórium (KÁZMÉR & GRYNÆUS 2003) előkészítő helyiségébe szállítottam, ahol a későbbiekben a légszáraz minták csiszolásával folytatódott a mérés előkészítése. A minták évgyűrű szélességi mérését két sugár mentén, 0,01 mm pontossággal, Lintab mérőasztalon végeztem, melynek közvetlen számítógép kapcsolata révén az évgyűrűgörbék rögtön a TSAP 4.70 szoftverkörnyezetben (RINN 2005) tárolódnak. A TSAP program segítségével végeztem el a minták szinkronizációját is. A szinkronhelyzetek értékelésére a grafikus összevetés mellett a dendrokronológiai vizsgálatoknál általánosan alkalmazott statisztikai módszereket, úgymint együttfutási százalék (GLK%, ECKSTEIN & BAUCH 1969) és módosított t -érték (BAILLIE & PILCHER 1973) alkalmaztam.

6.4.2. Faanatómiai vizsgálatok

A begyűjtött 27 mintát makroszkópos jellemzőik alapján 5 típusba soroltam. Mindegyik típusból 2×2×2cm-es blokkot metszettem ki. A mintákon mikroszkópos faanatómiai vizsgálatok történtek a Soproni Egyetem Faanyagtudományi Intézetében. A meghatározást végezték: Antalfi Eszter és Fehér Sándor.

A mikroszkópos fafaj-azonosításhoz az 5-20 µm vastagságú metszetek Thermo Scientific Microm HM 430 típusú, száncós mikrotóm segítségével készültek sztenderd protokollt követve (MIHALIK ET AL. 1999, ANTALFI 2012, 2015, ANTALFI & FEHÉR 2015), mindhárom anatómiai irányban (kereszt-, húr- és sugármetszet). A könnyebb metszet készítés elősegítéséért, a minták vízben, kevés glicerinnel hozzáadásával Bunsen égőn, főzőpohárban kerültek főzésre. A glicerinnel puhábbá teszi a faanyagot, s ezáltal könnyebben metszi a kés (MIHALIK ET AL. 1999). A metszetek fixálása kanadabalzsammal történt. A lefedett metszetek egy napig szobahőmérsékleten, majd egy-két héten keresztül 35-40 °C körül, szárító szekrényben száradtak, annak érdekében, hogy a ragasztás kikeményedjen.

A fafaj-azonosításhoz Zeiss fénymikroszkóp segítségével kerültek megfigyelésre a faanatómiai azonosító jegyek. A felismert faanatómiai jellegzetességek alapján a fafaj azonosítása referencia adatbázisokkal összevetve történt (HOLLENDONNER 1913, GREGUSS 1945, SCHWEINGRUBER 1990, BUTTERFIELD ET AL. 1997).

6.4.3. UAV (Unmanned Aerial Vehicle) alapú nagy felbontású felszínmodell és ortofotó készítése

A mintaterületen, 2018 őszén végzett terepi mintavétel folyamán sor került UAV-os, vagy más néven drónos, felmérésre is. A felmérés célja egy vetületbe forgatott nagy felbontású felszínmodell, valamint több képből összemozsaikolt ortofotó készítése volt, melynek segítségével lehetővé vált az elkészült állományok későbbi térinformatikai elemzése.

A nagyjából 2 hektáros mintaterület felméréshez egy DJI Phantom Pro V2.0 UAV-ot használtam, amely 20 megapixeles 1 inches szenzorral, 3 tengelyes gimbal stabilizátorral, valamint beépített GPS-el rendelkezik. A repülés tervezés DJI applikációban történt a következő paraméterekkel:

- 30 méteres repülési magasság
- min. 60%-os átfedés a képek és a sorok között is
- 4 m/sec repülési sebesség

A meredek falakkal rendelkező területek (pl.: sziklafal, épületek, folyók partfala) esetében érdemes egy kiegészítő repülést tervezni a, ahol a kamera 45°-os szögben a fal felé néz és oldalazva készíti fotókat, ezzel kiegészítve a 90°-os szögből készített felmérést. A kiegészítő felmérés biztosítja, hogy a majdnem függőleges terepről is rendelkezésre álljon megfelelő információ (ALBERT ET AL. 2018).

A későbbi pontos vetületbe forgatáshoz összesen 15 db terepi kontrollpont került kihelyezésre a területen (GCP – Ground Control Point), melyeket szubcentiméteres pontosságú RTK GPS-el mértem be (működési elve bővebben: ÁDÁM ET AL. 2004). A repülés folyamán a GCP pontok egyértelmően azonosíthatók a képeken így az utófeldolgozás folyamán megadható a GCP-k pontos helyzete az RTK GPS-ből kiolvasott adatok alapján (AGISOFT 2018). A repülésből származó mintegy 300 kép fájl mozaikolása és a felszínmodell készítése Agisoft Photoscan 1.4.5 programban valósult meg. Harmonizálva a hazai kívánalmakkal, az állomány EOVS vetületbe transzformálása ESRI ArcMap 10.6-os szoftverkörnyezetben történt meg.

6.5. Eredmények

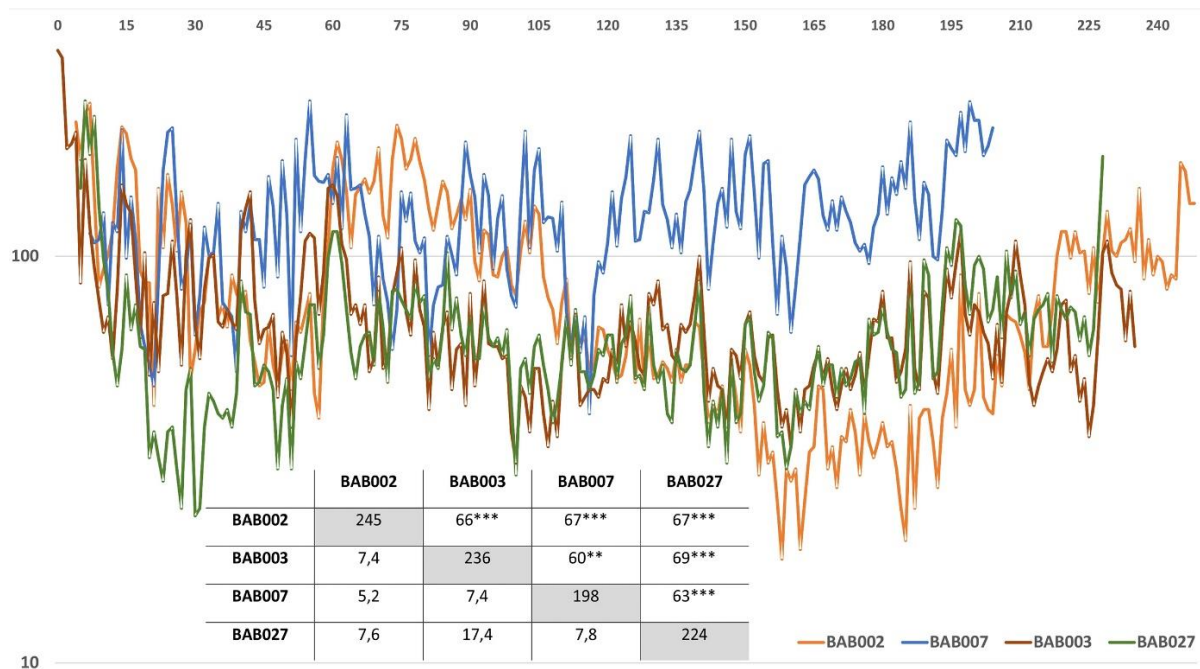
6.5.1. Dendrokronológiai eredmények

A legtöbb évgyűrűt (n=245) a BAB002 jelű, míg a legkevesebb mérhető évgyűrűt (n=37) a BAB008 jelű, egyaránt kocsányos tölgyként azonosított, mintában mértem. A minták átlagos évgyűrűszáma 107, ami előre vetítené a sikeres szinkronizációt, azonban a minták fajszintű heterogenitása valamint a négy példány esetében csekélynek mondható (≤ 51) évgyűrűszám a minták többségénél mégis a sikertelen átlapolás felé billentik a szinkronizációs elemzéseket. Számos kutatás tapasztalat alapján (pl. KRĄPIEC 2001, KOLÁŘ ET AL. 2012, KERN & POPA 2016) is várható volt, hogy a tölgymintákat lehet a legnagyobb sikerrel keresztmegfeleltetni.

A tölgyminták vizsgálatokor a három leghosszabb minta esetében sikerült olyan pozíciót találni, amelyből minden párosításban kitűnő dendro-statisztikai eredményeket kaptam. A BAB003 minta adatsorának 4-ik helyéhez illesztve a BAB002 minta első mért évgyűrűjét, és a 7-ik helyéhez illesztve a BAB007 minta első mért évgyűrűjét t_{BP} -re 5,2 és 7,4 közötti értékeket; a GLK%-ra 60 ($p < 0.05$) és 67 ($p < 0.01$) közötti értékeket kaptam (18. ábra). A BAB007-es tölgy minta mind a 198 gyűrűje átfed, mind a BAB002-es, mind pedig a BAB003-as minta adatsorával, ugyanazt a növekedési periódust reprezentálva ezzel. A két hosszabb minta esetében is kiterjedt az átfedés, hiszen 4 gyűrű kivételével a BAB003 összes gyűrűje szinkronban van a leghosszabb tölgy minta évgyűrűadatsorával. A BAB027-es faminta mind a 224 gyűrűje teljes egészében átfed a BAB002 és BAB003-as mintával. Különösen a BAB003

mintával való egyezése szembeűnő (T_{BP} : 17,4; 18. ábra). Ilyen mértékű egyezés esetében felmerül a gyanú, hogy a minták egy fából származnak (BAILLIE & PILCHER 1973). Jelen esetben azonban két egymástól több tíz méteres távolságban lévő egyedi mintáról van szó, mely kizárja az azonos fából származó eredetet. A nagymértékű egyezés feltételezhetően, a nagyon közeli, esetleg egymás melletti növekedési pozíció miatt alakulhatott ki. A 18. ábrán megfigyelhető ezenkívül az egyes negatív és pozitív csúcsok nagyszámú egyezése, valamint a jellegzetes növekedési mintázatok (pl. vékony évgűrűscsoportok) egybeesése is.

A négy leghosszabb tölgyfaminta sikeres szinkronizációja alapján felállított első drávai lebegő tölgykronológia (BABsf01CHR) 249 év hosszú (18. ábra). A negyedik jelentősebb számú évgűrűt tartalmazó tölgy minta (BAB009), melyen kéregmaradvány is megfigyelhető nem volt szinkronizálható ezzel a csoporttal. A keltezési kísérlethez két környékbeli tölgy referencia kronológiát hívtam segítségül: kelet-szlovéniai (időszak: 1456-2003 ČUFAR ET AL. 2008), és kelet-ausztriai (időszak: 931-2011, GEIHOFER ET AL. 2005). A környékbeli mesterkronológiákkal végrehajtott keltezési kísérletek azonban sajnálatos mód nem hoztak statisztikailag megbízható eredményt. Szinkronizálási kísérlet történt a Száva vízgyűjtőn gyűjtött 272 tölgymaradvánnyal (PEARSON ET AL. 2014) de nem sikerült statisztikailag elfogadható eredmény (CHARLOTTE PEARSON SZEM. KÖZL.).



18. ábra: A négy szinkronizálható tölgyfaminta évgűrűszélességi görbéje a legjobb egyezést adó pozícióban. A táblázat a keresztgyezések alapstatisztikáit mutatja. A minták évgűrűszámát az átlós, szürke háttérű cellákban tüntettem fel. Az átló alatti cellák a t_{BP} (BAILLIE & PILCHER, 1973) értékeit, az átló feletti cellák pedig az egyezés GLK% értékeit (ECKSTEIN & BAUCH 1969) mutatják. (**: $p < 0.05$;

***: $p < 0.01$)

A további négy tölgy mintát (BAB001, BAB008, BAB009, BAB010) nem lehetett sikerrel szinkronizálni, sem egymással, sem a BABsf01CHR lebegőkronológiához. A 7 darab bükk faminta közül négy darab (BAB021 – BAB024-ig) átlagban 7 cm átmérőjű törzs vagy ág egy szintből származott. A száradás és a rátelepült rétegek nyomása okozta deformáció miatt a fafaj meghatározáson túl, nem lehetett évgyűrűszélesség-méréseket végezni rajtuk.

A szil nemzetséghez tartozó 10 minta közül először a vénic, majd a hegyi szil fajok közti szinkronizációs lehetőség feltárása volt a cél. Három hegyi szil minta esetében (BAB017-018-019) sikeres szinkronizáció valósult meg. További hegyi szil mintákat nem lehetett keresztdatálni a három minta átlaggörbéjével, valamint a vénic szil faletek sem mutattak kielégítő statisztikai eredményeket.

További sikeres szinkronizáció nem történt a babócsai minták között.

6.5.2. Faanatómiai eredmények

A makroszkópos megfigyelések alapján felállított csoportok és a faanatómiai alapú vizsgálatok eredményei alapján nyolc minta kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.), öt minta vénic szil (*Ulmus laevis*), szintén öt hegyi szil (*Ulmus scabra*), hét darab pedig bükk (*Fagus sylvatica*). Érdekes eredmény, hogy a hazai kutatások között ritkáság számba menően egy példány vörösfenyő képviseltette magát a begyűjtött minták között. Egy esetben (BAB012: nyár (*Populus* sp.)) pedig csak nemzetség szintű besorolásra adott lehetőséget a faanatómiai vizsgálat. A szórtlikacsú minták közül kettő évgyűrűszáma meghaladta a 100-at, valamint a nyár esetében kéreg is megfigyelhető a törzsön. Gyűrűslikacsú minták közül egyedül a BAB009-es kocsányos tölgy minta esetében volt megfigyelhető szíjács és kéreg is. A faminta teljességét mutató bél, valamint kéreg meglétét és az egyes mintákhoz tartozó évgyűrű darabszámokat az 3. táblázat foglalja össze.

A faanatómiai vizsgálatok részletes bemutatása a Mellékletben (11 - 15. melléklet) valamint az első részeredményeket közlő tanulmányban (ÁRVAI ET AL. 2018) olvasható.

Táblázat 3: A babócsai holtfaanyagból begyűjtött minták fafaja és évgyűrűszáma

Mintakód	Fafaj	Évgyűrűszám	Bél	Kéreg
BAB001	<i>Quercus robur</i> L.	46	-	-
BAB002	<i>Quercus robur</i> L.	245	+	-
BAB003	<i>Quercus robur</i> L.	236	+	-
BAB004	<i>Ulmus scabra</i>	77	+	-
BAB005	<i>Fagus sylvatica</i>	50	-	-
BAB006	<i>Ulmus laevis</i>	62	+	-
BAB007	<i>Quercus robur</i> L.	198	+	-
BAB008	<i>Quercus robur</i> L.	37	+	-
BAB009	<i>Quercus robur</i> L.	171	+	+
BAB010	<i>Quercus robur</i> L.	87	-	-
BAB011	<i>Larix decidua</i>	51	-	-
BAB012	<i>Populus spp.</i>	101	-	+
BAB013	<i>Fagus sylvatica</i>	103	-	-
BAB014	<i>Ulmus laevis</i>	131	+	-
BAB015	<i>Ulmus scabra</i>	175	-	-
BAB016	<i>Fagus sylvatica</i>	95	+	-
BAB017	<i>Ulmus scabra</i>	39	+	-
BAB018	<i>Ulmus scabra</i>	51	-	-
BAB019	<i>Ulmus scabra</i>	49	+	-
BAB020	<i>Ulmus laevis</i>	94	+	-
BAB021	<i>Fagus sylvatica</i>	-	-	-
BAB022	<i>Fagus sylvatica</i>	-	-	-
BAB023	<i>Fagus sylvatica</i>	-	-	-
BAB024	<i>Fagus sylvatica</i>	-	-	-
BAB025	<i>Ulmus laevis</i>	69	-	-
BAB026	<i>Ulmus laevis</i>	57	-	-
BAB027	<i>Quercus robur</i> L.	224	+	-

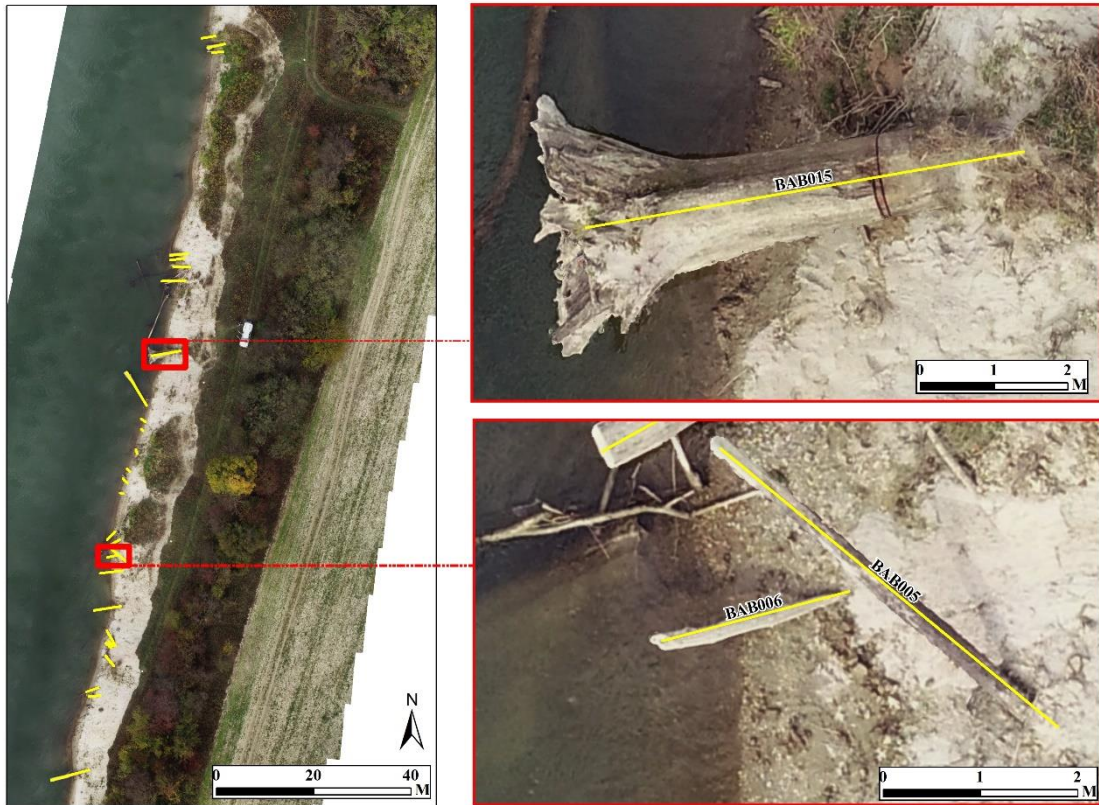
6.5.3. Az elmúlt évszázad folyásirány változásainak térképi megjelenése

A mintaterületről elkészült vetületbe forgatott ortofotót az EOVS 1:10000-es méretarányú EOVS szelvényéhez és a Második Katonai Felmérés ide vonatkozó térképszelvényével hasonlítottam össze (22. ábra). A Második Katonai Felmérés térképszelvényének esetében a központi, budapesti, régiótól távolodva a térképlapok elcsúszásának mértéke egyre nagyobb, akár több száz méteres is, lehet (TIMÁR ET AL. 2006) amit távolságmérés előtt további helyi illesztőpontok segítségével irányvektorok menti eltolással (TIMÁR ET AL. 2006) lehetett pontosítani. A babócsai Dráva szakaszhoz tartozó térképszelvényénél 10 további illesztőpont segítségével sikerült a hibát elfogadható értékre (12 m) csökkenteni.

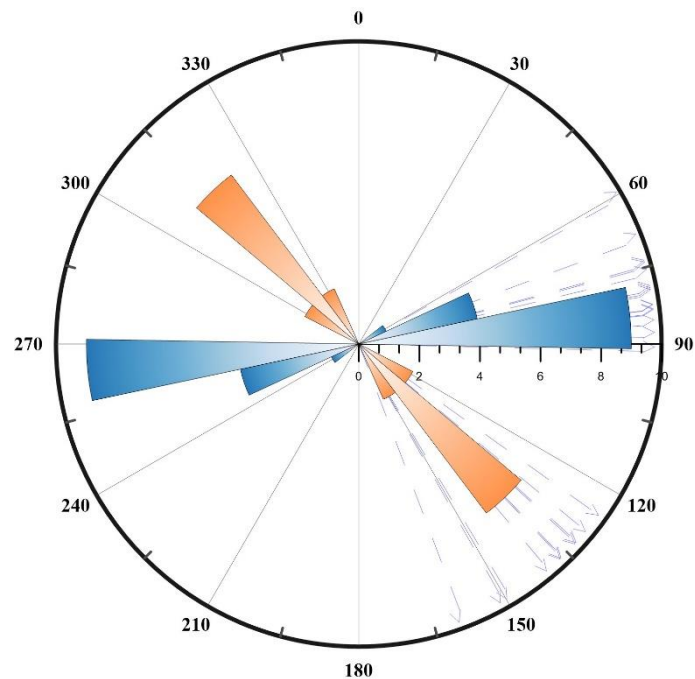
A georeferált EOVS szelvény terepi felmérésre 1979-ben került sor, amikor a folyópart ~80 méterrel nyugatabbra esett. A Második Katonai Felmérés terepi munkálatai 1859-ben folytak a mintaterületen (JANKÓ 2007). A Második Katonai Felmérés alapján a 160 évvel ezelőtti folyópart és a mai közti eltérés 303 ± 12 méter.

6.5.4. Nagyfelbontású felszínmodell elemzésének az eredménye

A felmérés során 303 db kép készült a 2 ha-os mintaterületről. A képek összeillesztése után (bővebben: AGISOFT 2018) a sűrű pontfelhő 310 millió pontot tartalmazott, a felszínmodell és az ortofotó is 1,1 cm-es felbontással bír. A kész mozaikon minden minta azonosítható volt, a fatörzsek irányultságát egy irányvektorral jelöltem a fatest középvonalán haladva (19. ábra). Az irányultsági adatok a *field calculator* segítségével fokban ($^{\circ}$) tárolódtak a *polyline shape* fájl attribútum-táblájában. Rózsadiagramon megjelenítve a minták irányultságát (20. ábra), láthatóan két csoportra oszthatók, egy délkeleti (DK) és egy kelet-északkeleti (KÉK) irányt követő halmaz rajzolódott ki. A Dráva mostani folyásiránya dél-délnyugati.



19. ábra: 1,1cm-es terepi felbontással bíró ortofotó a mintaterületről. Sárga vonalak jelölik a fatörzsek középvonálán haladó irányvektort.



20. ábra: A megmintázott in situ fatörzsek irányultsága fokban ($^{\circ}$); 0° =Észak, 90° =Kelet, 180° =Dél, 270° =Nyugat. A kék és narancs színek a törzsek két fő irányát hangsúlyozzák.

Minden minta felvett iránya mellé a felszínmodellről leolvasott magassága került korrigálva az adott minta átmérőjével. Így megkapva a valós magassági adatot, amely szintben fekszik a fatörzssel (*Táblázat 4.*). A minták az irányonkénti csoportosítás után a magassági elkülönés alapján kerültek kategorizálásra (*Táblázat 4.*).

Három minta esetében felmerült, hogy nem vehetők figyelembe a későbbi elemzéseknél: a BAB017-018-019-es minták a terepi megfigyelések alapján feltételezhetően a partfal csuszamlása miatt kerültek egy alsóbb szintbe (*21. ábra, Táblázat 4.*), így az eredmények értelmezésébe nem kerültek bele.



21. ábra: A partfalcsuszamlás (kék körvonal) és a három faminta (BAB017-018-19) helyzete

Táblázat 4.: A faminták csoportosítása törzsátmérővel korrigált tengerszintfeletti magasságaik és az irányultságaik alapján A mintakód nélküli, de irányultsággal rendelkező rekordok a felszínmodellen azonosítható, de nem megmintázott fatörzsek irányultságait mutatják.

Mintakód	Irányultság	Irány szerinti csoportok	T.sz.f.m. (m)	Törzsátmérő (m)	Lerakási t.sz.f.m. (m)	Csoportszám
BAB016	149,207555	DK	100,68	0,60	100,080	1
BAB022	141,7098371	DK	100,720001	0,05	100,670	1
BAB021	125,5376788	DK	100,800003	0,08	100,720	1
BAB024	132,2253	DK	100,919998	0,07	100,850	1
BAB023	136,3118894	DK	100,949997	0,06	100,890	1
	101,1738389	DK	100,82			1
	137,231176	DK	100,949997			1
	159,2612919	DK	101,099999			1
BAB006	43,15937111	KÉK	101,299999	0,29	101,010	2
BAB013	83,40839106	KÉK	101,400002	0,38	101,020	2
BAB004	75,19433565	KÉK	101,239998	0,18	101,060	2
BAB003	83,34388449	KÉK	101,400002	0,30	101,100	2
BAB012	84,19327415	KÉK	101,900002	0,66	101,240	2
BAB010	84,34850621	KÉK	101,699997	0,40	101,300	2
BAB007	60,90617992	KÉK	101,900001	0,58	101,320	2
BAB002	80,53767875	KÉK	101,800003	0,46	101,340	2
BAB027	69,69330724	KÉK	101,638001	0,27	101,368	2
BAB014	88,67121341	KÉK	101,709999	0,32	101,390	2
BAB009	74,83689181	KÉK	102,410004	0,76	101,650	2
BAB015	80,19023527	KÉK	103,260003	0,98	102,280	2
BAB001	136,591141	DK	102,209999	0,28	101,930	3
BAB020	132,570727	DK	102,320008	0,31	102,010	3
BAB005	129,5018382	DK	102,550003	0,10	102,450	3
BAB025	139,9863345	DK	102,629997	0,30	102,330	3
BAB026	150,6312353	DK	102,620003	0,13	102,490	3
BAB017	79,77226869	KÉK	101,160004	0,18	100,980	2
BAB018	76,64465975	KÉK	101,809998	0,48	101,330	2
BAB019	86,31558667	KÉK	101,540001	0,15	101,390	2

A minták irányultságaik alapján két, magassági értékeik alapján pedig három csoportba sorolhatók (Táblázat 4.). A mintaterületen a jelenlegi felszín hozzávetőleg 108,5 méteres tengerszint feletti magasságban fekszik. A legalsóbb szintet délkeleti folyásirány, valamint bükk minták és a vörösfenyő famaradvány jellemzik. A lerakási felszín átlagos tengerszint feletti magassága $100,8 \pm 0,15$ méter. Az ezt követő magassági szint $101,3 \pm 0,30$ méter, az előzőtől eltérő kelet-északkeleti folyásirány jellemzi. A szintet képviselő minták faja kocsányos tölgy, vénic,- és hegyi szil. A harmadik, legmagasabb szintet képviselő csoport

folyásiránya ismét délkeleti, a lerakási felszín átlagos magassága $102,2 \pm 0,20$ méterebben a csoportban kocsányos tölgy, vénic szil és bükk minták fordultak elő. Az utolsó három minta (Táblázat 4) a kettes magassági csoportból kikerült és elemzésekbe sem került bele a feltételezett csuszamlás miatt.

6.5.5. Akkumulációs ráta számítás eredménye

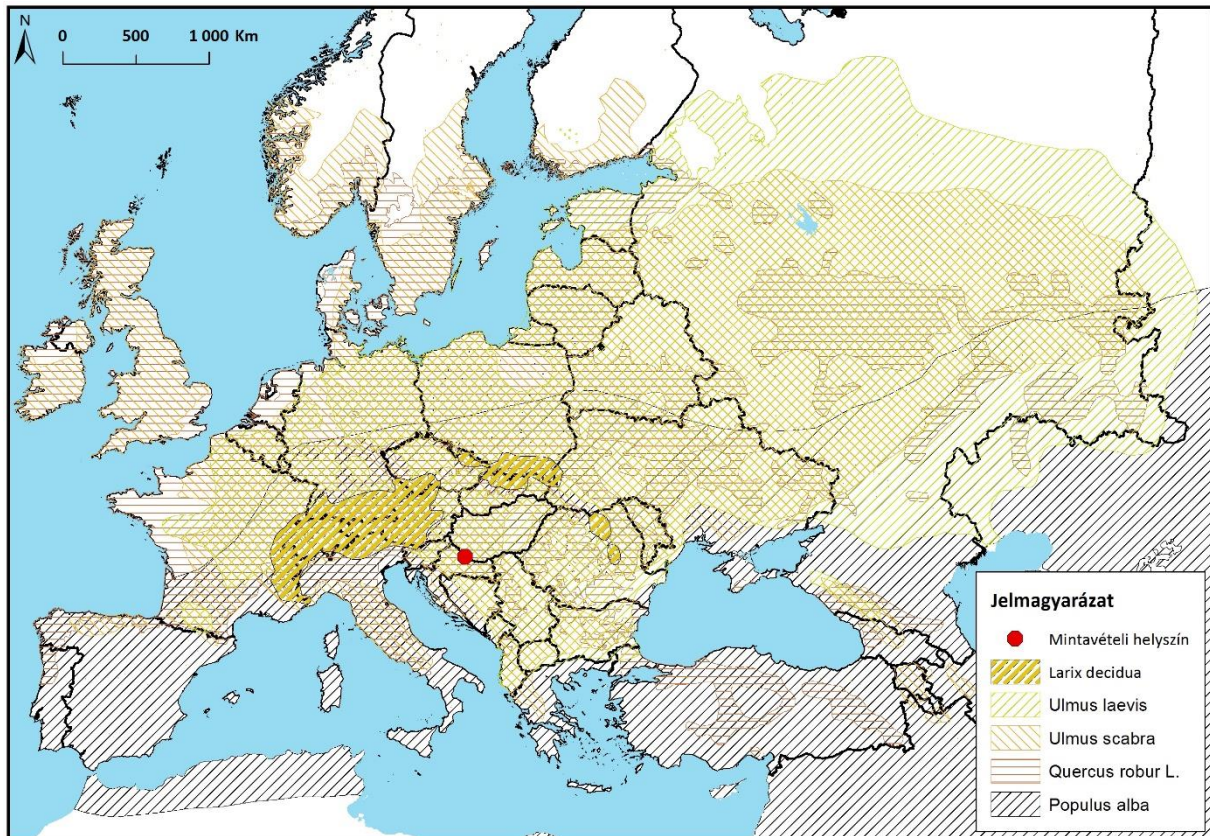
Az évgyűrűszélességek alapján szinkronizált faminták végdátuma és magassági szintjeik közti különbség alkalmas kínál akkumulációs ráta számításra (SPEER 2010). Az összerendezett négy tölgyeminta közül a BAB002-es és a BAB003-as minta alkalmasnak bizonyult a felhalmozódási sebesség becslésére. A lebegőkronológia másik két tagjánál tapasztalható erősebben erodált mintaszélekből adódó erős bizonytalanság miatt, az elemzésből kimaradtak. A BAB002-es és BAB003-as minta utolsó gyűrűje közti időbeli távolság 13 év. A felszínmodellről leolvasott, majd a törzsátmérővel korrigált, valamint a felszínmodell átlagos hibáját belekalkuláló magasság különbség $24 \pm 1,1$ cm. A számolt és származtatott paraméterek alapján a kelet-északkeleti folyásirányú 2. csoport időszakában a becsült akkumulációs ráta $1,85$ cm/év.

6.6. Következtetések

6.6.1. A fafajösszetétel és megjelenési szintjeik

A fafajösszetétel a régiókban korábban dokumentált szubfosszilis uszadékfa együttesekkel (ÁRVAI ET AL., 2017) összehasonlítva kivételesen változatosnak mondható. Az azonosított fafajok között megjelennek a helyben növekvő egykori ártéri erdők fajai (pl. tölgy és szil) amelyek a leggyakrabban fordulnak elő a hasonló jellegű alluviális üledékösszletek szubfosszilis uszadékanyagában (CHIRILOAEI ET AL. 2012, CAROZZA ET AL. 2014, KERN & POPA 2016), ugyanakkor a messzebbi területekről, folyóvíz által szállított fafaj (vörösfenyő) is megtalálható a területen. A vörösfenyő megjelenését alluviális üledékből feltárt szubfosszilis leletegyüttesben hazánkban más helyszínen még nem dokumentálták (ÁRVAI ET AL. 2015B, 2017). A szubfosszilis holtfaanyagban megjelenő fafajok között nem jellemző a bükk, azonban jelen esetben a minták negyedét teszi ki arányuk. Származási területe valószínűsíthetően szintén nem lokális, azonban előfordul síkvidéki bükk állomány a Mura és Dráva felsőbb szakaszánál. A síkvidéki bükkösök növényföldrajzi szempontból külön típust képviselnek és csak elszórtan fordulnak elő hazánkban, főleg Belső-Somogy területén (CSIKY ET AL. 2011). Egy bükk mintától eltekintve az összes a legalsó, és legidősebbnek tekinthető, szintet képviselő $100,8$ méteres tengerszint feletti magasságban jelent meg, a vörösfenyő egyetlen mintájával együtt. A

vörösfenyő jelenlegi elterjedése főleg az Alpok és a Kárpátok magashegységi régiójára korlátozódik, hazánk területén nem található meg (22. ábra). Az elterjedési térképek alapján nagy valószínűséggel állítható, hogy legközelebb 250 km-ről származhatott a fenyőminta. A BAB011 minta tehát mindenképp más termőhelyről származik, bár lehet, hogy a bükkmintákkal azonos időben csapdázódott az üledékbe.



22. ábra: Az azonosított fajok mai európai elterjedési területe (forrás: EUFORGEN.ORG)

Az üledékföldtani környezet vizsgálata alapján a felfelé finomodó üledéksor egyetlen folyóvízi ciklusként értelmezhető (ÁRVAI ET AL. 2018), azaz egy meder kitöltőanyagát képviseli. Valószínűleg meanderező típusú folyó rakta le. A rétegsor a mai felszínig tart, így növényzettel nem vagy időszakosan fedett helyeken, pl. szántóterületeken az egykori üledékek felülnézetben is tanulmányozhatók (17. ábra/A). A friss műholdképeken megfigyelhető, hogy az ártérlet egykor feltöltő folyószakasz irányítottasága megegyezik a 2. csoportba sorolt kelet-északkeleti irányú fákéval (17. ábra/A). A fák jellemzően úgy feneklenek meg, hogy gyökérzetük a folyásiránnyal szemben mutat (KALICKI & KRĄPIEC 1995). Ez összhangban van azzal, hogy a befoglaló üledéksor felső, finomszemű részén a keresztlemezség északkeleties vízáramlásra utal. Ezen adatok alapján a fatörzsek lerakódásakor az egykori Dráva itt észak-északkelet felé folyt. A 101,3 méter magassági szint, a fajok tekintetében a legváltozatosabb,

valamint a legnagyobb mintaszámmal rendelkezik: összesen 12 db (*Táblázat 4.*). A keményfa ligeterdők legjellemzőbb fafajait lehetett felismerni a szintben megjelenő leletegyüttesben úgy, mint: kocsányos tölgy, vénic szil és hegyi szil. A teljes lelőhely egyetlen puhafa lelete a BAB012-es nyár minta. Mindazonáltal jó megtartása és a kéreg megléte alapján feltehetőleg nem áthalmozott, azonban magasabb szintből származik feltehetőleg, amely jelenséget felismertek más Kárpát-medence környéki folyók uszadékholtfáknál is (KALICKI & KRAPIEC 1995). Későbbi értelmezésekbe nem került bele a BAB012-es minta.

A legmagasabb 102,2 méteres magassági szintben kocsányos tölgy és vénic szil holtfaminták kerültek azonosításra valamint ismét délkeleti folyásirányt jelöltek ki a holtfatörzsek irányultságai (*Táblázat 4.*).

A megőrződött kéreg, valamint szíjács jelenléte azt sugallja, hogy a kocsányos tölgy fajhoz tartozó BAB009-es holtfaminta feltehetőleg közelebbi területről szállítódott.

Bár a Dráva vízszintje alatt nem látjuk az üledéksort, a vízszint közelében feltáruló fatörzsek valószínűleg az egykori meder mély részén rakódtak le. Erre utal a feltárt rétegsor famaradványokat is befoglaló alsó részének durva szemcsemérete. Az, hogy a törzsek a meder mély részén halmozódtak fel, rendszerint az áthalmozott famaradványok esetén jellemző (KALICKI & KRAPIEC 1995), azaz összhangban van azzal, hogy egyes fajú és korú törzsek együttesen fordulnak elő. Emellett ismert, hogy a Dráva mai medre a vizsgált területen alacsonyabban van, mint akár néhány száz évvel ezelőtt. A szabályozások, valamint a horvát oldalon épített vízerőművek hatására a meder mélyül és bevágódik, a jellemző vízszintek egyre alacsonyodnak (KISS ET AL. 2011). A bevágódás miatt a korábbi medrek mélyebb részei is feltárodnak akár a mai vízszint fölött is.

6.6.2. Dendrokronológiai értelmezés

A 27 darab faminta anatómiai és dendrokronológiai vizsgálatai alapján kijelenthető, hogy nagy valószínűség szerint összehalmozott fatörzsekről van szó, amelyek különböző területről származnak. A nem feltétlenül egy korban élt fák szinkronizálása csak részben sikerült. A négy leghosszabb évgyűrűadatsorral bíró kocsányos tölgy mintát sikerült szinkronizálni, így létrehozva egy 249 év hosszú lebegő kronológiát. Az eredményes dendrokronológiai szinkronizálás alapján kijelenthető, hogy a BAB002, BAB003, BAB007 és BAB027-es kocsányos tölgy minták azonos időszakban és hasonló termőhelyen növekedtek. Mindazonáltal a négy tölgyfaminta egyikén sem volt azonosítható sem szíjács sem kéreg. A famaradványok korongmintáinak széle jellemzően erősen erodált volt, ami hosszabb

szállítódásra valamint lassabb betemedésre utal (KALICKI & KRĄPIEC 1995). A négy szinkronizált mintán kívüli több mint 150 gyűrűt tartalmazó tölgyfamaradvány a BAB009-es minta. A szíjács és a kéreg megléte alapján feltehetőleg nem ugyanaz a származási területe, mint a lebegőkronológiát felépítő mintáknak. Ezt a kronológiába rendezett holtfamintáktól különböző növekedési anomáliát tartalmazó évgyűrűszélességi görbéje (16. melléklet) valamint a lebegőkronológiával tett sikertelen szinkronizáció eredménye is alátámasztja. Az alluviális üledékösszlet keletkezése szempontjából a BAB009 (*Quercus robur* L.) mintán található szíjács és kéreg alapján gyors eltemetődésre lehet következtetni (KALICKI & KRĄPIEC 1995). Ezen minta dendrokronológiai szinkronizációja nem hozott értékelhető, statisztikailag megbízható eredményt; radiokarbon kormeghatározása folyamatban van.

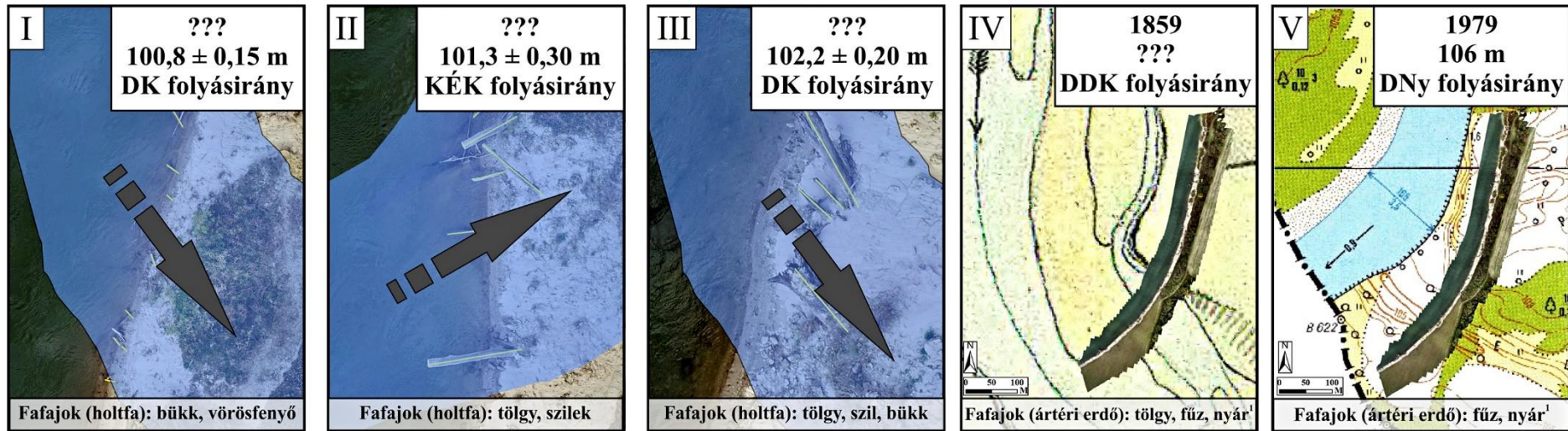
A szomszédos Száva vízgyűjtőről származó több száz szubfosszilis faanyag radiokarbonos kormeghatározásai alapján 8000 évnél idősebb famaradványt nem találtak, (PEARSON ET AL. 2014) így feltételezhető, hogy a vizsgált drávai uszadékanyag se idősebb ennél. Mivel a fafajok elterjedésében a nagy átrendeződések 8000 évet megelőzően zajlottak a tágabb régióban (MAGYARI 2015), így természetesen fenntartásokkal kell kezelni. A jelenlegi elterjedési viszonyok (EUFORGEN 2019) azonban irányadóak lehetnek a drávai szubfosszilis uszadékfák eredetének nyomozásában is. A környékbeli elérhető naptári dátumhoz kötött ún. mesterkronológiák legkorábbi szakasza a kelet-ausztriai területekről származó adatsor, amely a 10. századig nyúlik vissza (GEIHOFFER ET AL. 2005). A drávai lebegő tölgykronológia datálásának sikertelensége alapján feltételezhető, hogy ennél régebbiek lehetnek a faminták, azaz azok legkorábban a 7. század végén csíráztak ki. A fatörzseket befoglaló üledékréteg korára egyelőre nem lehet keletkezési időt mondani, azonban a későbbiekben a famaradványok radiokarbon kormeghatározásának segítségével megvilágításba kerülhet az üledék kora.

6.6.3. Környezetváltozások a mintaterületen

A Dráva mai babócsai szakaszán dél-délnyugati folyásirány jellemző, azonban a távérzékelt adatok geomorfológiai értelmezése alapján számos lefűződött kanyarulat azonosítható, amelyek a laterális erózió okozta mederáthelyeződések biztos mutatói.

A faminták irányultságai és magassági besorolásuk alapján három paleofolyásirányt sikerült rekonstruálni (23. ábra). A paleofolyásirányok időszakából származó fafajokat az uszadékholtfák alapján lehetett megállapítani (23. ábra/I, II, III). A legrégebbi és legalacsonyabban kimutatható, egykori délkeleti folyásiránnyal jellemezhető I-es szintből származik az erősen erodált kisméretű vörösfenyő maradvány (mintakód: BAB011), amely

minta megjelenése alátámasztja a távoli származási területet. A túlveleű holtfaanyag mellett a szintben kizárólag a nyomás hatására bükk minták jelentek meg (23. *ábra/I*). A következő magassági szintet az első szinttől eltérő, kelet-északkeleti folyásirány jellemzi, fafaj összetétele az ártéri keményfaligeterdők legjellemzőbb fafajai: kocsányos tölgy, vénic szil és hegyi szil, valamint a puhfaligeterdők egyik jellemző fanemzetsége a nyár is fellelhető e szintben (23. *ábra/II*). A nyár holtfaminta jelenléte arra enged következtetni, hogy helyben növé, vagy nagyon közeli a származási területe, mivel a minta jó megtartása nem feltételez hosszú szállítódást. A harmadik, legmagasabb szintben azonosított paleofolyásirány ismét délkeleti valamint változatos fafaj összetétel jellemzi: kocsányos tölgy, bükk és vénic szil (23. *ábra/III*). Megfigyelhető, hogy csupán egy szintben jelenik meg nyár minta, sem a legrégebbi sem a relatív legfiatalabb szintben nem található holt puhafaanyag. A keményfák és puhafa arányok megváltozása lehet rá az egyik magyarázat (VIRÁG 2016), másik lehetséges opció a faanyag mechanikai tulajdonságaival függ össze, miszerint a kevésbé ellenálló puhább fatest a nyomás és szállítás közbeni erózió által, hamarabb eltűnik az egyes rétegből vagy azonosíthatatlanná válik (CAROZZA ET AL. 2014).



23. ábra: Folyásirány-változások a Dráván. ¹: VIRÁG 2016 alapján

A nagyjából 160 évvel ezelőtti Második Katonai Felmérés térképszelvényén a Dráva folyásirány dél-délkeleti, valamint a mai partvonalától több mint 300 méterre nyugatra található. A folyószabályozások utáni, már természetes állapotukból vesztő ártéri ligeterdők fafaj összetételében a puhafák aránya dominálnak, azonban még kis arányban jelen vannak a tölgyek is (23. *ábra/IV*; VIRÁG 2016).

Az 1979-es EOV 1:10000-es georeferált térképszelvényen látható folyásirány délnyugati, a folyópart pedig nagyjából 80 méterre helyezkedik el a mai helyzetétől (23. *ábra/V*). A negyven évvel ezelőtti ártéri fafajösszetétel nagyjából megegyezik a maival, azaz főként a puhafa ligeterdők állományalkotó fái dominálnak: a nyár és a fűz (VIRÁG 2016).

Összefoglalva hazánk legfajgazdagabb uszadékoltfaanyag-lelőhely mintáinak elemzéséből kiolvasható történetet, három, mind különböző fás szárú vegetációval rendelkező paleofolyásirányt lehetett azonosítani. Vegetáció-, és környezetváltozások azonosítása valósult meg a holtfaanyag leletegyüttes elemzésével. A jelenkori puhafa ligeterdők irányába eltolódott ártéri erdők fafaj aránya példanélküli az azonosított magassági szintekből elkerült holtfák fafaj azonosítása alapján. Megvalósult a vörösfenyő holtfaanyag első hazai dokumentálása. Emellett bizonyítást nyert a sok száz kilométeres szállítódás lehetősége is a szubfosszilis uszadékoltfák körében, amely alapján a lelőhely származási régiójának kiterjedésére lehet következtetni.

A klasszikus fafaj meghatározás és dendrokronológiai elemzések mellett, módszertani újdonságként jelenik meg a kutatásban az UAV alapú távérzékelte adatokból levezett nagyfelbontású felszínmodell elemzése. Rendkívül gyors adatgyűjtés (~20 perc) valósult meg több hektáros területről, amely adatok segítségével több tucat fatörzs magassági értékét és irányultságát lehet vizsgálni térinformatikai szoftverkörnyezetben. A terepi kutatás során klasszikusan használt tájoló és kézi GPS helyett az akár szubcentiméteres pontosságú RTK GPS által bemért terepi kontroll pontok alapján végzett vetületbe forgatással jelentősen csökkenthető a terepi munka ideje.

A hazai folyószakaszok mentén feltárt minták jelentősége az európai dendrokronológiai kutatások szempontjából nézve abban rejlik, hogy az ezekből építhető kronológiák alkothatják a potenciális kapcsolatot a kelet-közép-európai (KRAPIEC 2001), valamint a mediterrán (PEARSON ET AL. 2014) tölgyfazónák között, amelynek megteremtése az egyik legfontosabb kontinens-léptékű feladata a jelenleg zajló európai dendrokronológiai kutatásoknak (WAZNY ET AL. 2014).

7. ÖSSZEGRZÉS

Doktori kutatásaimban azt a célt tűztem ki, hogy a hazánkban eddig nem dokumentált holtfaanyag földtudományos vizsgálatát végezzem el, két különböző földrajzi adottságokkal rendelkező mintaterületen. A dolgozat fő kérdése az volt, hogy a szubfosszilis holtfaanyagok hogyan és milyen mértékben járulhatnak hozzá környezetváltozások azonosításában. A holtfamadaradványok környezettörténeti szempontú vizsgálatából származó fontosabb eredményeket foglalom össze.

A holtfa elemzések Európa, de világszerte is jól dokumentáltak, fontos környezeti információforrások, de szisztematikus gyűjtésük és környezetváltozási szempontú vizsgálata hazánkban korábban nem történtek. A szubalpin mintaterületen felkutatott tőzeglápok közül, egy tartalmazott nagy mennyiségben szubfosszilis holtfaanyagot. A gazdagnak mondható lelőhelyből származó 67 db minta alapján mintegy 1000 évet felölelő lebegőkronológiákat hoztam létre. A faminták fafaj meghatározásával vegetációösszetétel rekonstrukció valósult meg. Az elmúlt 1600 évben az 1500 méter feletti hegyvidéki régióban kétszer jelent meg a bükk, ezzel azonosításra került a Máramarosi-havasok területén a növényzet függőleges övezetének változásai. A régió jelenlegi fátlan környezete a 13. század végére alakult ki, amely időszak a transzhumán pásztorkodás elterjedése illetve megerősödése a területen.

A babócsai Dráva kanyarulat magaspartjának lelőhelyén, európai szintben is ritkaságszámba menő fajgazdagság mutatkozott meg. A fafajmeghatározás eredményeképp kijelenthető, hogy az ártéri keményfaligeterdők szinte összes jellemző fafaja megtalálható a lelőhelyen, úgy, mint a kocsányos tölgy, vénic szil és hegyi szil. A folyókat kísérő galériaerdők állományalkotó fafajai mellett a minták negyede bükk, amely szintén jellemző fafaja az uszadékholtfáknak. A vörösfenyő első hazai dokumentációja valósult meg, amely nem csak, mint unikális fafaj van jelen, hanem azonosításával a holtfaanyagok származási területének a kiterjedése is becsülhető. A tölgyfaminták sikeres szinkronizációjával elkészült az első drávai szubfosszilis lebegőkronológia, amely 249 évet ölel fel. Az új kronológia lehet a közeljövőben, az egyik fontos építőkőve a környékbéli tölgy mesterkronológiák meghosszabbításának, valamint a Kárpát-medence nyugati szélére szolgáltat új referencia adatsort. Módszertani újjátásként jelenik meg a nagyfelbontású felszínmodell elemzéséből nyert holtfatörzsek irányultságai és magassági adatai. A gyors adatgyűjtéssel létrehozott centiméter pontosságú felszínmodell jelentősen csökkenti a terepi munka idejét, amely által új lelőhelyek vonhatók be a későbbi ilyen irányú vizsgálatokba.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Első sorban szeretném megköszönni családomnak a támogatást, valamint menyasszonyomnak a végtelen türelmét és megértését, amivel fordult irányomba a kutatás olykor nehéz időszakában.

Külön köszönöm témavezetőimnek, dr. Kern Zoltánnak és dr. Nagy Balázsnak, az elmúlt években nyújtott mérhetetlen segítséget, valamint, hogy egyetemi hallgató korom óta egyengették szakmai utamat tanáccsal, ötlettel, pályázati lehetőségekkel.

Hálával tartozom dr. Kázmér Miklósnak a sok hasznos tanácsért és, hogy rendelkezésemre bocsátotta a Budapesti Évgyűrű Laboratórium eszközeit valamint Grynaeus Andrásnak, hogy az elmúlt években mindig fordulhattam hozzá számos minta szinkronizációs kérdésével.

Köszönetemet fejezem ki Antalfi Eszternek és Fehér Sándornak a mikroszkópos fafajmeghatározásért.

Köszönöm Mihály Enikőnek a drávai mintaterületen nyújtott terepi segítséget.

Köszönöm szépen egykori és mostani szobatársaimnak, valamint más szobákban ülőknek, kollégáimnak és barátaimnak, hogy mindig támogattak és körükben insipráló légkörben végezhettem kutatásaimat.

IRODALOMJEGYZÉK

- Agisoft PhotoScan User Manual 2018. Professional Edition, Version 1.4, 127 p.
- Albert G., Mészáros J., Szentpéteri K. 2018. Structural analysis of a Miocene ignimbrite quarry (Tar, Hungary) by Drone (UAV) 3D photogrammetry modelling and Leapfrog geological software analysis. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 20, EGU2018-7310
- Antalfi E. 2012. A fajaj-meghatározás modern lehetőségei. *Magyar Asztalos- és Faipar* 2012/1: 66-67.
- Antalfi E. 2015. Bükkábrányi fosszilis leletek fajaj azonosítása és a Cupressaceae család egyes fajainak dendroklimatológiai vizsgálata. *Doktori Értekezés, Sopron*, 125 p.
- Antalfi E., Fehér S. 2015. Anatomic Investigation of Hungary's common shrub species. *Pro Ligno* 11(3): 31-37.
- Applequist, M. B., 1958. A simple pith locator for using with off-center increment cores. *J. For.* 56-141.
- Ádám J., Bányai L., Borza T., Busics Gy., Kenyeres A., Krauter A., Takács B. 2004. Műholdas helymeghatározás. *Műegyetemi Kiadó, Budapest*, 458 p.
- Árvai M., Kern Z, Kohán B., Mîndrescu, M., Nagy B., 2015a. A Farcău-tőzezláp medrének modellezése és térinformatikai elemzése fúrásadatok alapján. In: Boda J. (Ed.), *Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában VI.*, Debrecen University Press, Debrecen, pp. 31-38. (in Hungarian with English summary)
- Árvai M., Grynaeus A., Kázmér M., Kern Z. 2015b. Holocene driftwood localities in Hungary – status report of an on-going dendrochronological research. In: Akkemik, Ü. (ed.): *EuroDendro 2015 International Scientific Conference on Dendrochronology, Climate and Human History in the Mediterranean Basin*, Book of abstracts, Antalya, Turkey, 18-23.10.2015, 113-115.
- Árvai M., Popa, I., Mîndrescu, M., Nagy B., Kern Z. 2016. Dendrochronology and radiocarbon dating of subfossil conifer logs from a peat bog, Maramureş Mts, Romania. *Quaternary International* 415: pp. 6-14
- Árvai M., Grynaeus A., Kázmér M., Kern Z. 2017. Uszadékfák dendrokronológiai vizsgálata – lehetséges források az ártéri erdők kor-, és fajösszetételének rekonstruálására a történelmi

- és az azt megelőző időkre. In: Jerem E., Laszlovszky J., Pinke Zs. Drosztmér Á, Renner Zs. (szerk.): Történeti tájak – vizes élőhelyek: Régészet, környezettörténet, tájvédelem. Archaeolingua kiadó, Budapest, 85-88.
- Árvai M., Antalfi E., Sebe K., Mihály E., Fehér S., Kern Z. 2018. A Dráva durvaszemcsés folyóvízi üledékéből előkerült szubfosszilis uszadékfák dendrokronológiai és faanatómiai vizsgálata. A Kaposvári Rippl-Rónai Múzeum Közleményei 5: 5-14.
- Babos K. 1984. Csertőlgy és néhány fafaj évgyűrűszélesség és csapadék összefüggés vizsgálata. Botanikai közlemények 71 (1-2): 123-132.
- Babos K. 1986. Az évgyűrűszélesség és a csapadék összefüggés-vizsgálata egy további fafajnál (fehér akác–*Robinia pseudoacacia* L.). Botanikai Közlemények 73: 131-137.
- Babos K. 1987–88. Átmeneti kőorból származó *Quercus robur* L. törzs évgyűrű szélességeinek összehasonlítása a napfolttevékenység ciklusával. Botanikai Közlemények 74–75: 219–233.
- Baillie, M. G. L., Pilcher, J. R. 1973. A simple cross-dating programme for tree-ring research. Tree-Ring Bulletin 33, 7–14.
- Baillie, M. G. L. 2009: The radiocarbon calibration from an irish oak perspective. Radiocarbon 51, 361-371.
- Becker, B. 1993. An 11000 year german oak and pine dendrochronology for radiocarbon calibration. Radiocarbon 35: 201-213.
- Bedő A. 1885. Magyar Állam őszes erdőségeinek átnézeti térképe az egyes községek határában uralkodó főfanem kitüntetésével. Budapest.
- Bernabei, M., Bontadi, J., Nicolussi, K. 2018. Observations on Holocene subfossil tree remains from high-elevation sites in the Italian Alps. The Holocene 28(12): 2017-2027.
- Biczky T., Kaczka R.J. 2014. Climatic conditions causing formation of wood anomalies of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) in the Tatras. Studia i Materiały CEPL, Rogów 40 (3), 9–18. (in Polish with English abstract)
- Biondi, F. 2014. Dendrochronology, volcanic eruptions. Encyclopedia of Scientific Dating Methods. 1-11.

- Blanka, V., Sipos Gy., Kiss T. 2006. Kanyarulatképződés tér- és időbeli változása a Maros magyarországi szakaszán. In: Kertész Á., Dövényi Z., Kocsis K. (Eds.): III. Magyar Földrajzi Konferencia: absztrakt kötet, 238 p.
- Bolka, M., Krapiec, M., 2012. Dendrochronological and radiocarbon dating of the medieval stronghold in Ujście (Poland). *Geochronometria* 39: 30-39.
- Borhidi A. 2003. Magyarország növénytársulásai, Akadémia kiadó, Budapest, 133-134.
- Bronk Ramsey, C, van der Plicht, J., Weninger, B., 2001. “Wiggle–matching” radiocarbon dates. *Radiocarbon* 43(2A): 381-89.
- Bronk Ramsey, C. 2017. Methods for Summarizing Radiocarbon Datasets. *Radiocarbon* 59(6): 1809-1833.
- Brown, P. M. 1996. OLDLIST: A database of maximum tree ages. In: Dean, S. J., Meko, D. M., Swetnam, Y. W. (eds.): *Tree rings, environment, and humanity*. *Radiocarbon* 1996: 727-731.
- Butterfield, B. G., Meylan, B. A., Peszlen I. M. 1997. A fatest háromdimenziós szerkezete, Sopron, Hillebrand nyomda, 148 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 Physiology* 27: 689-702.
- Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., Trouet, V., Kaplan, O. J., Herzig, F., Heussner, K-U., Wanner, H., Luterbacher, J., Esper, J., 2011. 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility. *Science* 331: 578-582.
- Büntgen, U., Kyncl, T., Ginzler, C., Jacks, D., Esper, J., Tegel, W., Heussner, K.-U., Kyncl, J., 2013. Filling the Eastern European gap in millennium-long temperature reconstructions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, 1773-1778.
- Carozza, J. M., Carozza, L., Valette, P., Llubes M, Py, V., Galop, D., Danu, M., Ferdinand, L., David, M., Sévègnes, L., Bruxelles, L., Jarry, M., Duranthon, F. 2014. The subfossil tree deposits from the Garonne Valley and their implications on Holocene alluvial plain dynamics. *Comptes Rendus Geoscience* 346(1): 20-27.
- Chilès, J.P., Delfiner, P. 2012. *Geostatistics*, Wiley, Canada, 689 p.

- Chiriloaei, F., Rădoane, M., Perşoiu, I, Popa, I. 2012. Late Holocene history of the Moldova River Valley, Romania. *Catena* 93: 64-77.
- Cook, E., Kairiukstis, L. (Eds.) 1990. *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences* Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 351 p.
- Čufar, K., De Luis, M., Zupančič, M., Eckstein, D. 2008. A 548-year tree-ring chronology of oak (*Quercus* spp.) for southeast Slovenia and its significance as a dating tool and climate archive. *Tree-Ring Research* 64: 3-15.
- Csikó J., Borhidi A., Bölöni J., Fekete G., Nagy J., Tímár G., Ódor P., Bartha D., Bodoncz L. 2011. Bükkösök részletes leírása, elterjedési térképe és egy jellemző élőhelyképe. In: Bölöni J., Molnár Zs., Kun A. (szerk.): *Az Általános Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer (ÁNÉR), Magyarország élőhelyei, Vegetációtípusok leírása és határozója*. MTA ÖBKI, Vácrátót.
- Csóka Gy., Leskó K. 1994. Klimatikus anomáliákat indikáló erdei rovarok – In: *Erdő és Klíma konferencia, Noszvaj, 1994 június 1-3., 163-170.*
- de Bouchard d'Aubeterre, G., Favillier, A., Mainieri, R., Lopez Saez, J., Eckert, N., Sauliner, M., Peiry, J-L., Stoffel, M., Corona, C. 2019. Tree-ring reconstruction of snow avalanche activity: Does avalanche path selection matter?. *Science of The Total Environment*. InPress
- Diaconu, A-C., Tóth M., Lamentowicz, M., Heiri, O., Kuske, E., Tanțău, I., Panait, A-M., Braun M., Feurdean, A. 2017. How warm? How wet? Hydroclimate reconstruction of the past 7500 years in northern Carpathians, Romania. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 482: 1-16.
- Douglass, A. E. 1919. *Climatic cycles and tree-growth*. Vol. 1. Carnegie Institution of Washington. Publication 289, Washington DC, USA.
- Eckstein, D., Bauch, J. 1969. Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 88(4): 230–250.
- Eckstein, J., Leuschner, H.H., Bauerochse, A., 2011. Mid-Holocene pine woodland phases and mire development—significance of dendroecological data from subfossil trees from northwest Germany. *Journal of Vegetation Science* 22: 781–794.

- Edvardsson J., Linderson, H., Rundgren, M., Hammarlund, D., 2012. Holocene peatland development and hydrological variability inferred from bog-pine dendrochronology and peat stratigraphy - A case study from Southern Sweden. *Journal of Quaternary Science* 27(6): 553-563.
- Edvardsson, J., Hansson, A. 2015. Multiannual hydrological responses in Scots pine radial growth within raised bogs in southern Sweden. *Silva Fennica* 49/4
- Eloy, C. 2011. Leonardo's Rule, Self-Similarity, and Wind-Induced Stresses in Trees. *Physical Review Letters* 107: 258101 5 p.
- Eronen, M., Zetterberg, P., Briffa, K. R., Lindholm, M., Meriläinen, J., Timonen, M., 2002. The supra-long Scots pine tree-ring record for Finnish Lapland: Part 1, chronology construction and initial inferences. *The Holocene* 12(6): 673-680.
- EUFORGEN 2009, Tree species distribution maps. www.euforgen.org.
- Farcaș, S., Tanțău, I., Mîndrescu, M., Hurdu, B., Filipas, L., Ursu, T. 2009. Pollen analysis of the sequence from the peat bog Taul Mare – Bardau (Maramuresului Mountains). *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*, 5: 21-30.
- Farcaș, S., Tanțău, I., Mîndrescu, M., Hurdu, B., 2013. Holocene vegetation history in the Maramures Mountains (Northern Romanian Carpathians). *Quaternary International* 293: 92-104.
- Feurdean, A., Galka, M., Kuske, E., Tanțău, I., Lamentowicz, M., Florescu, G., Liakka, J., Hutchinson, S.M, Mulch, A., Hickler, T. 2015. Last Millennium hydro-climate variability in Central–Eastern Europe (Northern Carpathians, Romania). *The Holocene* 25: 1179-1192.
- Feurdean, A., Florescu, G., Vannièrè, B., Tanțău, I., O'Hara, R. B., Pfeiffer, M., Hutchinson, S. M., Gałka, M., Moskal-del Hoyo, M., Hickler, T. 2017. Fire has been an important driver of forest dynamics in the Carpathian Mountains during the Holocene. *Forest Ecology and Management* 389: 15-26.
- Friedrich, M., Remmele, S., Kromer, B., Hofmann, J., Spurk, M., Kaiser, K. F., Orcel, C., Küppers, M. 2004. The 12,460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from Central Europe - a unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment reconstructions. *Radiocarbon* 46/3: 1111-1122
- Fritts, H. C. 1976. *Tree rings and climate*. The Blackburn Press, New Jersey, 567 p.

- Garamszegi B., Kern Z. 2016. Hazai bükkösök körlap növekedésének trendjei a változó klíma tükrében. *Erdészettudományi Közlemények* 6: 35-44.
- Garamszegi B., Nagy-Khell M., Farkas M., Nagy L. 2018. Az időjárási viszonyok hatása mézgás éger és kocsányos tölgy állományok növekedésére talajvízháztartás javítását célzó beavatkozások mellett. *Erdészettudományi Közlemények* 8(2): 9-16.
- Geantă, A., Gałka, M., Tanțău, I., Hutchinson, S. M., Mîndrescu, M., Feurdean, A. 2014. High mountain region of the Northern Romanian Carpathians responded sensitively to Holocene climate and land use changes: A multi-proxy analysis. *The Holocene* 24(8): 944-956.
- Geihofer, D., Grabner, M., Gelhart, J., Wimmer, R., Fuchsberger, H. 2005. New master chronologies from historical and archaeological timber in Eastern Austria. In: Sarlatto, M., Di Filippo, A., Piovesan, G., Romagnoli, M. (Eds.), *EuroDendro 2005. Proceedings of the EuroDendro 2005*. Viterbo, Italy, 50–51.
- Giardino, J. R., Shroder, J. F., Lawson, M. P. 2018. Tree-Ring Analysis of Movement of A Rock-Glacier Complex on Mount Mestas, Colorado, U.S.A. *Arctic and Alpine Research* 16(3): 299-309.
- Glerum, C., Farrar, J. L., 1966. Frost ring formation in the stems of some coniferous species. *Canadian Journal of Botany* 44: 879-886.
- Greguss P. 1945: A középeurópai lomblevelű fák és cserjék meghatározása szövettani alapon, *Az Országos Magyar Természettudományi Múzeum Kiadó, Budapest*
- Grissino-Mayer, H. D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2): 205-221.
- Grynaeus A., Horváth E., Szabados I. 1994. Az évgyűrű, mint természetes információhordozó. *Erdészeti Lapok*
- Grynaeus A. 1995. Dendrochronological research in Hungary (Present status as of May 1995 and future development). *Dendrochronologia* 13: 135–138.
- Grynaeus A. 1996. Progress of dendrochronological research in Hungary. *Dendrochronologia* 14: 223–226.
- Grynaeus A., Sarkadi M. 2008. Újabb középkori jellegű tetőszerkezetek Nyugat-Magyarországon. *Soproni Szemle* 62/: 3-29.

- Grynaeus A. 2009. Dendrokronológiai kutatások Magyarországon – a Magyar Dendrokronológiai Laboratórium tevékenysége. In: Kázmér M. (szerk.): Környezettörténet. Az elmúlt 500 év környezeti eseményei történeti és természettudományi források tükrében. Hantken Kiadó, Budapest, 337-343.
- Grynaeus A. 2011. Dendroclimatologiam facere, necesse est! Dendrokronológia és/vagy dendroklimatológia? In: Kázmér M. (szerk.): Környezettörténet II. Környezeti események a honfoglalástól napjainkig történeti és természettudományi források tükrében. Hantken Kiadó, Budapest, 185-193.
- Grynaeus A. 2015. Miről mesélnek a régi fák évgyűrűi? (Régészet, dendrokronológia, klímátörténet). Archaeolingua kiadó, Budapest, 244 p.
- Grynaeus A., Ilon G. 2016. Késő középkori híd a Pinka mellékvizén (Pinkamindszent – Mindszent-Patak, Vas megye, Nyugat-Magyarország) / Late Mediaeval bridge on the tributary of the Pinka river (Pinkamindszent – Mindszent-stream, Vas County, W Hungary). Archeometriai Műhely 13(4): 267-272.
- Hajdú-Moharos J. 2010. Az Északkeleti-Kárpátok. In: Karátson D. (szerk.): Pannon Enciklopédia – Magyarország földje, Urbis kiadó, Budapest, 405-408.
- Haliuc, A., Hutchinson, S. M., Florescu, G., Feurdean, A. 2016. The role of fire in landscape dynamics: An example of two sediment records from the Rodna Mountains, northern Romanian Carpathians. Catena 137: 432-440.
- Hantemirov, R. M., Gorlanova, L. A., Shiyatov, S. G. 2004. Extreme temperature events in summer in northwest Siberia since AD 742 inferred from tree rings. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 209(1-4): 155-164.
- Haraszty Á. 1968. Általános szövettan – In: Haraszty Á. (szerk.): Növénytan. Tankönyvkiadó, Budapest, 117-122.
- Hatvani I. G., Magyar N., Zessner M., Kovács J., Blaschke A. P. .2014. The Water Framework Directive: Can more information be extracted from groundwater data? A case study of Seewinkel, Burgenland, eastern Austria. Hydrogeology Journal 22(4): 779-794.
- Hollendonner F. 1913. A fenyőfélék fájának összehasonlító szövettana, „Pátria”, Budapest
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Research 43: 69-78.

- Horsky, D., Reinprecht, L. 1985. Vlastnosti fosilneho dubového dreva. *Dreva* 40: 283-285.
- Horváth E. 1974. Dendroklimatologische untersuchungen an Holzstämmen aus Ungarn. *A Vas megyei múzeumok értesítője* 7-8: 11–54.
- Horváth E. 2004. Az évgyűrűs kormeghatározás hidrológiai vonatkozásai. *Hidrológiai közlöny* 84/2: 37-57.
- Jakab G., Sümegi P. 2005. A nagybárkányi Nádas-tó kialakulása a makrofosszília vizsgálatok alapján (Cserhát, É szak-Magyarország); (The development of Nádas Lake at Nagybárkány, Mt Cserhát, N Hungary). *Kitaibelia* 10: 104-114.
- Jakab G., Sümegi P. 2011. Negyedidőszaki makrobotanika. *GeoLitera SZTE TTIK Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport, Szeged.*
- Jakab G., Silye L., Sümegi P., Tóth A., Sümegi B., Pál I., Benkő E. 2019. Relict Anthropogenic Ecosystem from the Middle Ages: History of a Salt Marsh from Transylvania (Sic, N Romania). *Environmental Archaeology*, 1-18
- Jankó A. 2007. Magyarország katonai felmérései 1763-1950. Budapest, Arcanum Kft., CD-ROM, 48/a. melléklet
- Kaczka, R., Büntgen, U., 2007. Spatial autocorrelation and growth/climate response of a high elevation spruce network along the Carpathian arc. *TRACE – Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology* 5, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, 103-112.
- Kaennel, M., Schweingruber, F. H. 1995. *Multilingual Glossary of Dendrochronology: Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian.* Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna: Paul Haupt Publisher. 467 p.
- Kalicki, T., Krapiec, M. 1995. Problems of dating alluvium using buried subfossil tree trunks: lessons from the 'black oaks' of the Vistula Valley, Central Europe. *The Holocene*, 5(2): 243-250.
- Kázmér M. 2003. Lejtőmozgások datálása fák évgyűrűivel. *Földtani Kutatás* 40/3: 3-7.
- Kázmér, M., Grynaeus, A., 2003. The Budapest Tree-Ring Laboratory. *Association for Tree-Ring Research Newsletter* 1: 5-6.

- Kern Z., Fórizs, I., Nagy B., Kázmér M., Gál A., Szántó Zs., Palcsu L., Molnár M. 2004. Late Holocene environmental changes recorded at Gheţarul de la Focul Viu, Bihor Mountains, Romania. *Theoretical and Applied Karstology* 17: 51-60.
- Kern Z. 2007. Évgyűrűvizsgálatok a Déli-Bakonyban és a Balaton-felvidéken. In: Gömöri J. (szerk.) *Az erdő és a fa régészete és néprajza*. Magyar Tudományos Akadémia VEAB Soproni Tudós Társasága, Sopron, 89-102.
- Kern, Z., Popa, I. 2008. Changes of frost damage and treeline advance for Swiss stone pine in the Calimani Mts. (Eastern Carpathians, Romania). *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 4: 39-48.
- Kern Z. 2009. Balaton-felvidéki tölgyek évgyűrűszélességének kapcsolata a Balaton vízszintingadozásával. In: Kázmér M. (szerk.): *Környezettörténet*, Hantken kiadó, Budapest, 357-366.
- Kern Z., Patkó M., Kázmér M., Fekete J., Kele S., Pályi Z. 2013. Multiple tree-ring proxies (earlywood width, latewood width and $\delta^{13}C$) from pedunculate oak (*Quercus robur* L.), Hungary. *Quaternary International* 293: 257–267.
- Kern Z., Árvai M., Gryneaus A. 2014. Dendrochronological study on the oak timber of a wooden belfry from Szokolya-Királyrét, Hungary. *Archeometriai Műhely* 2014/1: 71-76.
- Kern, Z. Popa, I. 2016. Dendrochronological and radiocarbon analyses of subfossil oaks from the foothills of the Romanian Carpathians. *Geochronometria* 43: 113-120.
- Kern Z., Mihály E., Nagy B., Mészáros J., Urdea, P., Timofte, F., Sipos Gy. 2018. Closely situated dendro-sites tell distinct dendro-stories from the Mureş/Maros river, Romania. In: Harvey, J., Lange, J., Scharnweber, T., Wilmking, M. (eds.): *Book of Abstracts. TRACE 2018 Conference, 24-27 April 2018, Greifswald, Germany*. 148 p.
- Kiss T., Sipos Gy. 2009. Dendrológia alkalmazása a geomorfológiai kutatások során: a szigetvándorlás vizsgálata a Maros magyarországi szakaszán / Applying dendrology in geomorphological researches: case study on island formation on Maros River, Hungary. *Földrajzi Közlemények* 133: 13-23.
- Kiss T., Andrási G., Hernesz P. 2011. Morphological alteration of the Dráva as the result of human impact. *AGD Landscape & Environment* 5(2): 58-75.

- Kiss, T., Fekete, I., Tápai, I. 2019. Environmental Status of a City Based on Heavy Metal Content of the Tree-Rings of Urban Trees: Case Study at Szeged, Hungary. *Journal of Environmental Geography*, 12(1-2): 13-22.
- Kohán, B., Szalai J. 2014. Spatial Analysis of the Shallow Groundwater Level Monitoring Network in the Danube-Tisza Ridge Using Semivariograms, *Hungarian Geographical Bulletin* 63(4): 379-400.
- Kolář, T., Rybníček, M. 2010. Physical and mechanical properties of subfossil oak (*Quercus*, sp.) wood. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 58(4): 123-134.
- Kolář, T., Kyncl, T., Rybníček, M., 2012. Oak chronology development in the Czech Republic and its teleconnection on a European scale. *Dendrochronologia* 30: 243–248.
- Koloszár J. 2010. Erdőismerettan. Nyugat-Magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 353 p.
- Kovács J., Reskóné Nagy M., Kovácsné Székely I. 2005. Mintavételezés gyakoriságának vizsgálata tér–statisztikai függvénnyel a Velencei-tó példáján. *Hidrológiai Közöny* 85(6): 68-71.
- Kovács J., Korponai J., Kovácsné Székely I., Hatvani I G. 2012. Introducing sampling frequency estimation using variograms in water research with the example of nutrient loads in the Kis-Balaton Water Protection System (W Hungary). *Ecological Engineering* 42: 237-243.
- Kulin Gy. 1941. A fák évgyűrűi és a napfoltperiódus. – *Csillagászati Lapok* 1941/4: 33–37.
- Kúdel, J., Reinprecht, L. 1990. Einfluss der Holzfeuchte auf die Druckfestigkeit von rezentem und subfossilem Eichenholz (*Quercus robur* L.). *Holzforschung* 44(3): 211-215.
- Krapiec, M., 2001. Holocene dendrochronological standards for subfossil oaks from the area of Southern Poland. *Studia Quaternaria* 18: 47–63.
- Ladányi Zs., Blanka V. 2015. Tree-ring width and its interrelation with environmental parameters: case study in Central Hungary. *Journal of Environmental Geography* 8/3–4: 53–59.
- Leuschner, H.H., Delorme, A. 1988. Tree-ring work in Göttingen. Absolute oak chronologies back to 6255 BC. *PACT* 22: 123-132

- Magyar K. 1973. Előzetes jelentés a barcsi bődönhajó feltárásáról. Somogyi Múzeumok Közleményei 1: 357-362.
- Magyar K. 2007. A középkori barcsi bődönhajó feltárása és kormeghatározása. In: Gömöri J. (szerk.) Az erdő és a fa régészete és néprajza. Magyar Tudományos Akadémia VEAB Soproni Tudós Társasága, Sopron, 179-187.
- Magyari E. K., Jakab G., Sümegei P., Szöör G. 2008. Holocene vegetation dynamics in the Bereg Plain, NE Hungary—the Báb-tava pollen and plant macrofossil record. Acta Geographica Debrecina, 42: 1-16.
- Magyari E. 2015. A Kárpát-medence és DK-Európa késő pleniglaciális és holocén vegetációfejlődése különös tekintettel a gyors felmelegedési és lehülési hullámokra mutatott vegetációs válaszokra. MTA doktori értekezés, 176 p.
- Majer A. 1972. Évgyűrű-kronológia. Az Erdő 21: 164-171.
- Merela, M., Čufar, K. 2013. Mechanical properties of sapwood versus heartwood, in three different oak species. Drvna Industrija 64(4): 323-334.
- Mészáros J., Árvai M., Kohán B., Deák M., Nagy B. 2016. UAV based 3D digital surface model to estimate paleolandscape in highmountainous environment. Geophysical Research Abstracts Vol. 18, EGU2016-15430
- Mihalik E., Nyakas A., Kálmán K., Nagy E. 1999. Növényanatómiai praktikum, JATE Press, Szeged, 37-158.
- Mîndrescu, M. 2003. Lacul Livia (Munții Maramureșului de Nord). Caracterizare morfohidrologică - The Livia Lake (The Northern Maramureș Range). Hydrological and morphological aspects. Analele Universității „Ștefan Cel Mare” Suceava Secțiunea Geografie Anul XII. 49-55.
- Misi D., Náfrádi K. 2016a. Possibility of identification of negative extreme climatic events using *Pinus sylvestris* tree-rings in Transdanubia, Hungary. Dendrobiology 75: 45-54.
- Misi D., Náfrádi K. 2016b. Late winter - early spring thermal conditions and their long-term effect on tree-ring growth in Transdanubia, Hungary. Baltic For 22/2: 203-211.
- Misi D., Náfrádi K. 2017. Growth response of Scots pine to changing climatic conditions of the last 100 years: a case study from Western Hungary. Trees 31(3): 919-928.

- Molnár S., Bariska M. 2002. Magyarország ipari fái – Wood species of Hungary, Budapest, Szaktudás Kiadó Ház, 168-175.
- Molnár M., Rinyu L., Janovics R., Major I., Veres M., 2012. Az új debreceni C-14 laboratórium bemutatása (Introduction of the new AMS C-14 laboratory in Debrecen). *Archeometriai Műhely* 9: 147-160.
- Molnár M., Janovics R., Major I., Orsovszki J., Gönczi R., Veres M., Leonard, A. G., Castle, S. M., Lange, T. E., Wacker, L., Hajdas, I., Jull, A. J. T., 2013a. Status report of the new AMS C-14 sample preparation lab of the Hertelendi Laboratory of Environmental Studies, Debrecen, Hungary. *Radiocarbon* 55: 665–676.
- Molnár M., Rinyu L., Veres M., Seiler, M., Winacker, L., Synal, H.-A., 2013b. EnvironMICADAS: a mini 14C-AMS with enhanced gas ion source interface in the Hertelendi Laboratory of Environmental Studies (HEKAL), Hungary. *Radiocarbon* 55: 338–344.
- Nechita C., Radoane, M. Chiriloaei, F., Radoane, N., Popa, I., Roibu, C., Robu, D. 2014. Subfossil oaks from alluvial deposits and their role in past fluvial activities analysis: case study East Carpathian rivers, Romania. In: Mindrescu M. (Ed.) Late Pleistocene and Holocene climatic variability in the Carpathian-Balkan Region 2014, Georeview Abstracts volume, Stefan cel Mare University Press, Suceava, 107-110.
- Nechita, C., Eggertsson, O., Badea, O. N., Popa, I., 2018. A 781-year oak tree-ring chronology for the Middle Ages archaeological dating in Maramureş (Eastern Europe). *Dendrochronologia* 52: 105-112.
- Nicolussi, K., Weber, G., Patzel, G., Thurner, A., 2014. A question of time: extension of the Eastern Alpine Conifer Chronology back to 10071 b2k. *TRACE – Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology* 13, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, 69-73.
- Panayotov, M. P., Yurukov, I. S. 2007. Tree ring chronology of *Pinus peuce* from the Pirin Mts and the possibilities to use it for climate analysis. *Phytologia Balcanica*, 13 (3): 313–320.
- Panayotov, M., Dimitrov, D., Yurukov, S. 2011. Extreme climate conditions in Bulgaria–evidence from *Picea abies* tree-rings. *Silva Balcanica* 12(1): 37-46.
- Papp A., Grynaeus A. 2011. Budapest török fürdőinek kormeghatározása. *Budapest Régiségei* XLIV: 259-273

- Papp Z. 1984. A vulkáni tevékenység klimatikus hatásainak vizsgálata Magyarországon az évgyűrű-analízis tükrében. *Botanikai Közlemények* 71/1-2: 109–121.
- Papp Z. 1986. A hőmérséklet, a csapadék és az évgyűrűszélességek időbeli változásának összehasonlítása a naptevékenység ciklusával. *Botanikai közlemények* 73(1-2): 113-122.
- Payette, S., Delwaide, A., Simard, M. 2010. Frost-ring chronologies as dendroclimatic proxies of boreal environments. *Geophysical Research Letters* 37(2): L02711: 1-6.
- Pearson, G. W. 1986. Precise calendrical dating of know growth-period samples using a “curve fitting” technique. *Radiocarbon* 28: 292-299.
- Pearson, C. L., Wazny, T., Kuniholm, P. I., Botic, K., Durman A., Seufer, K. 2014. Potential for a New Multimillennial Tree-Ring Chronology from Subfossil Balkan River Oaks. *Radiocarbon*, 56(4): 51-59.
- Pelfini, M., Bozzoni, M., Carton, A. 2005. The contribution of dendroglaciology for the reconstruction of historical fluctuations of Madaccio Glacier (BZ, Italy) and the definition of its scientific attribute and ecological value. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7
- Pelfini, M., Santilli, M., Bozzoni, M. 2006. New dendroglaciological data to reconstruct the historical fluctuations of Madaccio Glacier (Trafoi Valley, BZ, Italy) – In: 10th Alpine Glaciology Meeting 2006, Munich, Germany
- Pilcher J., Baillie, M. G. L., Schmidt, B., Becker, B. 1984: A 7272 year tree-ring chronology for Western Europe. *Nature* 312: 150-152.
- Popa, I., 2004. Fundamente metodologice și aplicații de dendrocronologie. Editura Tehnică silvică, Stațiunea Experimentală de Cultura Molidului, Câmpulung Moldovenesc, (in Romanian)
- Popa, I., Kern, Z., Nagy, B., 2006. Frost ring: a biological indicator of widespread freezing days, and 1876 AD as a case study from the Eastern Carpathians. *Proceeding of the Romanian Academy seriesB*, 8/1: 55-61.
- Popa, I., Kern Z. 2009. Long-term summer temperature reconstruction inferred from tree-ring records from the Eastern Carpathians. *Climate Dynamics* 32: 1107-1117.
- Popa, I., Sidor, C. G. 2010. Romanian dendrochronological network – Rodendronet – 1. conifers, Editura Silvică, ISBN 978-606-8020-11-2.

- Popa, I., Bouriaud, O. 2014. Reconstruction of summer temperatures in Eastern Carpathian Mountains (Rodna Mts, Romania) back to AD 1460 from tree-rings. *International Journal of Climatology* 34, 871-880.
- Primicia, I., Camarero, J. J., Janda, P., Čada, V., Morrissey, R. C., Trotsiuk, V., Bace, R., Teodosiu, M., Svoboda, M. 2015. Age, competition, disturbance and elevation effects on tree and stand growth response of primary *Picea abies* forest to climate. *Forest Ecology and Management*. 354: 77-86.
- Prokop, O., Kolář, T., Buntgen, U., Kyncl, J., Kyncl, T., Bošela, M., Choma, M., Barta, P., Rybníček, M. 2016. On the palaeoclimatic potential of a millennium-long oak ring width chronology from Slovakia. *Dendrochronologia* 40: 93–101.
- Prokop, O., Kolář, T., Kyncl, T., Rybníček, M. 2017. Updating the Czech Millennial Oak Chronology. *Tree-ring Research* 73(1): 47-52.
- Rácz L. 2008. Magyarország környezettörténete az újkorig. *Természettörténelem*, 1., Budapest, MTA Történettudományi Intézete.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatte, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. M., van der Plicht, J. 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4): 1869-1887.
- Rinn, F., 2005. TSAP reference manual. 110 p.
- Rinterknecht, V., Matoshko, A., Gorokhovich, Y., Fabel, D., Xu, S. 2012. Expression of the Younger Dryas cold event in the Carpathian Mountains, Ukraine? *Quaternary Science Reviews* 39: 106-114.
- Rinyu L., Molnár M., Major I., Nagy T., Veres M., Kimák Á., Wacker, L., Synal, H.-A. 2013. Optimization of sealed tube graphitization method for environmental ¹⁴C studies using MICADAS. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B Beam Interactions with Materials and Atoms* 294: 270–275.
- Ruszkiczay-Rüdiger Zs., Kern Z., Urdea, P., Braucher, R., Schimmelpfennig, I. & Aster Team 2016. Revised deglaciation history of the Pietrele-Stanisoara glacial complex, Retezat Mts, Southern Carpathians, Romania. *Quaternary International* 415: 216-229.

- 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* 20: 735-746.
- Schumacher, R. S. 2017. Heavy rainfall and flash flooding. *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*. Online publikálás: 2017 május. 40 p.
- Schweingruber, F.H., 1988. *Tree-rings: basics and applications of dendrochronology*. Kluwer, academic publisher, Dordrecht. 276 p.
- Schweingruber, F. H. 1990. *Microscopic wood anatomy*, 226 p.
- Schweingruber, F. H. 1996. *Tree rings and environment dendroecology*, Haupt, 609 p.
- Schweingruber, F. H. 2001. *Dendroökologische holzanatomie*, Haupt, 472 p.
- Schweingruber, F. H., Börner, A., Schulze, E.-D. 2006. *Atlas of woody plant stems – Evolution, structure and environment modifications*, Springer, 229 p.
- Schweingruber, F. H. 2007. *Wood structure and environment*, Springer, 279 p.
- Selsing, L. 1998. Subfossils of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from the mountain area of South Norway as the basis for a long tree-ring chronology, *Norsk Geografisk Tidsskrift* 52/2: 89-103.
- Sidor, C. G., Popa, I., Vlad, R., Cherubini, P. 2015. Different tree-ring responses of Norway spruce to air temperature across an altitudinal gradient in the Eastern Carpathians (Romania). *Trees* 29: 985-997.
- Speer, J. H. 2010. *Fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press.
- Stoffel, M., Bollschweiler, M. 2008. Tree-ring analysis in natural hazards research? an overview. *Natural Hazards and Earth System Science*, Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union, 8(2):187-202.
- Stokes, M. A., Smiley, T. L. 1996. *An Introduction to Tree-Ring Dating*, The University of Arizona Press, Tucson, 73 p.
- Strunk, H. 1997. Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods. *Catena* 31: 137-151.
- Studhalter R.A. 1955. Tree Growth I. Some historical chapters. *Botanical Review* 21(1-3): 1-72.

- Stuiver, M., Polach, H. A. 1977. Reporting of C-14 data – Discussion. *Radiocarbon* 19: 355-363.
- Szabados I. 2006. The effect of the precipitation on tree ring width. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 1: 39-44.
- Szabados I. 2007. Időjárás fluktuáció hatása a produkcióra dendrokronológiai kutatások alapján. - In: Mátyás CS., Vig P. (szerk.): *Erdő és Klíma* 5, Sopron, 259-306.
- Szabó J. 1996. Csuszamlásos folyamatok szerepe a magyarországi tájak geomorfológiai fejlődésében, Kossuth Egyetemi kiadó, Debrecen, 223 p.
- Szakács L. 2012. A zalaegerszegi erdők és erdőgazdálkodás története a kezdetektől 2010-ig. *Erdészettörténeti Közlemények* 87. Millecentenáriumi Közalapítvány, Zalaegerszeg. 384 p.
- Szántó Z., Kertész R., Morgós A., Nagy D., Molnár M., Grabner M., Rinyu L., Futó I. 2007. Combined techniques to date the first Turkish bridge over the Tisza river, Hungary. *Radiocarbon* 49(2): 515-526.
- Tanțău, I., Feurdean, A., de Beaulieu, J.-L., Reille, M., Farcaș, S. 2011. Holocene vegetation history in the upper forest belt of the Eastern Romanian Carpathians. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 309: 281-290
- Timár G., Molnár G., Székely B., Biszak S., Varga J., Jankó A. 2006. A második katonai felmérés térképszelvényei és azok georeferált változata. *Arcanum*, Budapest, 59 p.
- Timiș, V., Popa, I. 2010. Spatial variability of dendrochronological series from Rodna Mountains (Eastern Carpathians – Romania). *Proceeding of Academia Romana, Series B* 12: 167-170.
- Tóth B., Sófalvi A., Botár I., Grynaeus A. 2015. Udvarhelyszéki templomtornyok és történeti faszerkezetek dendrokronológiai keltezése. Az „udvarhelyi tölgykronológia” (1.). *LUSTRA* 2/1: 4-13.
- Vincze I., Orbán I., Birks, H. H., Pál I., Finsinger, W., Hubay K., Marinova, E., Jakab G., Braun M., Biró T., Tóth M., Dănău, C., Ferencz, I. V., Magyar E. K. 2017. Holocene treeline and timberline changes in the South Carpathians (Romania): Climatic and anthropogenic drivers on the southern slopes of the Retezat Mountains. *The Holocene* 27(11): 1613-1630.

- Virág M. 2016. Magyarországi árterek természetes és aktuális vegetációjának összehasonlítása. Erdészeti Lapok 151(3): 94-96.
- Wazny, T., Lorentzen, B., Köse, N., Akkemik, Ü., Boltryk, Y., Güner, T., Kyncl, J., Kyncl, T., Nechita, C., Sagaydak, S. Vasileva, J. K. 2014. Bridging the Gaps in Tree-Ring Records: Creating a High-Resolution Dendrochronological Network for Southeastern Europe. Radiocarbon, 56(4): 39-50.

Ábrajegyzék

1. ábra: Leonardo da Vinci 15. századi vázlata a fák évenkénti növekményéről, és az ágak átmérőiről (Forrás: Trattato sulla Pittura, Parte sesta: Degli alberi e delle verdure; condotto sul Cod. Vaticano Urbinate 1270 – Értekezés a festészetéről, 6. fejezet: A fákról és zöldegekről; Vatikáni Könyvtár 1270-es kód; 1651)
2. ábra: Az évgyűrűsorozatok egymáshoz megfeleltetése és kronológia építés elméleti ábrája, kihangsúlyozva az eltérő mintavételi helyek időbeli fontosságát (forrás: <http://www.fe.ethz.ch/en/research/dendrochronology-and-phenology/tree-ring-lab/crossdating.html>).
3. ábra: A Visói-havasok Farcău masszívuma és a mintaterület helyzete. Fekete körvonal jelöli a tőzegláp határait.
4. ábra: Erdőhatár a mintaterületen, a Második Katonai Felmérés térképszelvényén és egy GoogleEarth felvételen. Piros körök jelölik az erdőhatár jellegzetes futását, amely felismerhető mindkét ábrán
5. ábra: Az 1885-ös erdősültségi térkép (BEDŐ 1885) a Visói-havasok területéről, sárgapont jelzi a mintaterület helyzetét.
6. ábra: A Farcău-tőzegláp fúrásponjtjai (piros pontok)
7. ábra: A 67 faminta üledékfeldtani elhelyezkedése a lápon belül.
8. ábra: A faminták eloszlása évgyűrűszámaik alapján. **a:** A 67 db minta tíz éves korcsoportokba rendezve a számolt évgyűrűszámok alapján. Barna szín jelöli a bükk mintákat, szürke pedig az faágakat **b:** A minták becsült kora kiegészítve a nem mérhető gyűrűkkel, valamint a becsült hiányzó évgyűrűszámokkal, tíz éves korcsoportokba rendezve. Fehér oszlopok jelölik ahol nem volt becsülhető a hiányzó évgyűrűszám a minta nagyfokú hiányossága miatt, egységesen 50 gyűrűvel lettek kiegészítve. Az alap statisztikák az ábra mindkét panelje esetén a jobb felső sarokban olvasható.
9. ábra: A tavi üledék réteg adataiból készített irány menti empirikus félvariogramok egységes koordináta-rendszerben és a félvariogram felület (baloldali panel); A tőzeg réteg adataiból készített irány menti empirikus félvariogramok egységes koordináta-rendszerben és a félvariogram felület (jobboldali panel)
10. ábra: A tőzeglápon felvett két profil mentén a négy interpolált réteg.
11. ábra: Az MM1 két mintájának radiokarbon korának pontosítása wiggle-matching technikával (DeA-3803 mintakód jelöli a MAR010-es, míg a DeA-3923 kód pedig a

MAR025-ös famintát). A sötétszürke görbe mutatja a csökkentett valószínűségi szakaszt az ismert előzetes dendrokronológiai információ alapján, miszerint a két mérés közti átlagos gyűrűszám 81 (A); Az MM2 három mintájának radiokarbon korának pontosítás wiggles-matching technikával (DeA-3922 mintakód jelöli a MAR014-es, a DeA-3804 kód a MAR006-osat, míg a DeA-1266.1.1 pedig a MAR001-es famintát). A sötétszürke görbe mutatja a csökkentett valószínűségi szakaszt az ismert előzetes dendrokronológiai információ alapján, miszerint a mérések közti átlagos gyűrűszám 54 és 71 (B); Az MM4 két mintájának radiokarbon korának pontosítása wiggles-matching technikával (DeA-10037 mintakód jelöli a MAR018-as minta fiatalabb radiokarbon korral jellemezhető szakaszát, míg a DeA-10038 kód pedig az idősebb szakaszt). A sötétszürke görbe mutatja a csökkentett valószínűségi szakaszt az ismert előzetes dendrokronológiai információ alapján, miszerint a két mérés közti átlagos gyűrűszám 25 (C)

12. ábra: A hét máramarosi lebegő kronológia. Sárga kör jelzi a minták elején, ha béllal rendelkeznek; a minták fiatal (bal) végén szaggatott vonal mutatja a bélig hiányzó évgyűrűk becsült számát; hópehely szimbólum jelzi a fagygyűrűk mintán belüli pozícióját, míg barna nyíl prezentálja a ^{14}C korok mintán és kronológián belüli helyzetét, szélességük a kiválasztott évgyűrűszámok tekintetében változik. A mintasávok a végdátum, azaz kidőlési dátum szerint vannak rendezve az egyes kronológiákban, kivéve az MM4 esetében ahol a nagy bélszám miatt csírázási dátum szerint van rendezve.
13. ábra: A hét lebegőkronológia elhelyezkedése az idővonalon a radiokarbon korok és a rétegtani megfigyelések alapján. Szürke színátmenetes sávok jelzik a radiokarbon kormeghatározással rendelkező kronológiákat. Szürke nyílak jelölik a ^{14}C korok szakaszait. Barna keretű színátmenetes sávok a bükkminták, az üres sávok a relatív rétegtani helyzet alapján kerültek elhelyezésre. Pontozott függőleges vonalak a kérdéses átfedő szakaszokat mutatják. A zöld sávok a környékbeli elérhető mesterkronológiák (Hoverla lucfenyő, KACZKA & BÜNTGEN 2007; Kelemen-havasok lucfenyő, POPA & SIDOR 2010; Kelemen-havasok cribolyafenyő, POPA & KERN 2009)
14. ábra: A máramarosi MAR007-es mintában azonosított „fagygyűrű” jellegzetes lángnyelves megjelenése. Kora tavaszi fagyeseményre enged következtetni, hogy csupán 1-2 sejt sor képződött az adott évben a sejtek fagyás okozta összeroskadásig.

15. ábra: A tőzegláp területének környezetváltozása az elmúlt 1600 évben. **1:** Az 5. század előtti tómeder nélküli állapot, sűrű lucfenyvesel. **2:** 5-6. század, a kialakult tómedence lucfenyő erdővel. **3:** 6-7. század, a bükk első megjelenése a vizsgált időtávban, vegyes erdők veszik körbe a feltöltődő tómedencét. **4:** 8-11. század, tőzegesedő láp, lucfenyők a láp szélén és a lápon is nőnek. **5:** 12-13. század, tőzegláp, a bükk második megjelenése, vegyes erdőségek és emberi erdőirtások kora. **6:** 14-18. század, fás vegetáció nem található a területen, nagyfokú emberi jelenlét nagyszámú állatállománnyal, kialakuló vízmosással (szaggatott vonal). **7:** A jelenlegi környezet UAV alapú 3D modellje (MÉSZÁROS ET AL. 2016), fejlett vízmosással, fás vegetáció nélkül, tőzegláp vízének nagy része lecsapolódott, nagyszámú állatállomány.
16. ábra: A Babócsa melletti mintavételi helyszín közel a horvát-magyar államhatárhoz, valamint a partfalból kiálló szubfosszilis holtfatörzsek. (Fotók: Csór Sándor)
17. ábra: Famaradványok a Dráva-üledékben. A fák (fehér nyíllal jelölve) helyzete 2017. augusztusi GoogleEarth műholdképen (**A**), Látkép észak felé az A ábra középső nyilánál (**B**), A fákat befoglaló üledék rétegsora (**C**). (Ábra forrása: Sebe Krisztina 2018 – In: ÁRVAI ET AL. 2018)
18. ábra: A négy szinkronizálható tölgy minta évgyűrűszélességi görbéje a legjobb egyezést adó pozícióban. A belső táblázat a keresztegyezések alapstatisztikáit mutatja. A minták évgyűrűszámát az átlós, szürke háttérű cellákban tüntettem fel. Az átló alatti cellák a t_{BP} (BAILLE & PILCHER, 1973) értékeit, az átló feletti cellák pedig az egyezés GLK% értékeit (ECKSTEIN & BAUCH 1969) mutatják. (**: $p < 0.05$; ***: $p < 0.01$)
19. ábra: 1,1cm-es terepi felbontással bíró ortofotó a mintaterületről. Sárga vonalak jelölik a fatörzsek középvonalán haladó irányvektort.
20. ábra: A megmintázott in situ fatörzsek irányultsága fokban ($^{\circ}$); 0° =Észak, 90° =Kelet, 180° =Dél, 270° =Nyugat. A kék és narancs színek a törzsek két fő irányát hangsúlyozzák.
21. ábra: A partfalcsuszamlás (kék körvonal) és a három faminta (BAB017-018-19) helyzete
22. ábra: Az azonosított fafajok mai európai elterjedési területe (forrás: EUFORGEN.ORG)
23. ábra: Folyásirány-változások a Dráván. 1: VIRÁG 2016 alapján

Képek jegyzéke

2. kép: A hátravágódó vízmosás által elért Farcău-tőzegláp (Fotó: Nagy B. 2011)
3. kép: A vízmosás által feltárt lápprofil és a felszínre került, valószínűleg kimosott fatörzsek (Fotó: Nagy B. 2014)

Táblázatjegyzék

Táblázat 1.: A Kárpát-medence és környékéről elérhető leghosszabb évgyűrűkronológiák

Táblázat 2. A kronológiába rendezett faegyedek közül kiválasztott minták konvencionális és kalibrált radiokarbon kora. A nem modellezett tartomány az egyes kalibrációk eredménye, ahol pedig alkalmazható volt az esetben a wiggle-matching technikával modellezett becsült tartomány található. A kalibrált korok utáni zárójelben a nem modellezett kalibrált korok 2σ tartomány több valószínűsíthető szakaszát prezentálja százalékos megoszlásban.

Táblázat 3: A babócsai holtfaanyagból begyűjtött minták fafaja és évgyűrűszáma

Táblázat 4.: A faminták csoportosítása törzsátmérővel korrigált tengerszintfeletti magasságaik és az irányultságaik alapján

Mellékletek jegyzéke

1. Melléklet: A dendrokronológia szerteágazó nevezéktana, és ami mögötte van...
 1. melléklet, 1. ábra: Fagysérülés egy lucfenyő (*Picea abies* L. Karst) második évgyűrűjében (Forrás: WSL.ch; F. SCHWEINGRUBER & W. LANDOLT 2006)
2. melléklet: Az MM1 lebegő évgyűrűkronológia mintáinak évgyűrűszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgyűrűszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgyűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA programmal ellenőriztem (HOLMES 1983, GRISSINO-MAYER 2001), az eredmény táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.
3. melléklet: Az MM2 lebegő évgyűrűkronológia mintáinak évgyűrűszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgyűrűszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgyűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA

programmal ellenőriztem (HOLMES 1983, GRISSINO-MAYER 2001), az eredmény táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.

4. melléklet: Az MM3 lebegő évgyűrűkronológia mintáinak évgyűrűszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgyűrűszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgyűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA programmal ellenőriztem (HOLMES 1983, GRISSINO-MAYER 2001), az eredmény táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.
5. melléklet: Az MM4 lebegő évgyűrűkronológia mintáinak évgyűrűszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgyűrűszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgyűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA programmal ellenőriztem (HOLMES 1983, GRISSINO-MAYER 2001), az eredmény táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.
6. melléklet: Az MM5 lebegő évgyűrűkronológia mintáinak évgyűrűszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgyűrűszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgyűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA programmal ellenőriztem (HOLMES 1983, GRISSINO-MAYER 2001), az eredmény táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.
7. melléklet: Az MM6 lebegő évgyűrűkronológia mintáinak évgyűrűszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgyűrűszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgyűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA programmal ellenőriztem (HOLMES 1983, GRISSINO-MAYER 2001), az eredmény

táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.

8. melléklet: Az MM7 lebegő évgyűrűkronológia mintáinak évgyűrűszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgyűrűszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgyűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA programmal ellenőriztem (HOLMES 1983, GRISSINO-MAYER 2001), az eredmény táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.
9. melléklet: Hat máramarosi faminta radiokarbonos kormeghatározás eredményének kalibrált kora, IntCal13-as kalibráló görbe alapján (REIMER ET AL. 2013). A mintakódok az egyes panelek felső részén láthatóak. Több valószínűsíthető kalibrált szakasz esetén zárójelben található a 95.4%-os tartományon belüli százalékos megoszlása a kapott koroknak.
10. melléklet: Hat máramarosi faminta radiokarbonos kormeghatározás eredményének kalibrált kora, IntCal13-as kalibráló görbe alapján (REIMER ET AL. 2013). A mintakódok az egyes panelek felső részén láthatóak. Több valószínűsíthető kalibrált szakasz esetén zárójelben található a 95.4%-os tartományon belüli százalékos megoszlása a kapott koroknak.
11. melléklet: A BAB002-es minta mikroszkópos felvételei. A késői pásztában, az edények sugárirányban rendeződnek. Villás elágazódás nem látható, vagy nagyon ritka. Ezek az edények, a késői pásztában aprók, kisebb méretűek (1), Az egy sejtsoros bélsugarak mellett, 20-40 sejtsor széles bélsugarakkal is rendelkezik a minta. Ezek a széles bélsugarak, a fatesten szabad szemmel is könnyen láthatóak (2). A késői pászta kis edényei mellett bő üregű rosttracheidák és faparenchimák találhatóak (3).
12. melléklet: A BAB004-es minta mikroszkópos felvételei. A késői pásztában a parenchima sejtek, az edényekkel együtt alkotnak húr irányú sávokat. A minta nagyon sűrű sejtszerkezettel rendelkezik. (1). A hosszmetzeti képen látható, hogy a bélsugarak keskenyek, 1-4 (esetleg 5) sejtsor szélesek, alacsonyak, rövidek és tömzsik (2), a szűkebb edények falán jellemző a spirális sejtfalvastagodás, ami a húrmetszeten és a sugármetszeten is egyaránt megtalálható (3).
13. melléklet: A BAB011-es minta mikroszkópos felvételei. Gyantajárat található a minta fájában, melyeknek száma kevés, mérete kicsi, sejtfala ép (1). Barna színű parenchima

sejtek is láthatóak (2). A kereszteződési mezőben 1-4 piceoid gödörke található (3). A sugármetszeten látható, hogy a hossztracheidák falán az udvaros gödörkék, és iker udvaros gödörkék helyezkednek el (4). A bélsugárban a gyantajarat excentrikus elhelyezkedést mutat (5).

14. melléklet: A BAB0012-es minta mikroszkópos felvételei: A minta edényátmérői húrirányba 40-90 μm nagyságúak, míg ez az érték egy fűzfa esetében 60-120 μm között mozog (1). Az edény falán sok egyszerű gödörke helyezkedik el (2).

15. melléklet: A BAB0014-es minta mikroszkópos felvételei: Az évgyűrű határ egyenletes. A bélsugarak szélessége változó (1). A húrmetszeti kép mutatja, hogy a bélsugarak magasak és keskenyek, csupán 1-3 (ritkán 4) sejtsor szélesek (2). A sugármetszeten látható, hogy az edényáttörés teljes, valamint spirális vastagodás van az edények belső falán (3).

16. melléklet: A BAB009-es faminta átlagos évgyűrűszélességi görbéje 1/100 mm pontossággal.

Dendrokronológiai vizsgálat egy máramarosi tőzezláp szubfosszilis faanyagán

1. Melléklet: A dendrokronológia szerteágazó nevezéktana, és ami mögötte van...

Az elmúlt közel száz évben az évgűrű elemzések számos természettudományos elemzésben jelentek meg. A 20. század derekától kezdve a dendrokronológián belül több irányzat kezdett elterjedni attól függően, hogy milyen típusú vizsgálatoknál lehetett alkalmazni a faévgűrű elemzést. Az elmúlt évtizedek dendrokronológiai kutatásai – interdiszciplináris jellegükénél fogva – olyan szerteágazóak, hogy önálló tudományágak alakultak ki. Az elnevezése mindenesetben utal a vizsgálat céljára, ezzel is hangsúlyozva, hogy a fa évgűrűinek elemzése egy eszköz nem pedig a végső eredmény. A teljesség igénye nélkül néhány legrelevánsabb irányzat kerül bemutatásra.

Míg a dendrokronológia az egyes évgűrűk képződésének az időpontját igyekszik meghatározni, addig a *dendroklimatológia* a fák növekedése és az éghajlati elemek kapcsolatát vizsgálja azzal a céllal, hogy a földtörténeti közelmúlt, valamint az emberi történelmi korok éghajlatát rekonstruálja (GRYNAEUS ET AL. 1994). A fentebb már említett Liebig-féle minimumtörvény által egy klímafaktor fogja nagymértékben befolyásolni a fák növekedését. Ez a feltételezés azonban csak kivételes területeken mondható igaznak. Az egyes fafajok, ha az elterjedési területük optimumánál élnek, akkor több tényező is befolyásolja növekedésüket. Önmagában az elterjedési területet is főként az éghajlati tényezők fogják meghatározni. Az elterjedési területük határához közeledve – ami lehet hőmérsékleti pl. magassági fahatár vagy csapadék pl. szárazsági fahatár – a befolyásoló faktorok száma egyre csökken. Ezért alkalmazhatók jól a dendrokronológiai vizsgálatok magashegyi környezetben, hiszen a magas tengerszintfeletti területek a növényzeti elterjedési zóna határán fekszenek. A Magyarországon vizsgált fák esetében azonban a klimatikus faktorok – hőmérséklet, csapadék, napfénytartam – 20% - 20% - 20%-ban, a lokális tényezők – például: domborzat – pedig 40%-ban játszik szerepet a fák növekedésben (BABOS 1984). Időjárás elemek változásának a rekonstruálása mellett alkalmazhatók tavak vízállásának a változására is (KERN 2009). Megfelelő mennyiségű minta – valamint klímaadatok – rendelkezésre állása esetén vizsgálható az a tényező, ami legjobban befolyásolja egy adott területen élő, azonos fafajba tartozó egyedek növekedését. Például a Keleti-Kárpátok területén fekvő Kelemen-havasokban – alpesi tapasztalatokkal

alátámasztva – kimutatták, hogy a léghőmérséklet fontosabb növekedést befolyásoló tényező, mint a csapadék a cirbolyafenyők esetében (POPA & KERN 2009).

Az évgűrű-információk másik izgalmas alkalmazási területe a *dendrogeomorfológia*. A módszer segítségével a fák növekedésének sejtszerkezeti elváltozásai alapján lehet datálni a lejtőmozgásokat (KÁZMÉR 2003), a talajeróziót törzseltemetődéssel (akkumulációs folyamatokat) (STRUNK 1997), vagy éppenséggel a gyökér kitakaródás idejét egy eróziós oldal esetében. Ilyesfajta vizsgálatokkal pontos rekonstrukciókat kaphatunk völgyoldalak fejlődési szakaszairól (STOFFEL & BOLLSCHWEILER 2008), folyópartok eróziójáról vagy magashegységi környezetben sziklageccserek (GIARDINO ET AL. 2018), valamint lavina aktivitásról (DE BOUCHARD D'AUBETERRE ET AL. 2019).

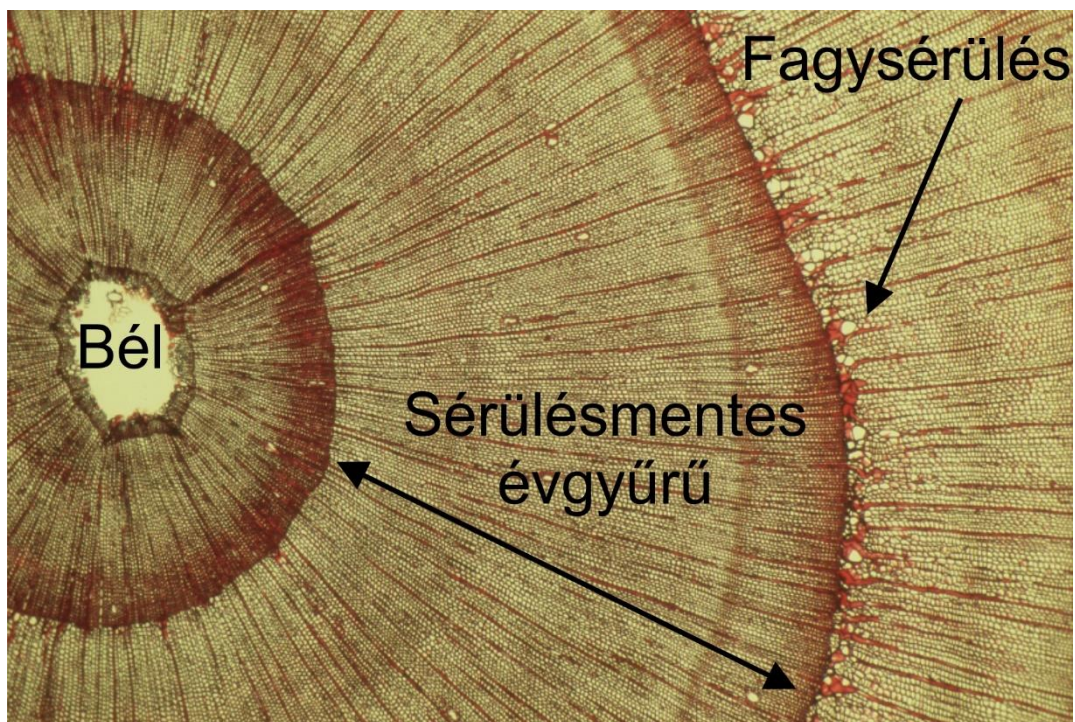
Az egykori környezet, valamint vegetációváltozások vizsgálatára rámutató évgűrűelemzésekkel a *dendroökológia* foglalkozik. Segítségével erdődinamikai változások mutathatóak ki, például fa kidőlési hullámok vagy éppen csírázási időszakok (ÁRVAI ET AL. 2016). A faanyagok anatómiai fafaj meghatározásával az erdők fás szárú növényzetének összetétele rekonstruálható.

Az éghajlatváltozások során a hűvösebb időszakokban előrenyomuló jégárak elérhetik, sőt akár le is tarolhatnak erdőségeket. Az jégárak mozgásával érintett faanyagok elemzésével a *dendroglaciológia* foglalkozik. Segítségével gleccserek előrenyomulásának és hátrálásának idejéről kaphatunk pontosabb információkat, valamint az erdők fafaj összetételére is következtethetünk. Magashegyi területek glaciális története rekonstruálható üledékek, morénák által eltemetett famaradványok vizsgálatával. A gleccser által elért és kidöntött majd a morénákban megjelenő fatörzsek elemzésével a kisjégkorszak (LIA – Little Ice Age) előrenyomuló jégárainak, mikrogleccsereinek maximális méretére lehet következtetni, valamint a növényzet újra kolonizációja pedig a jég visszahúzódásának idejére és mértékére szolgáltat pontos információt (PELFINI ET AL. 2005, 2006).

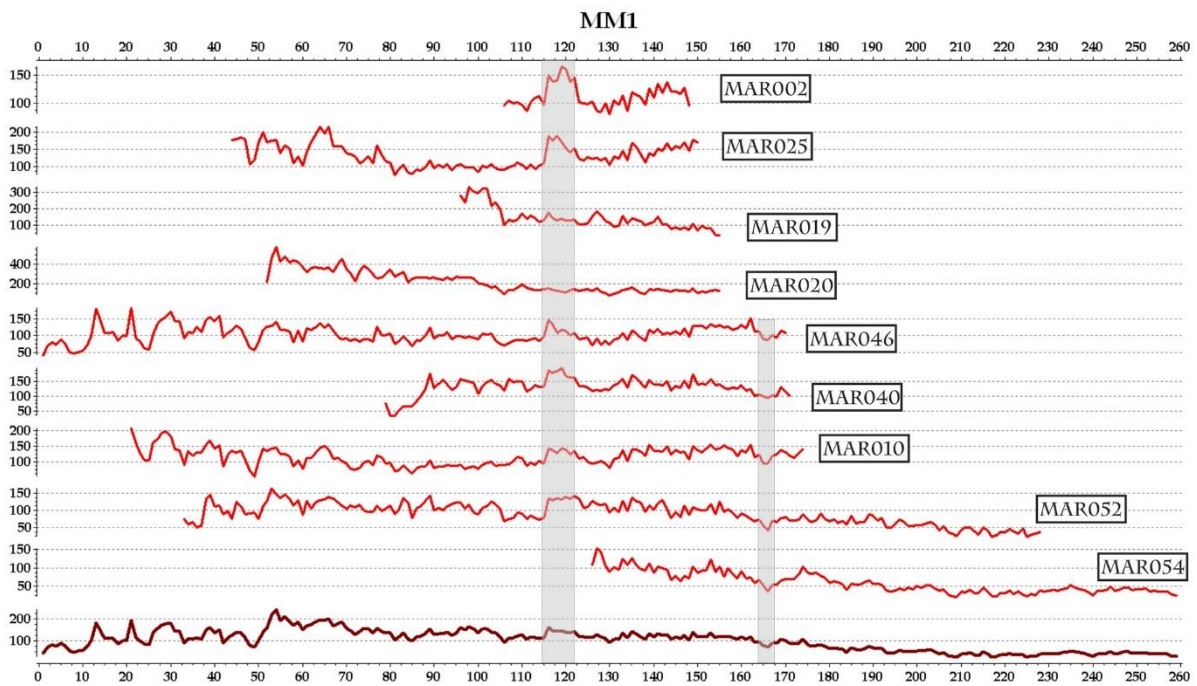
Érdekes vizsgálati lehetőség a fatestnek a különböző rovar- és rágáskárok azonosítása. A rovaroktól származó sejtszerkezeti elváltozások elemzésével – és dendrokronológiai adatsorokkal való összevetésével – megismerhetőek az egyes rovarfajok elterjedéseinek megváltozásai (CSÓKA & LESKÓ 1994). A rovarok populációdinamikájának fő mozgatórugója általában éghajlat, illetve annak a kedvezőbbé válása. A múltbéli klímafluktuációk és a rovarfajok elterjedése közötti kapcsolat megismerésével következtetni lehet a jelenkori, erdőket

károsító, rovarok populáció vándorlásaira és annak sebességére, valamint ezek jövőbeli tendenciáira (CSÓKA & LESKÓ 1994).

A nagy erejű magas VEI értékű (>5) vulkánkitörések globális, vagy valamelyik féltekére gyakorolt klíma befolyásoló tevékenysége kimutatható a fák sejtszerkezetében is. A vegetációs időszakban kialakuló hirtelen lehülés hatására a vízzel telített sejtek megfagynak, a térfogatváltozás miatt a sejtfalak összeroskadnak és jellegzetes mintázatot alkotnak (2. ábra) az adott év növekményében (GLERUM & FARRAR 1966). Sok esetben ezek a tavaszi, vagy kora nyári, fagyeseemények korrelálnak a nagyobb vulkánkitörésekkel (BIONDI 2014), így egyértelmű anatómiai evidenciaként jelezve a fagyeseményt. A faévgyűrű kronológiák segítségével kimutatható a vulkánkitörés hatásainak esetleges késése, az elterjedésének határa és a fagy növekedési időszakon belüli megjelenése (PAYETTE ET AL. 2010). Számos esetben nem alakul ki fagygyűrű a lehülés hatására, hanem az átlagostól szignifikánsan eltérő nagyon vékony gyűrűt növeszt a fa, az adott év mostoha körülményeinek biztos jeleként (HANTEMIROV ET AL. 2004).



1. melléklet, 1. ábra: Fagysérülés egy lucfenyő (*Picea abies* L. Karst) második évgyűrűjében (Forrás: WSL.ch; F. SCHWEINGRUBER & W. LANDOLT 2006)

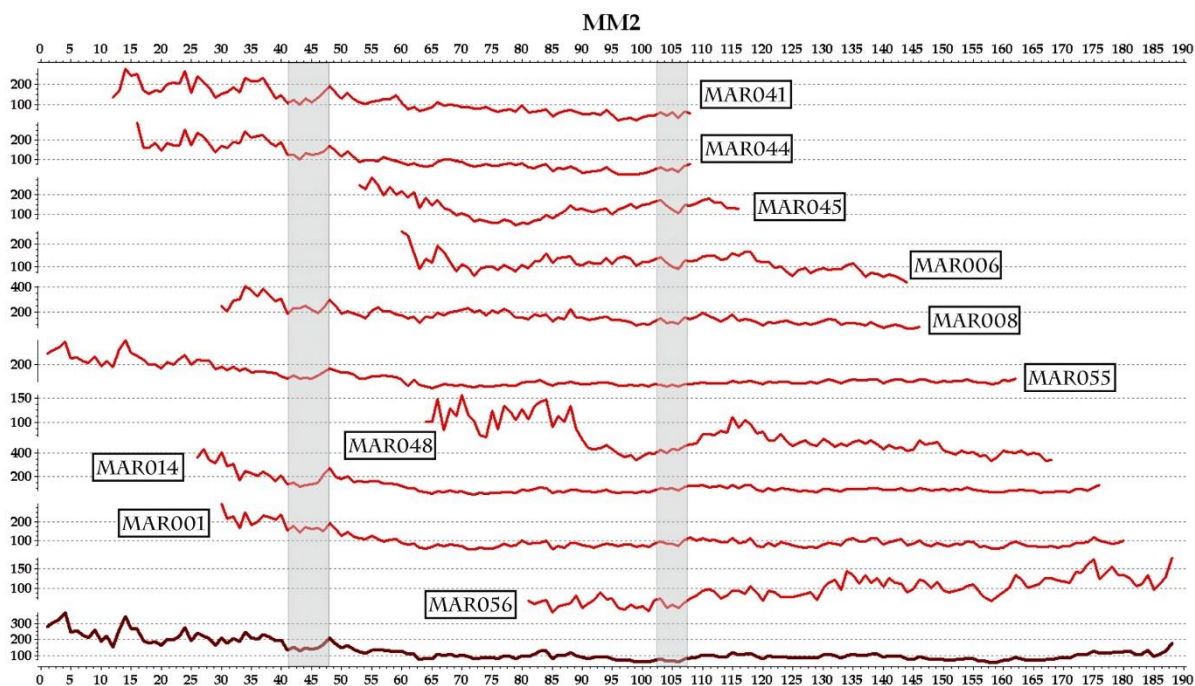


Correlations of 50-year dated segments, lagged 25 years

Flags: A = correlation under 0.3281 but highest as dated; B = correlation higher at other than dated position

Seq	Series	Time_span	0	25	50	75	100	125	150	175	200
			49	74	99	124	149	174	199	224	249
1	MAR002	106 148						.70			
2	MAR010	21 174	.78	.78	.81	.77	.81	.80			
3	MAR019	96 155				.49	.49	.53			
4	MAR020	52 155			.19B	.31A	.51	.39			
5	MAR025	44 150	.76	.77	.84	.85	.82				
6	MAR040	79 171				.54	.69	.73			
7	MAR046	1 170	.84	.82	.79	.77	.72	.66			
8	MAR052	33 228		.42B	.56	.67	.72	.71	.63	.65	.70
9	MAR054	126 259					.74	.73	.65	.70	
Av segment correlation			0.81	0.70	0.62	0.63	0.69	0.67	0.68	0.65	0.70

2. melléklet: Az MMI lebegő évgyűrűkronológia mintáinak évgyűrűszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgyűrűszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgyűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA programmal ellenőriztem (HOLMES 1983, GRISSINO-MAYER 2001), az eredmény táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.

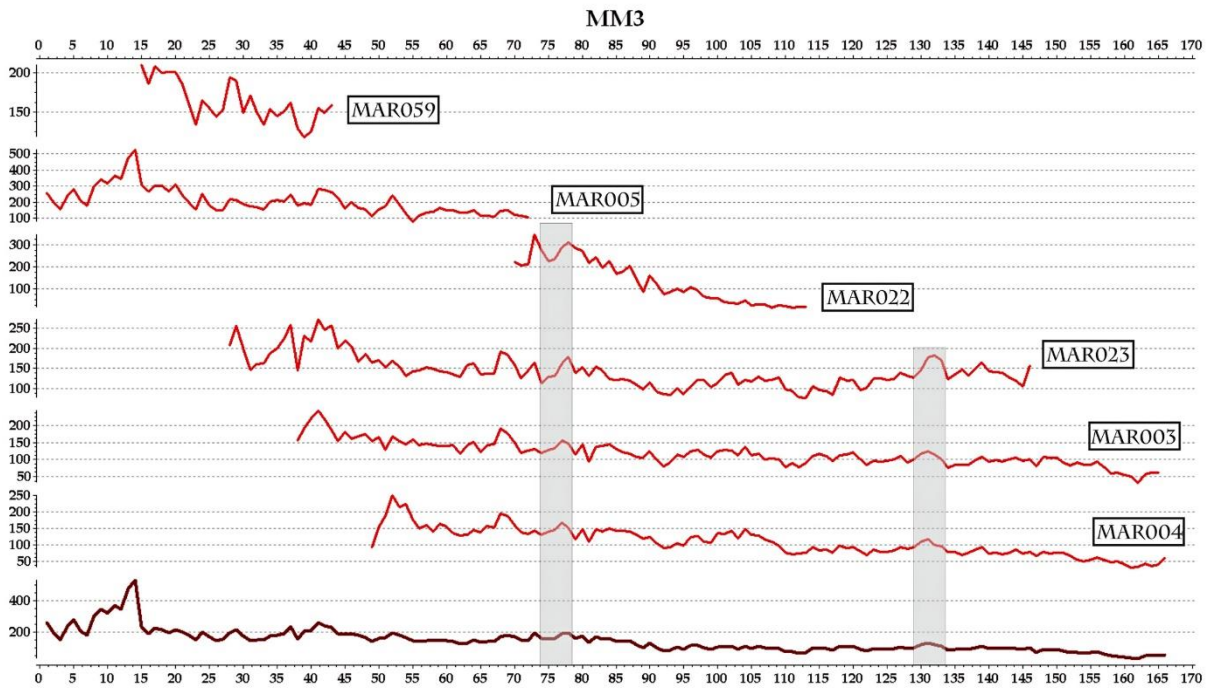


Correlations of 50-year dated segments, lagged 25 years

Flags: A = correlation under 0.3281 but highest as dated; B = correlation higher at other than dated position

Seq	Series	Time_span	0	25	50	75	100	125	150
			49	74	99	124	149	174	199
1	MAR001_m	30 180	.76	.78	.83	.81	.79	.75	
2	MAR006_m	30 146	.66	.71	.78	.77			
3	MAR014co	26 176	.59	.80	.86	.80	.66	.66	
4	MAR041_m	12 108	.79	.77	.79	.77			
5	MAR044_m	16 108	.77	.75	.76	.80			
6	MAR045_m	60 144		.55	.60	.51			
7	MAR048_m	64 168		.52	.62	.52	.47		
8	MAR055_c	1 162	.74	.70	.69	.76	.80	.77	
9	MAR056_m	81 188			.71	.72	.69	.57	
10	MAR066_m	53 116		.39	.43				
Av segment correlation			0.77	0.71	0.66	0.72	0.70	0.67	0.66

3. melléklet: Az MM2 lebegő évgűrűkronológia mintáinak évgűrűrszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgűrűrszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA programmal ellenőriztem (HOLMES 1983, GRISSINO-MAYER 2001), az eredmény táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.

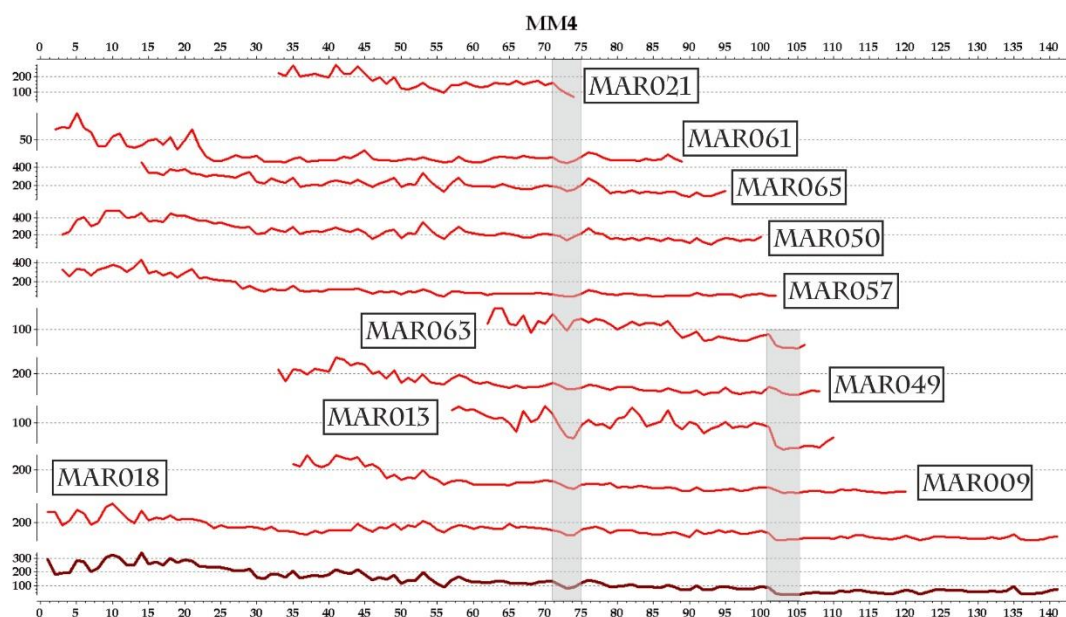


Correlations of 50-year dated segments, lagged 25 years

Flags: A = correlation under 0.3281 but highest as dated; B = correlation higher at other than dated position

Seq	Series	Time_span	0	25	50	75	100	125
			49	74	99	124	149	174
1	MAR003_m	38 165		.54	.61	.79	.80	.71
2	MAR004_m	49 166		.58	.56	.70	.75	.65
3	MAR005	1 72	.47	.53				
4	MAR059_m	15 43	.55					
5	MAR022_m	70 113			.30B			
6	MAR023_m	28 146		.61	.61	.66	.64	
Av segment correlation			0.51	0.56	0.52	0.72	0.73	0.68

4. melléklet: Az MM3 lebegő évgyűrűkronológia mintáinak évgyűrűszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgyűrűszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgyűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA programmal ellenőriztem (HOLMES 1983, GRISSINO-MAYER 2001), az eredmény táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.

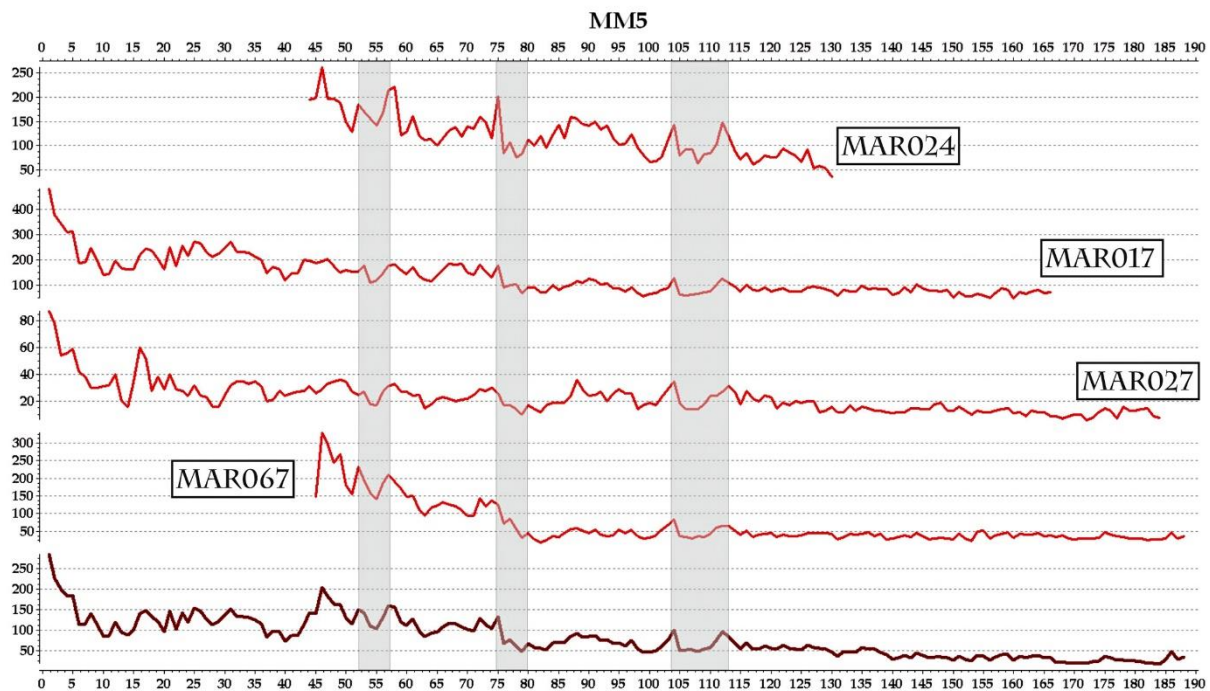


Correlations of 50-year dated segments, lagged 25 years

Flags: A = correlation under 0.3281 but highest as dated; B = correlation higher at other than dated position

Seq	Series	Time_span	0	25	50	75
			49	74	99	124
1	MAR009	35 120		.46	.66	.63
2	MAR013	57 110			.50	.46
3	MAR018	1 141	.43	.53	.65	.64
4	MAR021	33 74		.69		
5	MAR049	33 108		.49	.67	.56
6	MAR050	3 100	.60	.62	.78	.77
7	MAR057	3 102	.58	.73	.66	.60
8	MAR061	2 89	.24A	.33	.47	
9	MAR063	62 106			.53	
10	MAR065	14 95	.60	.61	.79	
Av segment correlation			0.49	0.56	0.63	0.61

5. melléklet: Az MM4 lebegő évgyűrűkronológia mintáinak évgyűrűszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgyűrűszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgyűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA programmal ellenőriztem (Holmes 1983, Grissino-Mayer 2001), az eredmény táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.

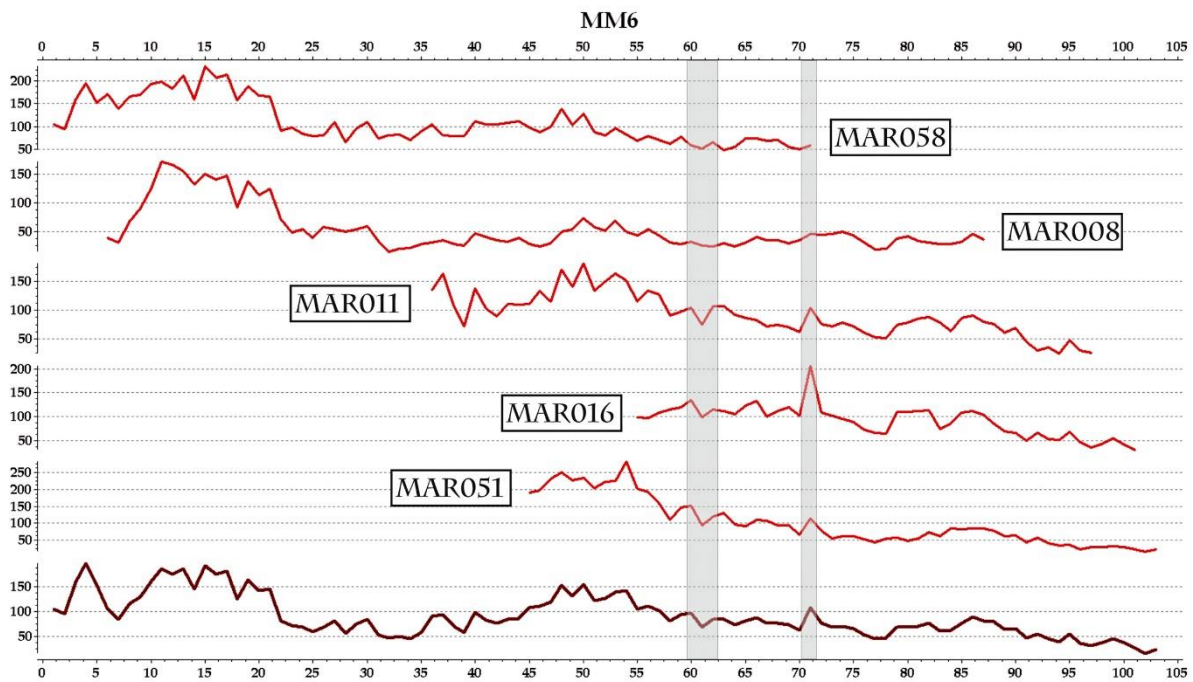


Correlations of 50-year dated segments, lagged 25 years

Flags: A = correlation under 0.3281 but highest as dated; B = correlation higher at other than dated position

Seq	Series	Time_span	0	25	50	75	100	125	150
			49	74	99	124	149	174	199
1	MAR017_m	1 166	.52	.59	.72	.81	.66	.54	
2	MAR024_m	44 130		.51	.53	.65	.50		
3	MAR067_m	45 188		.74	.76	.80	.67	.51	.37
4	MAR027_m	1 184	.53	.58	.62	.71	.48	.33	.31A
Av segment correlation			0.52	0.61	0.65	0.74	0.58	0.46	0.34

6. melléklet: Az MM5 lebegő évgyűrűkronológia mintáinak évgyűrűszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgyűrűszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgyűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA programmal ellenőriztem (HOLMES 1983, GRISSINO-MAYER 2001), az eredmény táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.

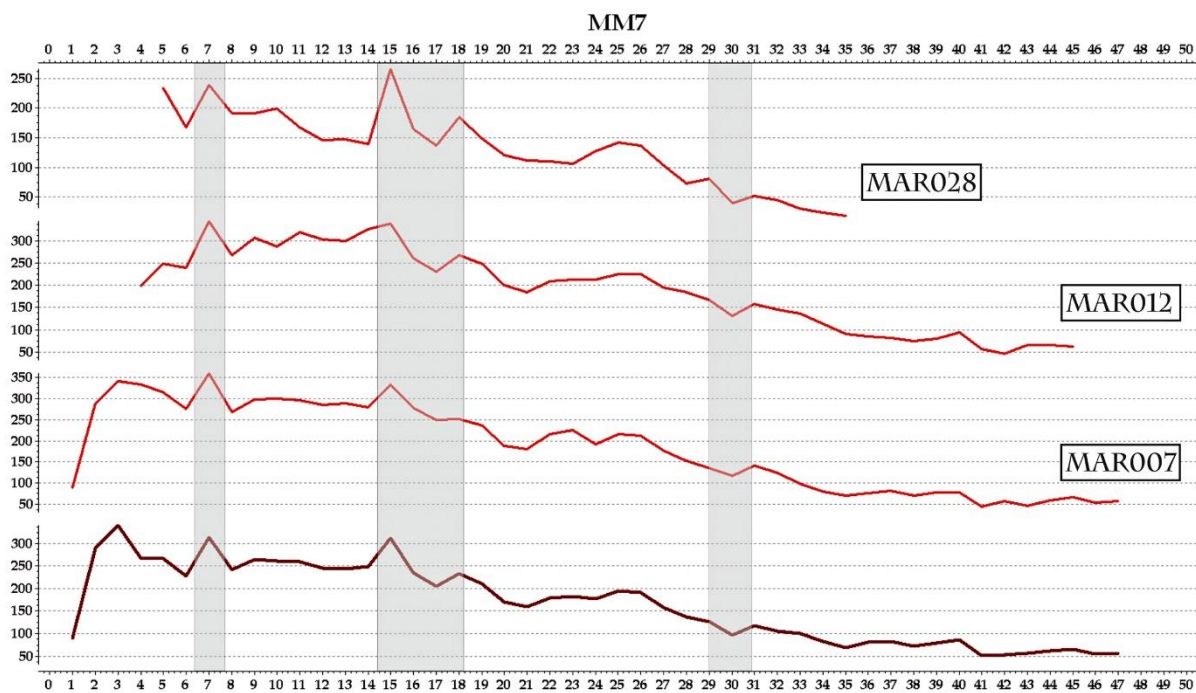


Correlations of 50-year dated segments, lagged 25 years

Flags: A = correlation under 0.3281 but highest as dated; B = correlation higher at other than dated position

Seq	Series	Time_span	0	25	50	75
			49	74	99	124
1	MAR008_m	6 87	.57	.46	.58	
2	MAR016_m	55 101			.60	
3	MAR051_m	45 103		.65	.61	.61
4	MAR058_m	1 71	.53	.46		
5	MAR011_m	36 97		.72	.75	
Av segment correlation			0.55	0.58	0.63	0.61

7. melléklet: Az MM6 lebegő évgyűrűkronológia mintáinak évgyűrűszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgyűrűszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgyűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA programmal ellenőriztem (HOLMES 1983, GRISSINO-MAYER 2001), az eredmény táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.



Correlations of 50-year dated segments, lagged 25 years

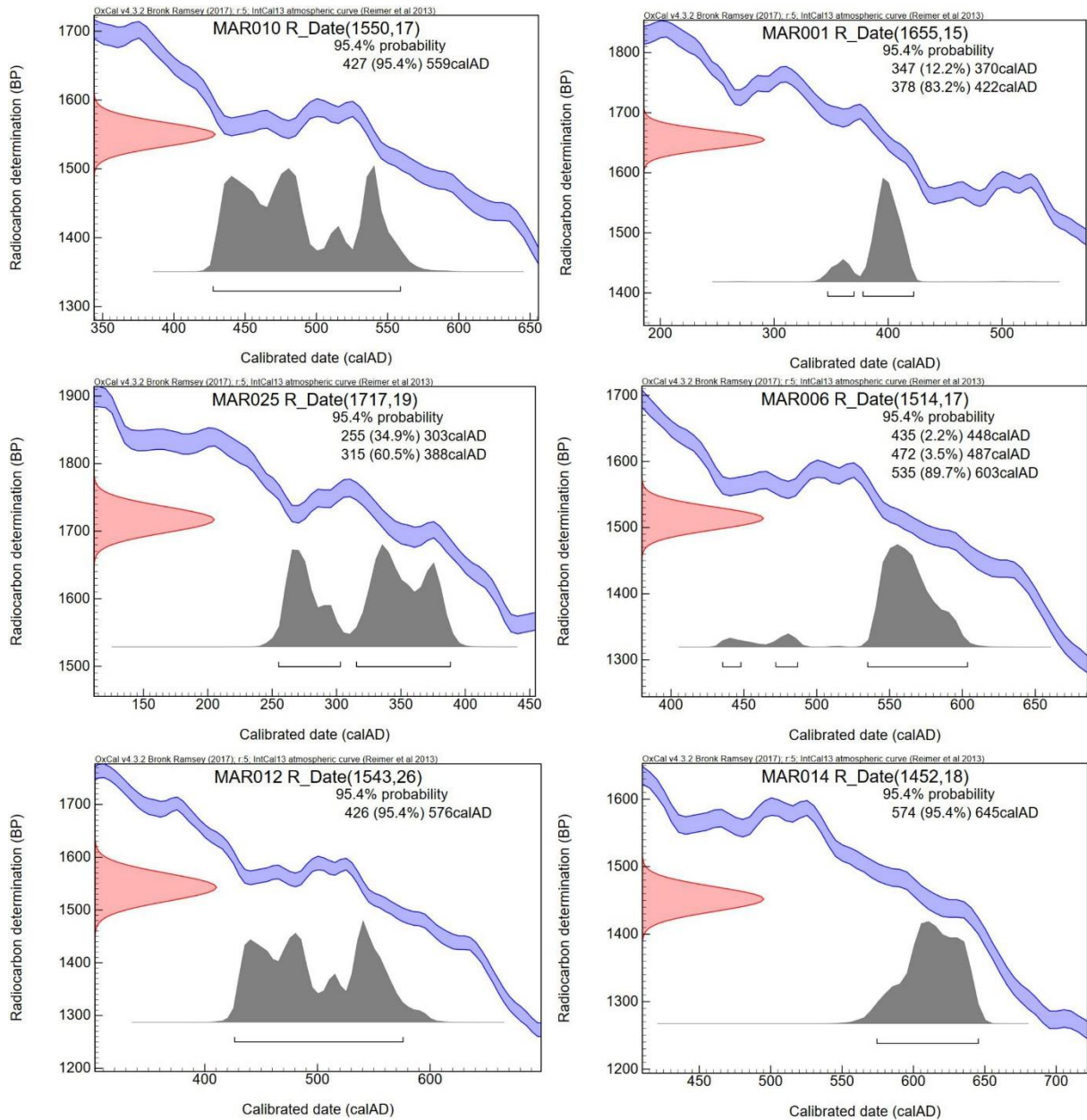
Flags: A = correlation under 0.3281 but highest as dated; B = correlation higher at other than dated position

Seq	Series	Time_span	0
			49

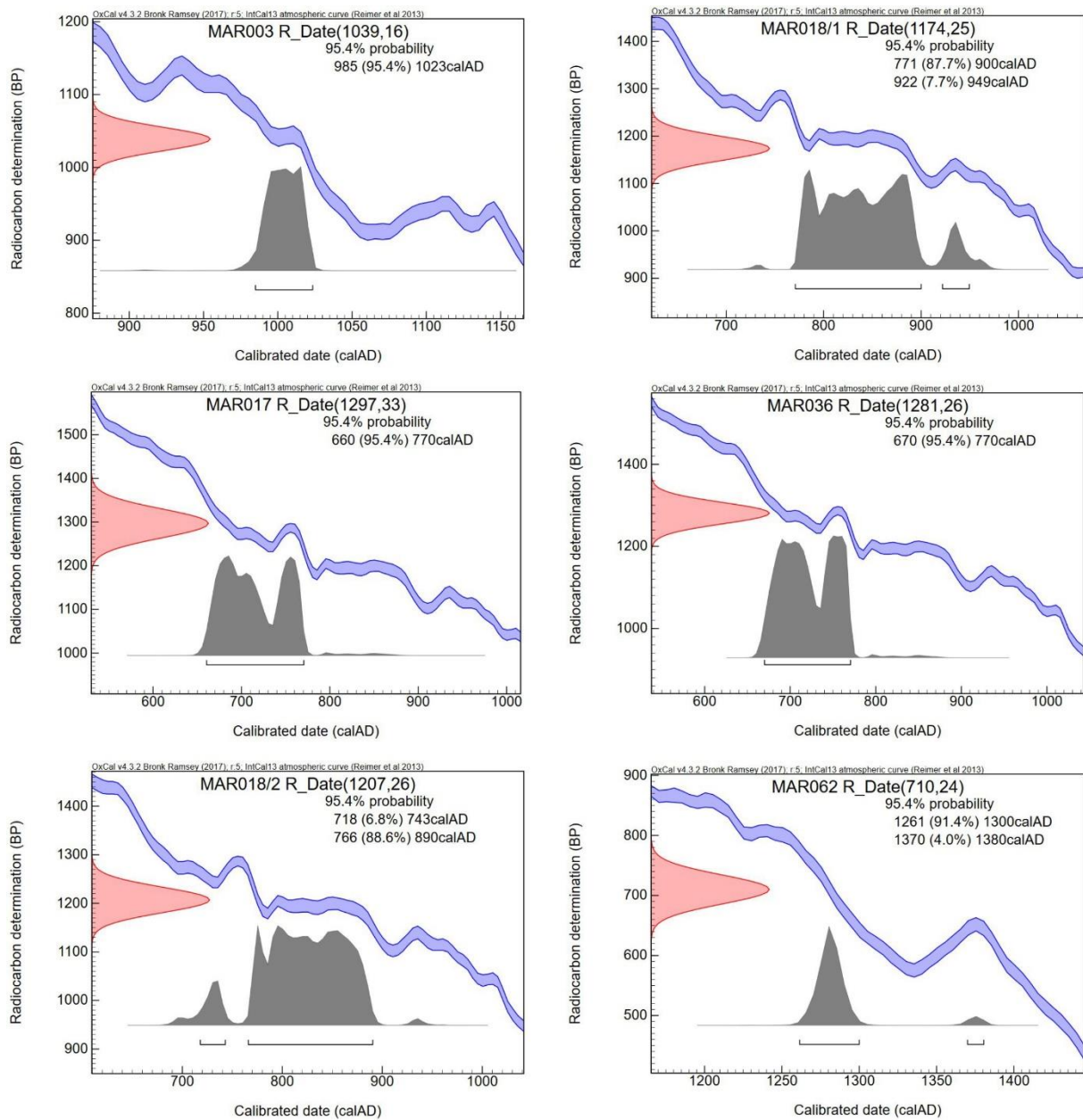
1	MAR007_m	1	47	.67
2	MAR012_m	4	45	.73
3	MAR028_m	5	35	.52

Av segment correlation 0.64

8. melléklet: Az MM7 lebegő évgűrűkronológia mintáinak évgűrűszélességi görbéi 1/100 mm pontossággal (piros görbék). A feltüntetett mintakódok mellett az adott minta görbéi láthatóak, a legalsó sötétebb vonal (bordó) a származtatott kronológia átlagos évgűrűszélességi görbéje. A vertikális szürke sávok a mintákban található jellemző évgűrűmintázatokat emelik ki. A kronológia megbízhatóságát COFECHA programmal ellenőriztem (HOLMES 1983, GRISSINO-MAYER 2001), az eredmény táblázat a görbék alatt található. A minták közti korreláció vizsgálata 50 éves szegmensben, 25 éves léptetéssel készült.



9. melléklet: Hat máramarosi faminta radiokarbonos kormeghatározás eredményének kalibrált kora, IntCal13-as kalibráló görbe alapján (REIMER ET AL. 2013). A mintakódok az egyes panelek felső részén láthatóak. Több valószínűsíthető kalibrált szakasz esetén zárójelben található a 95.4%-os tartományon belüli százalékos megoszlása a kapott koroknak.



10. melléklet: Hat máramarosi faminta radiokarbonos kormeghatározás eredményének kalibrált kora, IntCal13-as kalibráló görbe alapján (REIMER ET AL. 2013). A mintakódok az egyes panelek felső részén láthatóak. Több valószínűsíthető kalibrált szakasz esetén zárójelben található a 95.4%-os tartományon belüli százalékos megoszlása a kapott koroknak.

Dendrogeomorfológiai és faanatómiai vizsgálatok a Dráva folyóvízi üledékéből előkerült szubfosszilis uszadékfák évgyűrűelemzései alapján

Faanatómiai vizsgálatok részletes bemutatása:

A BAB 002-es minta gyűrűs likacsú fa (11. melléklet/1). Keresztmetszetén jól látható, hogy korai pásztaiban nagy üregű edények vannak, töliszekkel részlegesen telítettek. A korai pászta edényei 1-2 sejtsorosak. A húr és a sugármetszeten, a korai pászta nagy edényei árokszerű mélyedésekként láthatók. Az edények áttörése teljes. Bélsugarai homogének, néha az egy sejtsoros bélsugarakat köbös sejtek alkotják. A sugármetszeten a széles bélsugártükrök jellegzetesek (11. melléklet/2). A fatest szilárdító alapállományát vastag falú farostok (libriform rostok) és rosttracheidák alkotják (11. melléklet/3).

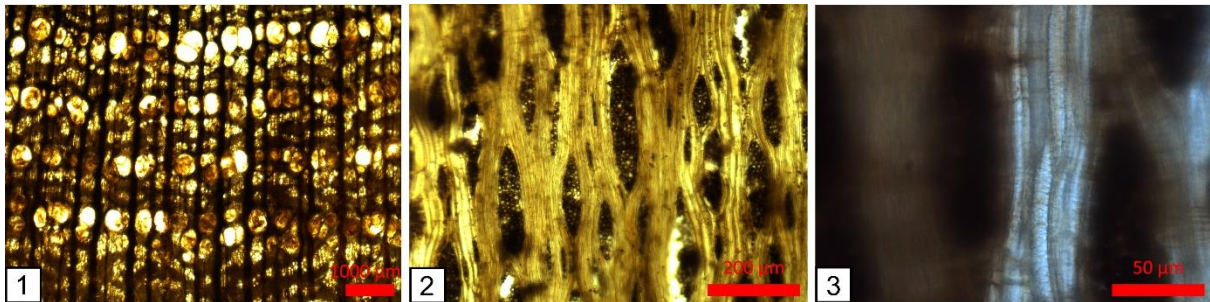
A faanatómiai vizsgálatok alapján a BAB002-es fafaj kocsányos tölgy (*Quercus robur*).



11. melléklet: A BAB002-es minta mikroszkópos felvételei. A késői pásztaiban, az edények sugárirányban rendeződnek. Villás elágazódás nem látható, vagy nagyon ritka. Ezek az edények, a késői pásztaiban aprók, kisebb méretűek (1), Az egy sejtsoros bélsugarak mellett, 20-40 sejtsor széles bélsugarakkal is rendelkezik a minta. Ezek a széles bélsugarak, a fatesten szabad szemmel is könnyen láthatóak (2). A késői pászta kis edényei mellett bő üregű rosttracheidák és faparenchimák találhatóak (3).

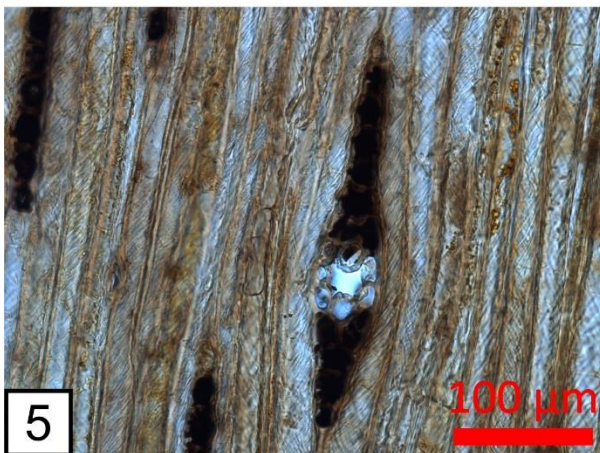
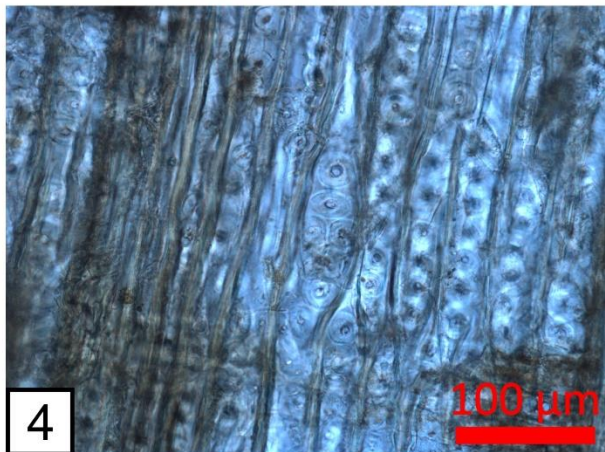
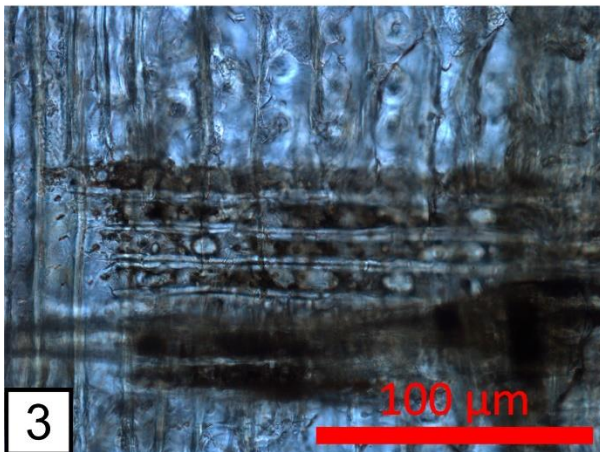
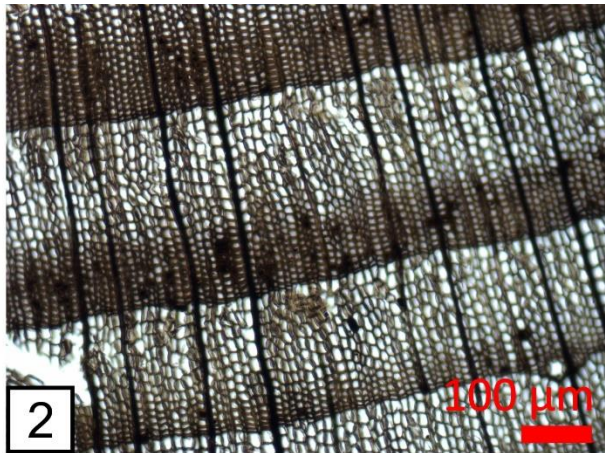
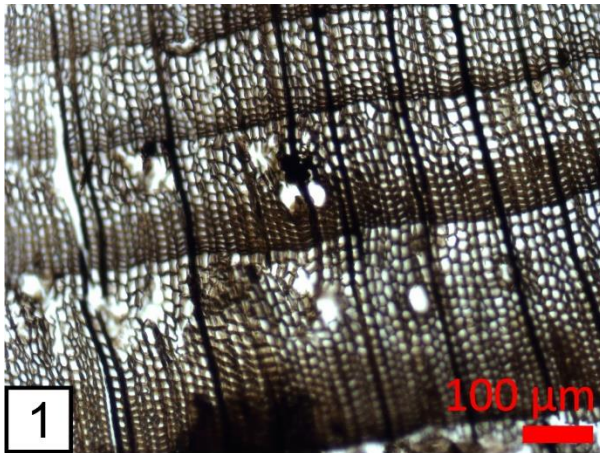
A BAB 004-es minta gyűrűs likacsú fafaj (12. melléklet/1). Keresztmetszetén jól látható, hogy korai pásztaájában nagy üregű edények vannak, leginkább egy, ritkábban két sejtsor szélesen. A bélsugarak homogén felépítésűek, parenchima sejtekből áll, rajtuk egyszerű gödörkék találhatóak (12. melléklet/3). A tracheida sejtek átmérője hasonlít a kései pászta edényeire. Az edények körül és a rostok között egyaránt faparenchima sejteket találunk. A fatest szilárdító alapállományát vastag falú farostok (libriform rostok) és rosttracheidák alkotják.

A faanatómiai vizsgálatok alapján (12. melléklet) a BAB004-es fafaj hegyi szil (*Ulmus scabra*)



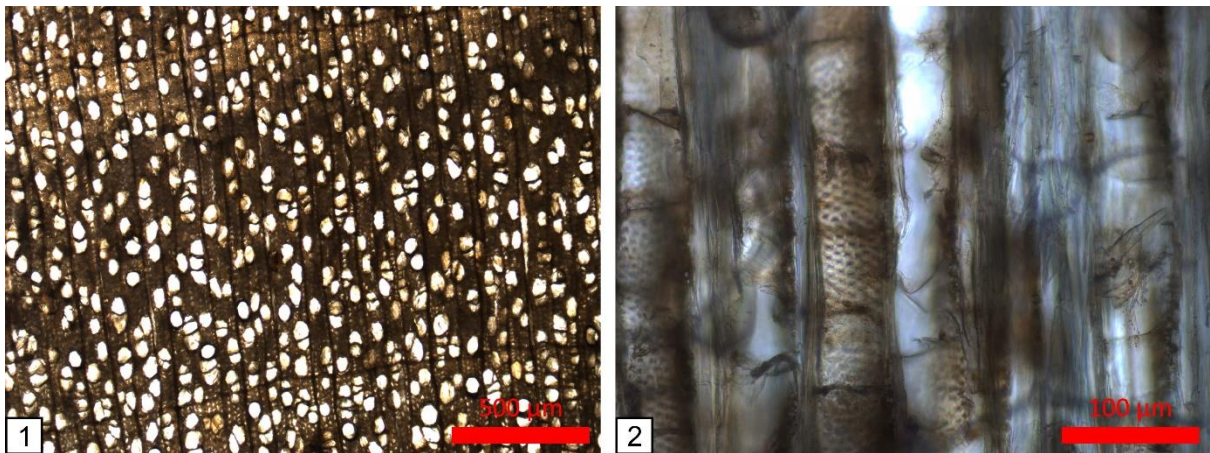
12. melléklet: A BAB004-es minta mikroszkópos felvételei. A késői pásztaában a parenchima sejtek, az edényekkel együtt alkotnak húr irányú sávokat. A minta nagyon sűrű sejtszerkezettel rendelkezik. (1). A hosszszeti képen látható, hogy a bélsugarak keskenyek, 1-4 (esetleg 5) sejtsor szélesek, alacsonyok, rövidek és tömzsik (2), a szűkebb edények falán jellemző a spirális sejtfaletvastagodás, ami a hürmetszeten és a sugármetszeten is egyaránt megtalálható (3).

A BAB 011-es minta keresztmetszetén a hossztracheidák teljesen szabályos elrendeződést mutatnak, ami egyértelműen a fenyők csoportjára irányítja a figyelmet. A korai és a kései pászta határa viszonylag éles (13. melléklet/1, 12. melléklet/2). Faparenchimák ritkán fordulnak elő az évgyűrűhatáron. A bélsugár heterogén felépítésű, így a bélsugár parenchimán kívül, bélsugár tracheidát is tartalmaz. A bélsugártracheidák fala sima, rajtuk kicsi udvaros gödörkés sejtfaletvastagodások láthatóak. A hürmetszeten jól látható, hogy a bélsugarak kizárólag csak egy sejtsor szélesek, gyantajarat esetén kiszélesedhetnek 2 sejtsor szélesre is (13. melléklet/1, 13. melléklet/5). A faanatómiai vizsgálatok alapján (13. melléklet) a BAB011-es fafaj vörösfenyő (*Larix decidua*).



13. melléklet: A BAB011-es minta mikroszkópos felvételei. Gyantajárat található a minta fájában, melyeknek száma kevés, mérete kicsi, sejtfa ép (1). Barna színű parenchima sejtek is láthatóak (2). A kereszteződési mezőben 1-4 piceoid gödörke található (3). A sugármetszeten látható, hogy a hossztracheidák falán az udvaros gödörkék, és iker udvaros gödörkék helyezkednek el (4). A bélsugárban a gyantajárat excentrikus elhelyezkedést mutat (5).

A BAB 012-es minta keresztmetszetén (14. melléklet/1) egyértelműen látható, hogy a korai és a késői pásztájában az edények hasonló méretűek, aprók (szabad szemmel nem láthatóak), így ez egy szórt likacsú fafaj. A korai pásztában az edények átmérője csak kissé nagyobb, mint a későiben és a teljes évgyűrűben egyenletesen elszórva helyezkednek el. Az edények a keresztmetszet 40-50%-át teszik ki. Ritkán állnak egyedül, többnyire 2-4 tagú likacsugarat alkotnak. A húrmetszeti képen nem láthatunk sem spirális sejtfalvastagodást, sem létrás edényáttörést (14. melléklet/2). Edényáttörésük teljes. A mintának csupán 1 sejtsoros bélsugara van, ami parenchima sejtekből áll, így homogén felépítésű. Faparenchimát a minta nem tartalmaz, vagy nagyon ritka. A vékony falú, bő üregű farostok alkotják az alapállományt. A faanatómiai vizsgálatok alapján a BAB012-es mintánál nemzetség szintű meghatározást lehetett végezni: nyár (*Populus* sp.)



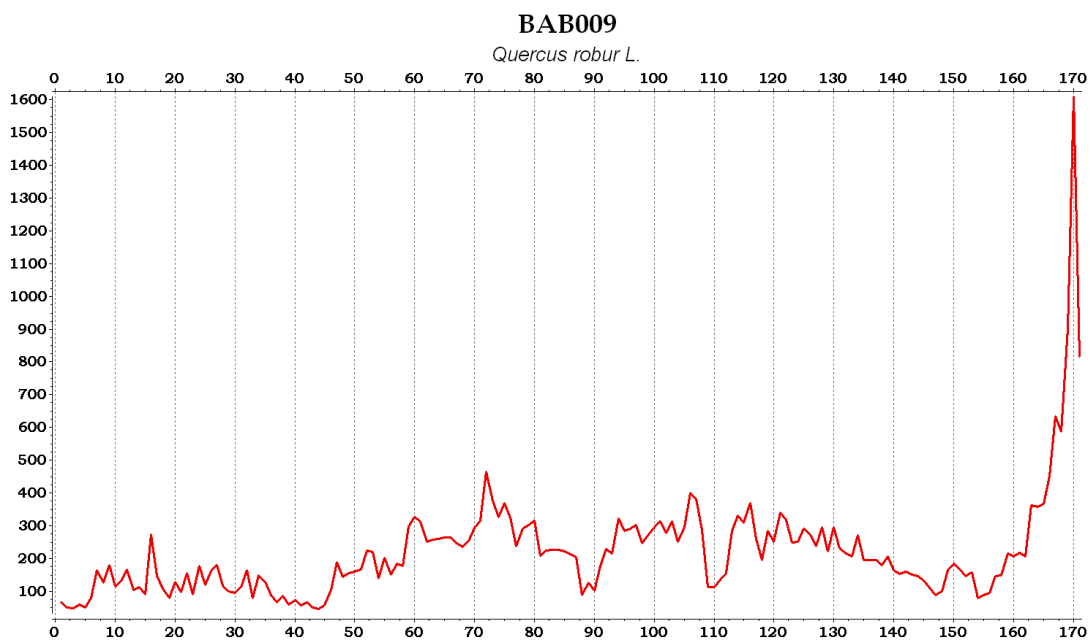
14. melléklet: A BAB0012-es minta mikroszkópos felvételei: A minta edényátmérői hűrirányba 40-90 µm nagyságúak, míg ez az érték egy fűzfa esetében 60-120 µm között mozog (1). Az edény falán sok egyszerű gödörke helyezkedik el (2).

A BAB 014-es minta gyűrűs likacsú fafaj. Keresztmetszetén jól látható, hogy a korai pásztaében nagy üregű edények vannak, 3 akár 4 sejtsor magasak is lehetnek (15. melléklet/1). A késői pászta edényei kisebb méretűek, hullámokat alkotva sávokba rendeződnek. Általában 4-5-ször is magasabbak lehetnek, mint szélesek.

A bélsugarak parenchima sejtekből állnak, ez mutatja, hogy homogén felépítésűek (15. melléklet/2). Az edények körül és a rostok között egyaránt faparenchima sejteket találunk. A fatest szilárdító alapállományát vastag falú, hosszúra nyúlt farostok (melyek részben elhegyesedve, részben lekerekítve végződnek) és rosttracheidák alkotják. A faanatómiai vizsgálatok alapján a BAB014-es fafaj vénic szil (*Ulmus laevis*).



15. melléklet: A BAB0014-es minta mikroszkópos felvételei: Az évgyűrű határ egyenletes. A bélsugarak szélessége változó (1). A húrmetszeti kép mutatja, hogy a bélsugarak magasak és keskenyek, csupán 1-3 (ritkán 4) sejtsor szélesek (2). A sugármetszeten látható, hogy az edényáttörés teljes, valamint spirális vastagodás van az edények belső falán (3).



16. melléklet: A BAB009-es faminta átlagos évgyűrűszélességi görbéje 1/100 mm pontossággal.