

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
FÖLDRAJZ- és FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET

TERMÉSZETFÖLDRAJZI TANSZÉK

**Egy máramarosi tőzegláp famaradványainak
környezettörténeti szempontú faévgyűű vizsgálata**

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Készítette:

Árvai Mátyás

Geográfus MSc

Geomorfológia szakirány

Tanszéki témavezető:

DR. NAGY BALÁZS

egyetemi docens

Külső témavezető:

DR. KERN ZOLTÁN

MTA Geológiai és Geokémiai Intézet, tudományos munkatárs

Konzulens:

DR. KÁZMÉR MIKLÓS

ELTE Őslénytani Tanszék, tanszékvezető egyetemi tanár

Budapest

2013

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
1.1. A dolgozat célkitűzései	3
1.2. Dendrokronológia.....	4
1.2.1. A tudományág rövid története.....	4
1.2.2. A dendrokronológia alkalmazása és korlátai	4
2. A minták származási területe, a Visói-havasok	6
2.1. A kutatási terület földrajzi elhelyezkedése	6
2.2. A tőzegláp elhelyezkedése a hegységen belül.....	6
2.3. A régió vegetáció-történeti kutatásai.....	8
3. Vizsgálati módszerek	11
3.1. A faminták vizsgálata.....	11
3.1.1. A minták előkészítése	11
3.1.2. A minták radiokarbon kormeghatározásai	12
3.1.3. A minták sajtrács elemzése	13
3.1.4. Évgűrűszélesség-mérés	13
3.1.5. Keresztdatálás, átlapolás (crossdate, overlapping)	13
4. Eredmények, következtetések	15
4.1. A famaradványok elemzése.....	15
4.1.1. A sejtrács elemzése eredményei	15
4.1.2. A radiokarbon vizsgálat és a keresztdatálás eredményei	21
4.1.3. A minták beillesztése a terület vegetáció-történetébe.....	25
5. További kutatások	28
6. Összefoglalás.....	29
7. Köszönetnyilvánítás	30
8. Irodalomjegyzék.....	31

1. Bevezetés

1.1. A dolgozat célkitűzései

Dolgozatom célja a Máramaros hegyvidékének környezettörténeti szempontú vizsgálata dendrokronológiai elemzéssel. Faévgűrű vizsgálatokkal rekonstruálhatóak a földtörténeti közelmúlt időjárási eseményei, vegetáció történeti kérdések tisztázódhatnak, valamint az emberi jelenlét és az antropogén beavatkozás mértéke is nyomon követhető (SCHWEINGRUBER 1996). A Keleti-Alpok területén számos vizsgálatot folytattak szubfosszilis famaradványok vizsgálatával, amelyek segítségével több mint 9000 évet tudtak vissza menni időben (NICOLUSSI 2009). A Kárpátok területén azonban szinte hiányoznak az ilyen jellegű dendrokronológiai vizsgálatok. Az első szubfosszilis famaradványok 2009-ben a Szemenik-hegység magasabb régiójában folytatott építkezésein kerültek elő. Összesen 20 db lucfenyő maradvány került elő, de keresztdatálni nem lehetett őket (IONEL POPA SZÓBELI KÖZLÉSE 2009). A Kárpátokban ez idáig csupán ez az egy lelőhely volt ismert, azonban a Máramarosi-havasok romániai területén 2010-ben felfedeztek egy másodikat, ahonnan a minták is származtak, és ezen famaradványok vizsgálata adja dolgozatom alapját. A lábba dőlt fák konzerválódtak és így megfelelő információhordozónak bizonyultak az – emberi léptékkal mért – távolabbi múlt eseményeinek a megőrzésére. A famaradványok elemzései ugyancsak alkalmasak lesznek a terület környezeti jellemzőinek a rekonstruálására, valamint az emberi beavatkozás kezdetének és felerősödésének a datálására. A dolgozat elején ismertetem a területről készített és publikált tanulmányok eredményei alapján kirajzolódó holocén/későholocén vegetációtörténeti eseményeket, valamint a terület – általam készített – elemzésénél alkalmazott módszereket. A további fejezetekben a minták előkészítését és elemzését, valamint az eredmények értékelését ismertetem. Dolgozatom zárásaként összefoglalom az eredményeket illetve a folyamatban lévő kutatás közeljövőjét és a további várható eredményeket mutatom be. Kutatásom egyik legfontosabb célja egy úgynevezett lebegőkronológia felállítása.

1.2. Dendrokronológia

1.2.1. A tudományág rövid története

Már évszázadokkal ezelőtt felfedezték, hogy faévgűrűk alapján elkülöníthetők egymástól a szárazabb és csapadékosabb évek. A 19. században elméleti szinten felmerült a kormeghatározás lehetősége, de konkrét vizsgálat akkor még nem született. Az 1910-es évek elején Andrew Ellicott Douglass, Egyesült Államokbeli professzor ültette át a gyakorlatba és valamivel több mint egy évtized leforgása alatt komoly eredményeket tudott felmutatni. 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). A régészeti kormeghatározásokkal kezdődő kutatásokat a klímátörténeti tanulmányok követték és így a 20. század végére a legpontosabb – és legolcsóbb – éves bontású kronológiák születtek a Föld számos területére. A dendrokronológia, mint kormeghatározási módszer alkalmas arra, hogy egy, a múltban bekövetkezett esemény kezdetét, illetve lefolyását lehet vizsgálni akár éves – szerencsésebb esetben évszakos – bontásban. Így a lehető legpontosabb rekonstrukciót készíthetjük el egy területre.

1.2.2. A dendrokronológia alkalmazása és korlátai

A dendrokronológia módszerének alapja a fásszárú növények ciklikus növekedése. Az évszakos ciklikusság azt jelenti, hogy egy nyugalmi állapot követi a növekedési időszakot. 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 évgűrűt, 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 pásztát (KÁZMÉR 2003). Történeti alkalmazása azon a felismerésen alapult, hogy az egymáshoz közel azonos időben élő különböző faminták évgűrűsorai egymással megfeleltethetők, és ezzel egy folytonos,

a messzi múltba nyúló idősort lehet létrehozni. Ezt nevezik keresztdatálásnak (*cross-dating*), illetve átlapolásnak (*overlapping*). A dendrokronológia két további alapelve:

I., A történeti elv, amely 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.

II., A szinkronelv. A faévgyűrűk változása hasonló, ha minimum kettő – vagy több – azonos fafajú egyed egyazon helyen növekszik, mert így a környezeti hatások szinte ugyanannyira érik őket. 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 egykorúak.

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 extraterresztikus tényezők hatásait vizsgálnánk. 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).

A dendrokronológia alkalmazásának határai nem a kormeghatározásnál keresendőek, hanem maguknál a mintáknál. 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). Sok mintából álló kronológiának a vizsgálata adhat csak kielégítő választ egy-egy éghajlati elem és a növekedés közötti kapcsolatra. A Kelemen-havasokban – alpesi tapasztalatokkal alátámasztva – kimutatták, hogy a léghőmérséklet fontosabb növekedést befolyásoló tényező, mint a csapadék a cirbolyafenyők esetében (KERN 2010). A fentebb leírt okok miatt a mintákból összeállított referenciasorozatok nem alkalmazhatóak a Föld más területeire, tehát nincs globális referencia.

2. A minták származási területe, a Visói-havasok

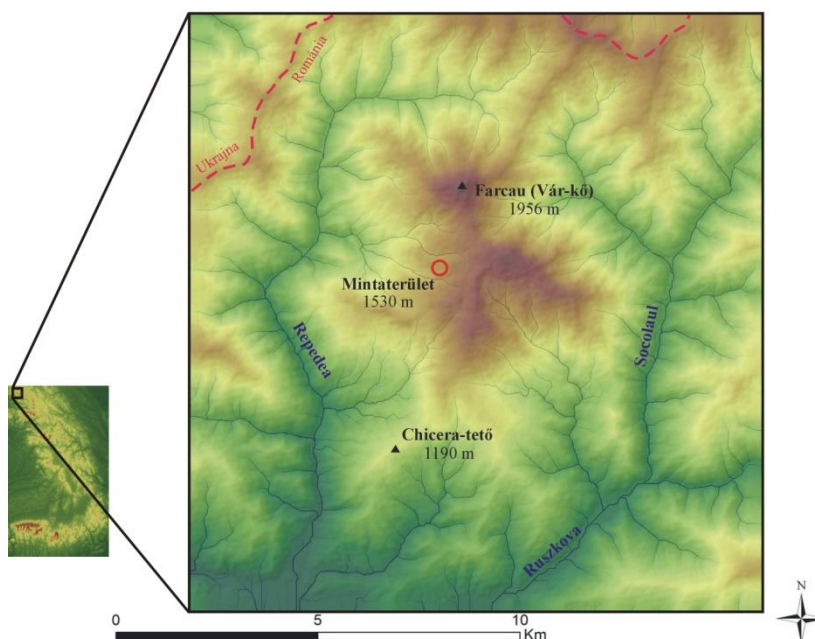
2.1. A kutatási terület földrajzi elhelyezkedése

A mintaterület az Északkeleti-Kárpátokhoz tartozó Máramarosi-havasok romániai része, a Visói-havasok Vár-kő (vf. Farcau, 1956 m) csúcsának környezetében helyezkedik el (1. ábra).

2.2. A tőzegláp elhelyezkedése a hegységen belül

A lankás oldalak rossz lefolyású részein tőzeglápok alakultak ki. Ezen lápok kiváló konzerváló helyeket szolgáltattak a bedőlt fák számára.

A mintaszerzésre alkalmas egykori tőzeglápot egy hátravágódó vízmosás csapolta le (1. kép), amelynek eredményeképpen a víztartalmától megfosztott láp beroskadt, valamint a torrens mélyrevágódó völgyében feltárultak a tőzeglápban megőrződött famaradványok (2. kép).



1. ábra: A Visói-havasok északi részének térképe és az egykori tőzegláp elhelyezkedése (piros kör)

Az 1. ábrán látható piros kör jelöli a tőzegláp elhelyezkedését a hegységben. Egy nyugat-délnyugati kitettségű oldalon helyezkedik el a mindössze 70 * 50 méteres láp. A vizsgált területen a torrensek mély hátravágódási folyamatai valószínűleg az egykori erdőirtások következményei.



1. kép: A mintákat rejtő vízmosás által lecsapolt tőzegláp. (fotó: Nagy B. 2011)



*2. kép: A tőzeglápba dőlt fák kiásása a bevágódó vízmosás által feltárult profilból
(fotó: Nagy B. 2011)*

2.3. A régió vegetáció-történeti kutatásai

A terület mai képét meghatározó fafaj összetétel jelentős részben az elmúlt évszázadok erdőirtásainak az eredménye. A bükk, gyertyán, luc-, erdei-, és jegenyefenyő állományok leirtása a Kárpátok romániai részén szinte mindenhol megfigyelhető.

A minták előkerüléséből egyértelmű, hogy a kutatási területen az erdőhatár valamikor a mainál jóval magasabban húzódott. A lankásabb gerinceken 1700-1800 méterig is felkúszhatott az erdő, azonban a legeltetés, illetve a hegyi pásztorkodás miatt leirtották a faállományokat. A XIX. század második felében végzett II. katonai felmérés idején az erdőhatár nagyjából 1500 méteren húzódott a kutatási területen, és ez ma sincsen másképp (2. ábra). Az aktív állattartás és legeltetés miatt az elmúlt 150 évben az erdő képtelen volt visszahódítani a magasabb régiókat.



2. ábra: Erdőhatár a Visói-havasok északi részén a II. katonai felmérés térképén és egy GoogleEarth felvételen

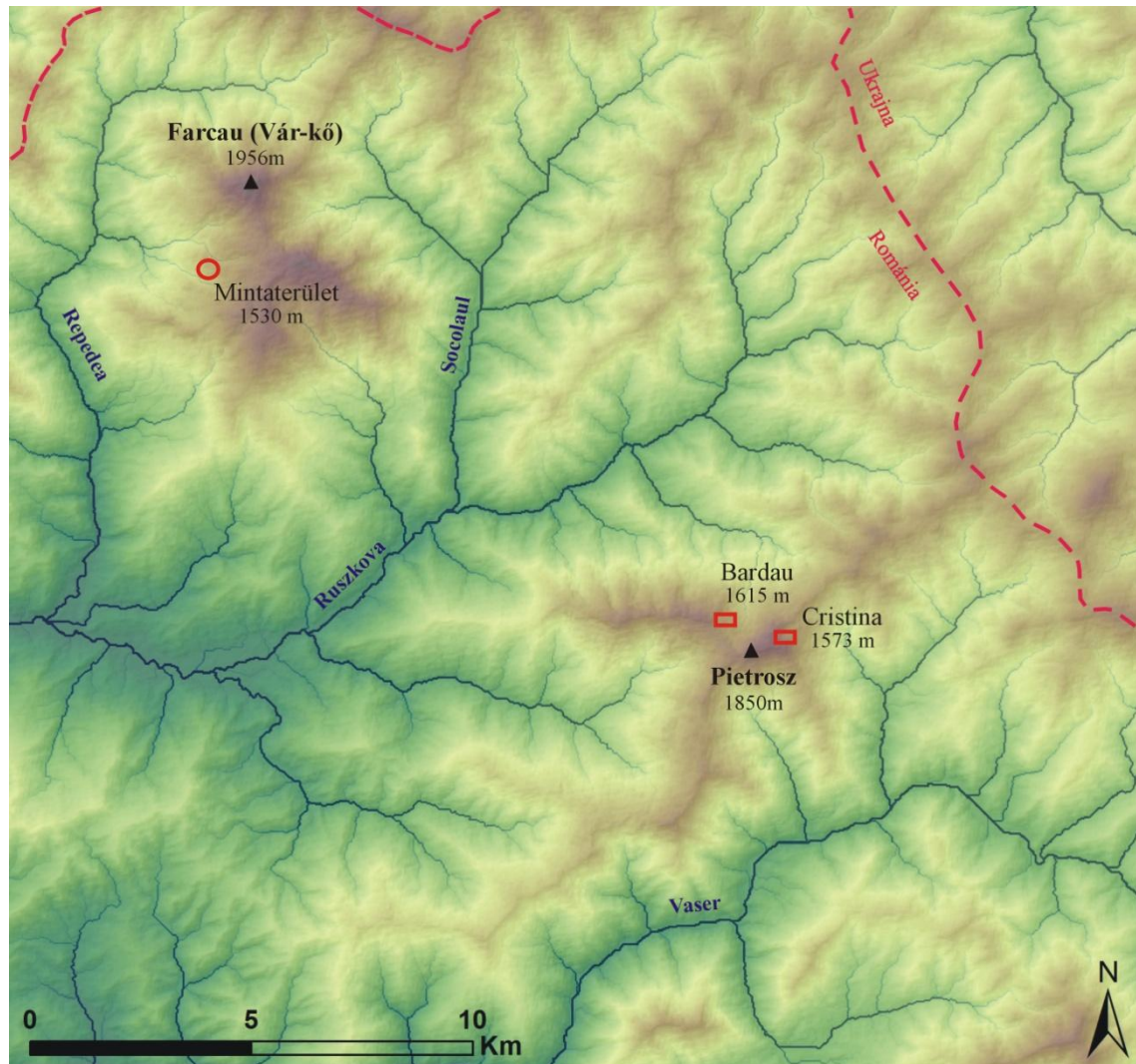
A Visói-havasok térségével számos – főleg román – tanulmány foglalkozott. Nagyrészt pollen alapú vegetáció történeti elemzések jelentek meg. (FARCAS ET AL. 2009, 2012, TANTAU ET AL. 2011) A romániai kutatásokat a Máramarosi-havasok romániai részének – általunk Visói-havasoknak vagy Visómenti hegycsoportnak

nevezett – középső térségében végezték (3. ábra). Legjobb forrásnak itt is a tőzezlápok bizonyultak, amelyekből furatmintákat vettek. Két tőzezlápból vettek mintákat, amelyek közül a *Bardau* lápba 380 cm-ig a *Cristina*-ba pedig 300 cm-ig mélyítették a furatot (FARCAS 2009). A litosztratigráfiai értékelés előtt elvégezték a tőzezláp elektromos vezetőképességének a mérését, megállapították a pH-t és az oldott oxigén mértékét is. A sztratigráfia során 14 osztályt különítettek el és az egyes osztályokból vett mintákon végezték el a növényi mikrofossziliák elemzését. Mindkét furat esetében az üledék felhalmozódás a *holocén* időszak *atlanti* periódusában kezdődött. A virágporaszemek elemzésével képet kaphatunk a régió vegetációtörténetéről és ezzel együtt az emberi jelenlét mértékéről is (FARCAS ET AL. 2012).

A tanulmányok elemezték az egyes fafajok pollen eloszlását az egyes sztratigráfiai osztályokban és ez alapján számos pollen zónát különítettek el. Egy-egy zónában az uralkodó pollen mennyiségből következtettek a vegetáció összetételére és így következtetéseket vontak le az időszak éghajlatát illetően, valamint az emberi beavatkozás mértékéről is. A módszer segítségével rekonstruálni lehetett a terület lakosságszámát. Több pollenzónában kimutathatóvá váltak a *Cerealia*, valamint a *Cannabis* növényfajok pollenjei, amelyek szignifikáns antropogén indikátorok (FARCAS ET AL. 2012). Az állományt alkotó fafajok – mint éghajlat ingadozást vagy emberi jelenlétet tükröző élőlények – közül a bükk (*Fagus*), gyertyán (*Carpinus*), mogyoró (*Corylus*), éger (*Alnus*), dió (*Juglans*), szil (*Ulmus*), törpefenyő (*Pinus mugo*), jegenyefenyő (*Abies alba*) és lucfenyő (*Picea abies*) pollenjeit találták meg nagy mértékben a mintákban, és a fent említett fafajok pollenjeinek arányaiból különítettek el pollenzónákat.

A Vár-kő alatti feltöltődött tőzezláp további kutatásokra javasolt terület, hiszen a romániai Máramarosi-havasok legmagasabb régiójában – az eddigi délebbre fekvő keleti és északkeleti kitettségű völgyekben fekvő tőzezlápokkal ellentétben – itt északnyugat-nyugati kitettségű völgyben fekszik a tőzezláp, mintegy 10 kilométerrel északabbra az eddigi mintaterületektől. A hátravagódás miatt feltárult szelvény lehetőséget kínál a tőzegösszlet furás nélküli részletes mintavételezésére, illetve az esetleges sztratigráfiai rendellenességek feltárására. A fent említett romániai 2009-es és 2012-es tanulmányok mintaterületeivel ellentétben a kutatási mintaterületen nincs

lehetőség több méteres furatok mintavételére, mert az üledék vastagsága maximálisan másfél méteres. Azonban a rétegekből vett minták pollenanalízisével lehetőség kínálkozna a terület további vegetációtörténeti rekonstrukciójára.



3. ábra: Mintaterületek a Visói-havasokban. A két tőzegláp a Pietrosz csúcs közelében, ahonnan a furatok származnak és a famaradványok származási területe a Vár-kő csúcs térségében

3. Vizsgálati módszerek

3.1. A faminták vizsgálata

3.1.1. A minták előkészítése

Az egykori tőzeglápból 2010-ben három majd 2011-ben – egy terepgyakorlat keretein belül – kilenc darab minta került ki. Valószínűsíthető, hogy a minták nagy része – vagy teljes egésze – lucfenyő (*Picea abies*), mint a kárpáti tűlevelű övezet fő erdőalkotó fafaja.

A holtfákból fűrészelt 8-10 cm vastag korongokat szalagcsiszolóval és fokozatosan finomodó csiszolópapírral munkáltam meg (80-astól 1000-es finomságig). A kisebb méretű minták utolsó pár tíz évgűrűjének a csiszolását kézzel végeztem el, így fénymikroszkóp alatt tanulmányozhatóvá váltak. A mintákban számlált évgűrűszámokat az 1. táblázat tartalmazza. Az évgűrűket igyekeztem a két legnagyobb sugár mentén mérni (4. ábra). A szakirodalom említi, hogy a lucfenyő élettartama akár elérheti az 576 évet (SCHWEINGRUBER ÉS WIRTH 2009), de a minták között a legidősebb is „mindössze” 158 évgűrűt tartalmaz.



4. ábra: A két mérési sugár a MAR010-es mintán

Mintanév	Mérési sugarak	Évgyűrű darabszám
MAR001	1. sugár:	148
	2. sugár:	153
MAR002	1. sugár:	39
	2. sugár:	-
MAR003	1. sugár:	128
	2. sugár:	-
MAR004	1. sugár:	122
	2. sugár:	120
MAR005	1. sugár:	76
	2. sugár:	-
MAR006	1. sugár:	108
	2. sugár:	115
MAR007	1. sugár:	52
	2. sugár:	45
MAR008	1. sugár:	81
	2. sugár:	83
MAR009	1. sugár:	86
	2. sugár:	101
MAR010	1. sugár:	157
	2. sugár:	158
MAR011	1. sugár:	58
	2. sugár:	56
MAR012	1. sugár:	38
	2. sugár:	46

1. táblázat: A minták évgyűrű számai

3.1.2. A minták radiokarbon kormeghatározása

A 2010-es mintavételezésből származó három famaradványból kettőt (jelzésük: *MAR001* és *MAR003*) választottunk ki radiokarbon vizsgálatra. Az elemzések az MTA Atomki, Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratórium AMS laborjában történtek. A

mintákat az OxCal 4.1 (BRONK – RAMSEY 2009) program segítségével az intcal09 (REIMER ET AL. 2009) adatbázison kalibráltam naptári évekre (10. ábra).

3.1.3. A minták sejtrács elemzése

Az általam legfinomabb (1000-es) csiszolópapírral történő felületi előkészítés után a minták alkalmassá váltak sejtrács elemzésre, amelyet a fellelhető szakirodalom (SCHWEINGRUBER 1990, 1996, 2001, 2006, 2007, BUTTERFIELD ET AL. 1997) ismeretével és binokuláris mikroszkóp segítségével végeztem el.

3.1.4. Évgyűrűszélesség-mérés

A minták évgyűrű szélességét 0,01 mm pontossággal *Lintab* mérőasztalon mértem, és *TSAPWin 4.68* szoftver környezetben dolgoztam fel. Az évgyűrűszélesség-mérésnél figyelembe kellett venni a mérési sugarakat (5. ábra), amelyek általában a minták legnagyobb sugárhosszú részei. Számos mintánál probléma volt az egy egyenes sugár menti mérés a repedések miatt, így az évgyűrűsorozatokat igyekeztem a sík, repedésmentes részekben lemérni. Például a MAR008-as mintánál fontos volt, hogy a törzs megdőlése miatti nyomottfára jellemző megvastagodott évgyűrűket ki kellett hagyni a szélességméréseknél, hiszen az adott években nem ezek reprezentálják a környezeti tényezők hatására létrejövő átlagos évgyűrű vastagságokat.

A legtöbb mintában két sugár mentén mértem le az évgyűrűszélességeket (mintákon *A* és *B* betű jelöli a sugarakat, pl.: 10. ábra). Ezek után a szoftver segítségével átlagoltam a szélességeket.

3.1.5. Keresztdatálás, átlapolás (*crossdate, overlapping*)

A keresztdatálásokat szintén *TSAPWin 4.68* szoftver környezetben végeztem el. A program az évgyűrűszélességekből származtatott görbéket hasonlítja össze és számos statisztikai mérőszámmal is jelzi a köztük lévő esetleges hasonlóságot.

A minták átlagos évgűrűszélességeit viszonyítottam egymáshoz a program segítségével. Referencia mintáknak a radiokarbon kormeghatározáson átesett két mintát választottam (MAR001 és MAR003), hiszen ezeknek a famaradványoknak megközelítőleg már ismert a koruk. A radiokarbon kormeghatározásból egyértelműen kiderül (2. táblázat), hogy a referenciamintákat összehasonlítani nincs értelme, mivel a köztük lévő különbség több száz évvel meghaladja a minták életkorát, így esély sincs a köztük lévő kronológiai hézag feltöltésére. A további 10 mintának az évgűrűszélességeit hasonlítottam először a referenciamintákhoz, majd egymáshoz is. A görbék összevetésénél kiemelt figyelmet kell fordítani az úgy nevezett öregedési trendre (*age trend*). A fák fiatalabb korukban gyorsan nőnek és széles évgűrűket növesztenek valamint kevésbé érzékenyek az időjárási eseményekre azonban, ahogy idősebbé válnak, az évgűrűszélesség keskenyebbé válik. Ez a trend eltérő mértékben, de minden fafajnál megfigyelhető.

A TSAPWin szoftver alapbeállításai mellett megadtam, hogy csak a minimum 30 évgűrűből álló sorozatok egyezését vegye figyelembe a program. A *crossdate* funkció lefuttatása után a program a statisztikai jellemzőket adja meg majd grafikusán is megjeleníti a görbék összevetését. A számos statisztikai mérőszám közül csak az öt legfontosabbnak ítélt eredményét vettem figyelembe. Első az átlapolásra került évgűrűk száma (*OVL – overlapping*), amelynél nem csak az évgűrű darabszám a fontos tényező, hanem a pozíció is, hogy melyik a kezdő és az utolsó évgűrű ahol egyeznek a minták. Következő a Gleichlaufigkeit (*GLK%*) amely azt mutatja meg, hogy egy vizsgált átfedési helyzetben a keskeny-széles / széles-keskeny váltások hány százalékban egyeznek (ECKSTEIN ÉS BAUCH 1969). A harmadik figyelembe vett mérőszám a korrelációs együttható (*%CC*). Továbbá a Student-féle T érték (*TV*) de itt meg kell említeni, hogy a hasonló *öregedési trend* jelentősen torzíthatja ezt a statisztikát, ezért ötödikként a Baillie és Pilcher (1973) által módosított T értéket (*TVBP*) is figyelembe vettem, amely mérőszám az évgűrűszélesség változások hasonlóságát az *öregedési trend* kiszűrése után értékeli. Utolsó figyelembe vett statisztikai paraméter a Cross-dating Index (*CDI*). A TSAPWin szoftver által generált index, mely több statisztikai paramétert egyesítve alkot meg egy index értéket.

4. Eredmények, következtetések

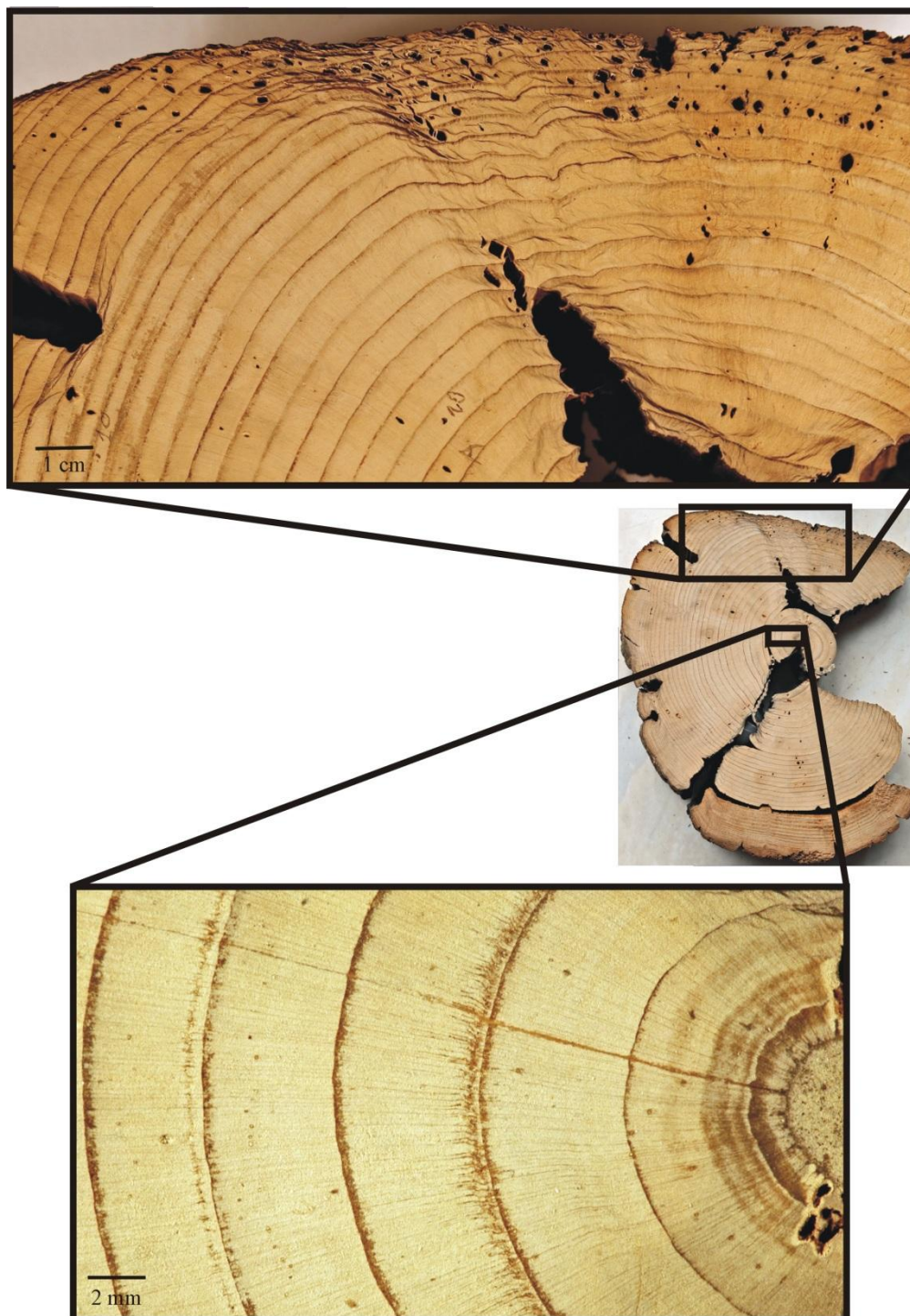
4.1. A famaradványok elemzése

A faminták csiszolása után az évgyűrű darabszámok lemérése történt a legnagyobb sugarak mentén (*ld. 3.1.1. fejezet*).

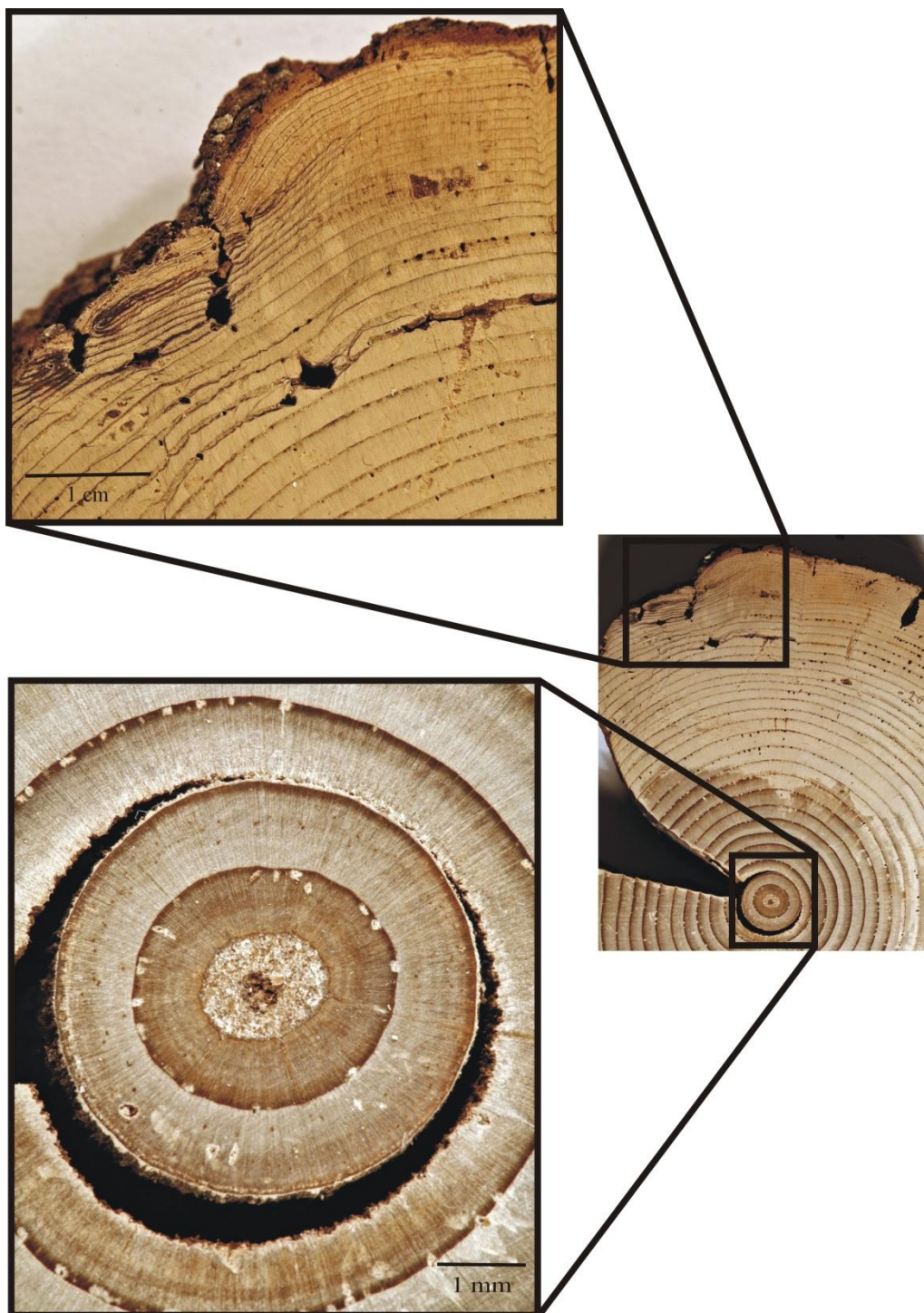
4.1.1. A sejtrács elemzés eredményei

A sejtek rácsot alkotó szerkezete alapján az összes mintát lucfenyőnek azonosítottam (*Picea abies*). Az évgyűrűben található gyantajáratok megléte egyértelműen lucfenyőre utal, mivel a jegenyefenyő sejtrácsában nem találhatóak ilyen járatok, illetve nagyon ritkán kizárólag erős trauma hatására alakulhatnak ki benne (SCHWEINGRUBER 1990). Mivel mind a tizenkét minta azonos fafajhoz tartozik, nagyobb az esély a keresztadatálásra, valamint azt is jelzi, hogy a tűzezláp közvetlen környezetében kisebb arányban fordult elő jegenyefenyő (*Abies alba*). Ez a faj most teljesen hiányzik a kutatási helyszín közeléből, sőt az egész Kárpátokban visszaszorult az állománya a történeti időkben (MAGYARI ET AL. 2012), de az általunk vizsgált magassági zóna éghajlati szempontból alkalmas lenne a megtelepedésére. A jegenyefenyő érzékeny az emberi jelenlésre, így valószínűsíthető, hogy a területen több ezer éve tartó – a pollendiagramokon markánsan megjelenő – nagy erdőirtások következménye, hogy a mintaterületről gyűjtött famaradványok között egy jegenyefenyő sem található.

A fafaj meghatározása mellett fontos feladat volt a sejtrács esetleges elváltozásait, zavarait, valamint egyéb anatómiai jegyeit azonosítani és értelmezni. Így következtetni lehet az egykori időjárási események intenzitásaira és változásaira. Elkülönítettem a fa életében bekövetkezett sejtrács elváltozásokat, a kidőlés utáni holtfában végbemenő szerkezeti zavaroktól. Holtfában keletkező elváltozásra jó példa a MAR007-es és a MAR012-es mintában felismert nyomás hatására kialakult évgyűrű zavarok (5. *ábra*, 6. *ábra*).



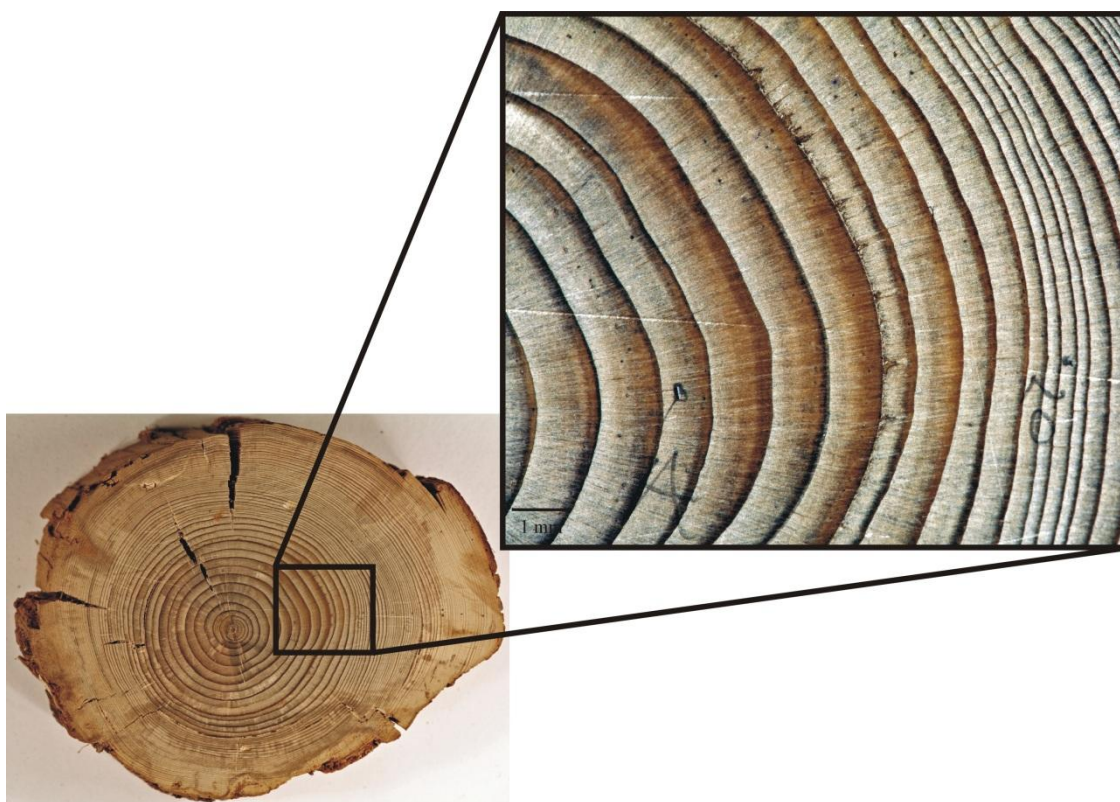
5. ábra: MAR007-es mintán az évgűrűk deformálása figyelhető meg valamint két fagyévgűrű is azonosítható a 3. és az 5. évgűrűben. Az utólagos deformációk nehezítik az évgűrűk azonosítását melyek morfológiailag hasonlóságok mutatnak Schweingruber et al. (2006) és Schweingruber (2007) által leírt terheléses nyomás hatására kialakuló elváltozásokhoz. A részben kioldódott cellulóz miatt a száradás során a sejtek összeroskadhatnak és ezzel egy időben a rátelepült üledék nyomása is szerepet játszhat az évgűrűk deformálásában.



6. ábra: MAR012-es mintán az évgyűrűkön belüli korai pásztát alkotó sejtek összeomlása okozta deformáción kívül kiemelendő a kéreg megléte. Az egyetlen „teljes” minta a 12 közül, amely tartalmazza a legelső évgyűrűt és a legkülső réteget is. A második évgyűrűben fagsérülés található (frostring), amely gyengíti a sejtrács szerkezetet, így a kiszáradás folyamán ezen gyűrű mentén repedt szét a minta.

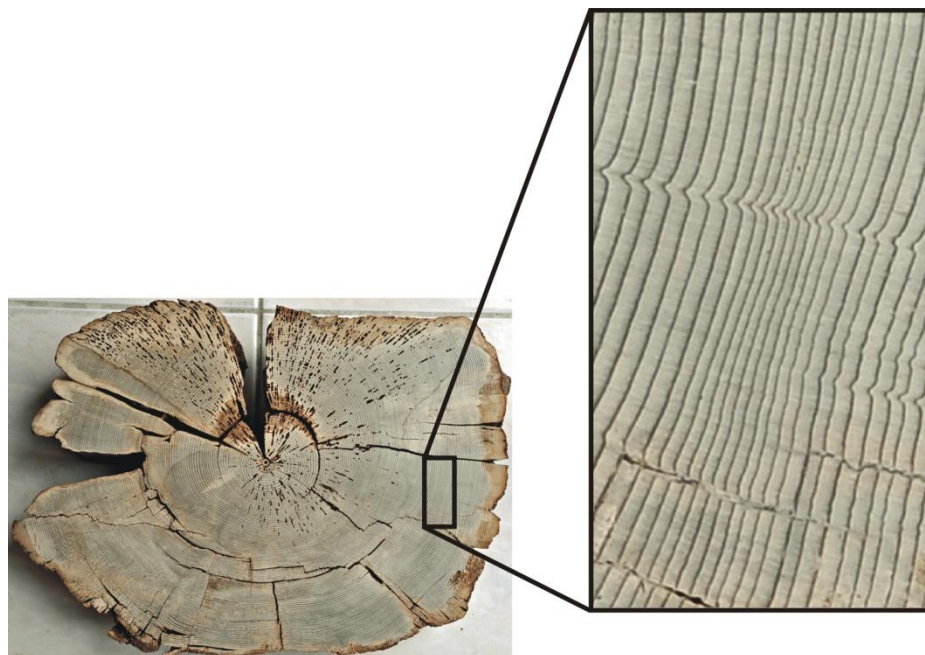
Deformációs évgyűrű zavarokon kívül számos száradási folyamathoz köthető szerkezeti szétesések ismerhetők fel a minták zömén.

Természetesen sokkal fontosabbak a fa életében bekövetkezett időjárási események és környezeti hatások okozta anatómiai jegyek azonosítása. Érdekes kérdés lehet a holocén extrém időjárási eseményekre utaló szélvihar, fagy vagy jégeső nyomai, illetve traumái a faévgűrűk sejtszerkezetében (KERN ÉS POPA 2008). Reakciófaként a MAR008-as mintát azonosítottam (7. ábra). Az évgyűrűk elszíneződése és megnyúltsága jelzi, hogy a fa növekedése során valamilyen irányba megdőlt, majd igyekezett visszaállni függőleges irányba. Fenyőféléknél a megdőlt törzs alulról vastagszik, ez a megváltozott feszültségeloszlást hivatott ellensúlyozni (KÁZMÉR 2003). Kialakulhat lejtőmozgás (*creep*; *részegerdő*) hatására bekövetkezett törzs megdőlés kompenzálása miatt, de elképzelhető, hogy árnyalásból való kiszabadulási törekvés miatt keletkezhet. Az elszíneződés kezdetével és eltűnésével datálhatóak például a lejtőmozgások időszaka, illetve egy esemény lefolyása rekonstruálható.

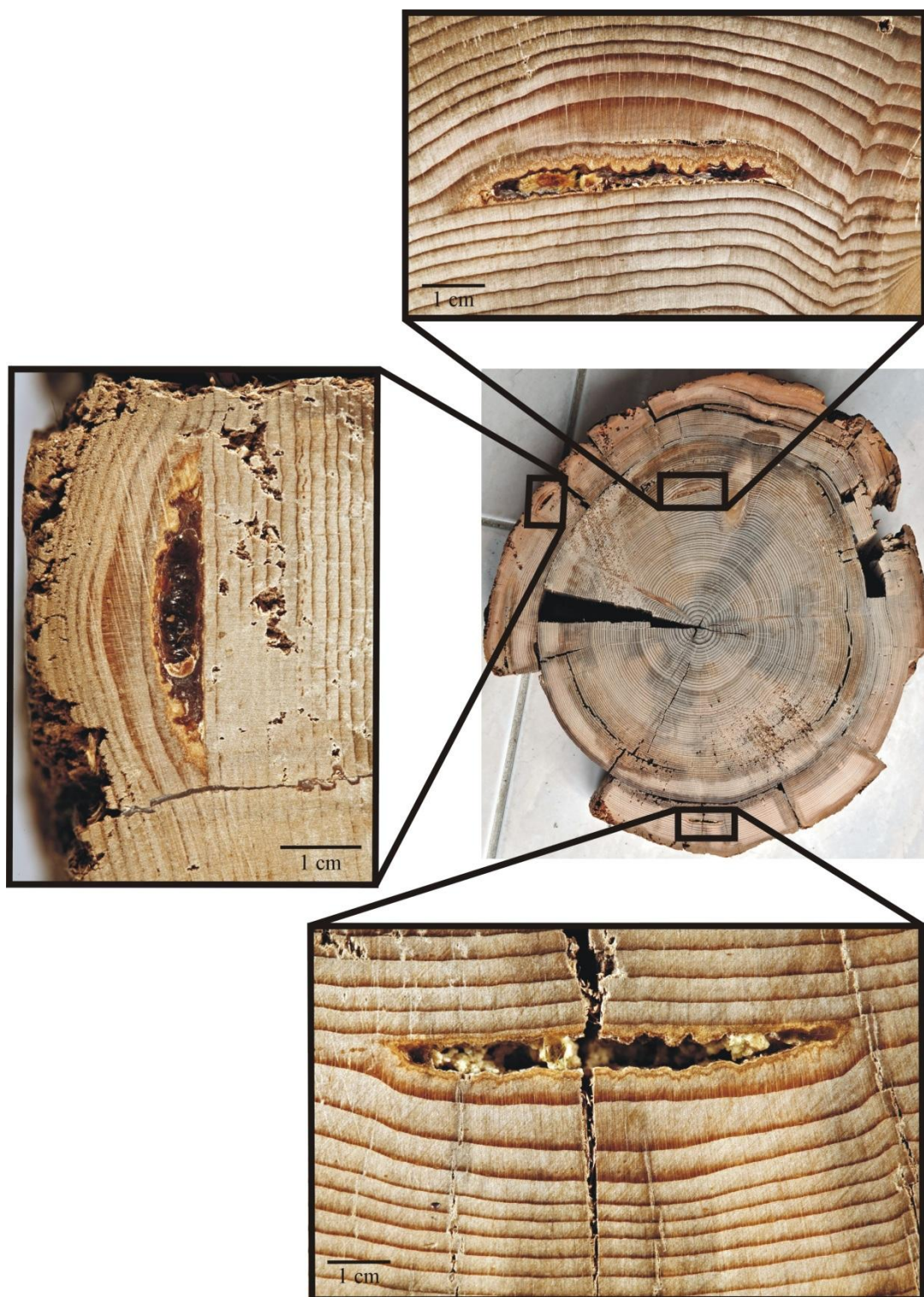


7. ábra: MAR008-as mintában a 13. évgyűrűben található fagysérülés valamint a 9. és 15. évgyűrűk között található reakciófára utaló elszíneződés.

Keskeny évgűrűsorozatok jelezhetnek hűvösebb periódusokat (8. ábra). Biztos indikátora a tavaszi fagyoknak a fagsérülékes évgűrűk (*frostring*) (5., 6. és 7. ábra). Összesen öt fagyévgűrűt sikerült azonosítanom négy mintában, amelyek markánsan őrzik a több mint ezer évvel ezelőtti fagyok nyomát. Nem csak a fagyok datálásra alkalmasak a fagyévgűrűk, hanem a későbbi keresztadatálásnál is segítségemre voltak, hogy megerősítsenek egy-egy átlapolást (*ld.: 4.1.2. fejezet*). Kivétel nélkül a mintákban fellelhető fagsérülések a korai pászta első pár sejtje után találhatók (5., 6. és 7. ábra). Ezek a sejtszerkezetet érintő sérülések a vegetációs – és növekedési – időszak kezdetében bekövetkezett kora tavaszi erős fagyokról tanúskodnak, ellentétben a XIX. században feljegyzett késő tavaszi-kora nyári fagyokkal (KERN ÉS POPA 2008). Ha a fagsérülékes évgűrűket tartalmazó mintákat sikerül beilleszteni egy meglévő abszolút kronológiába, akkor pontos rekonstrukció adható egyes évek szélsőséges időjárás gyakoriságáról, visszatérési idejéről. A MAR004-es minta több gyantazsebet (*resin pockets*) is tartalmaz, amelyek meglétét több szakirodalom is egykori heves szélviharok okozta sérüléseként értelmezi (9. ábra) (BUTTERFIELD ET AL. 1997, SCHWEINGRUBER 1996). A sérült részekben kialakuló gyantazseb utáni 2-3 évgűrű reakciófák anatómiai jegyeit viseli. Okozója a fatest azon részére ható erős egy irányú szelek, esetleges széldöntés általi deformáció.



8. ábra: MAR010-es mintán található keskeny évgűrűsorozat.



9. ábra: MAR004-es mintában három gyantazsebet is azonosítani lehetett, láthatóak a sérülés utáni 2-3 évgyűrűk elszíneződése, amely nagy hasonlóságot mutat a nyomottfa anatómiai jegyeivel.

4.1.2. A radiokarbon vizsgálat és a keresztadatálás eredményei

A C^{14} kormeghatározási vizsgálat eredményét az 2. táblázat foglalja össze. A 3.1.2. fejezetben leírtak szerint kalibrált radiokarbon korok tanúsága szerint a két fa kidőlése között közel 600 év telt el (10. ábra). Figyelembe véve évgyűrűszámaikat (1. táblázat) szinkronizálásuk eredménytelenségét ez ésszerűen magyarázza.

Mindkét referenciamintához egy-egy másik mintát sikerült hozzáilleszteni. A MAR003-hoz a MAR004-et, a MAR001-hez a MAR006-at (11. ábra). Ezután a referenciamintákat már ez a két pár alkotta és ezekhez néztem hozzá a meglévő 8 mintát. A MAR003-004-es referenciához illeszkedett a MAR009-es is (12. ábra), azonban a másik referenciamintához statisztikailag megbízhatóan több minta nem illeszkedett. A statisztikai elemzés után grafikus megjelenítésben is összeilleszttem a minták görbéit. A görbéken markánsan kirajzolódnak az úgy nevezett *pointer évek*, amelyek az átlagtól kiugranak és negatív vagy pozitív csúcsot eredményeznek valamennyi összeillesztett minta görbéjében (11. és 12. ábra). Ezekben az években valamilyen környezeti vagy klimatikus hatás miatt az egy fafajhoz tartozó, egy helyen és egy időszakban élő fák ugyanúgy reagáltak.

A még nem besorolt 7 mintát egymáshoz igyekeztem keresztadatálni, mérsékelt sikerrel. Hét mintából hat darab illeszkedett valamelyik másikhoz, így három párt kaptam. A MAR005-ös fakorong darab egyik mintához sem illeszkedett és egyik párhoz sem sikerült hozzáilleszteni a későbbiekben. Azonban a MAR002-es mintát a MAR010-el sikerült összeilleszteni, a MAR008-as pedig a MAR011-es mintához illeszkedett. A MAR008-MAR011-es pár mindkét tagjában található fagygyűrű azonban nem esett egybe az átlapolás során. Ez alapján kijelenthető, hogy nem azonos évben szenvedtek fagykárt. Az utolsó összeillesztett pár tagjait a MAR007 és MAR012-es minta adta. A meggyőző statisztikai paraméterek mellett mindkét mintában található fagygyűrű is megerősítette az átlapolást. A MAR007-esben található két fagysérüléssel évgyűrű közül a későbbi 5. gyűrűben, található fagykár megegyezik a MAR012-es famaradványban azonosított 2. gyűrűben találhatóval.

Valószínűvé vált, hogy a minták nem érhetik el a területről elérhető abszolút lúckronológiát, így igyekeztem egymáshoz, valamint a két elkészített

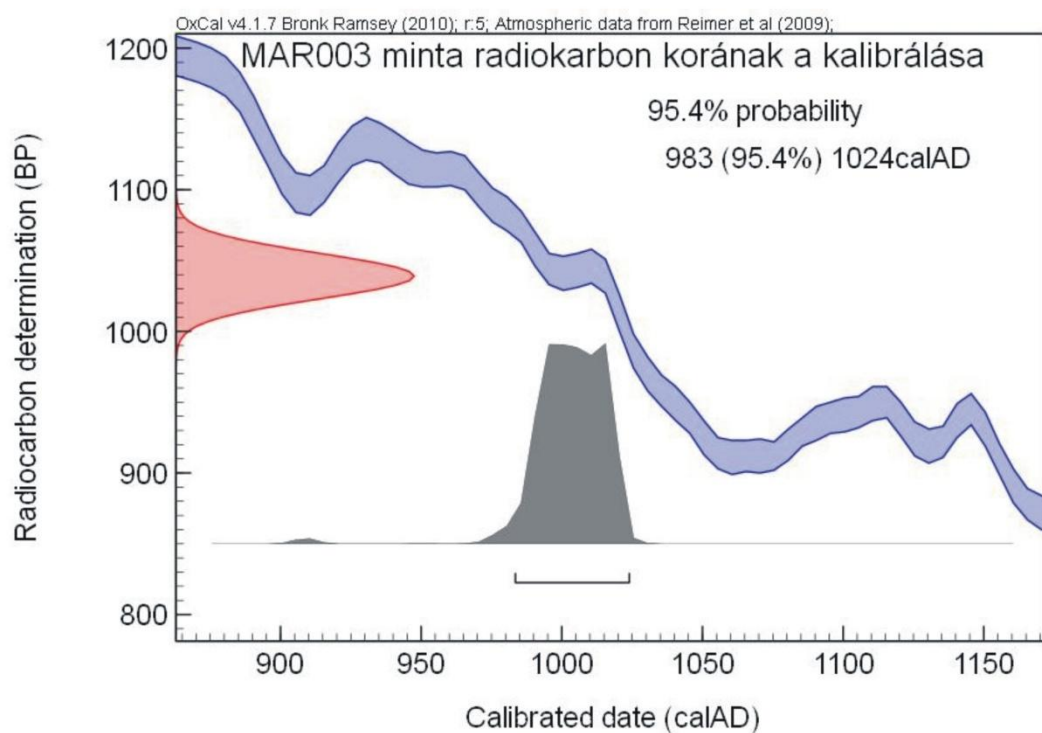
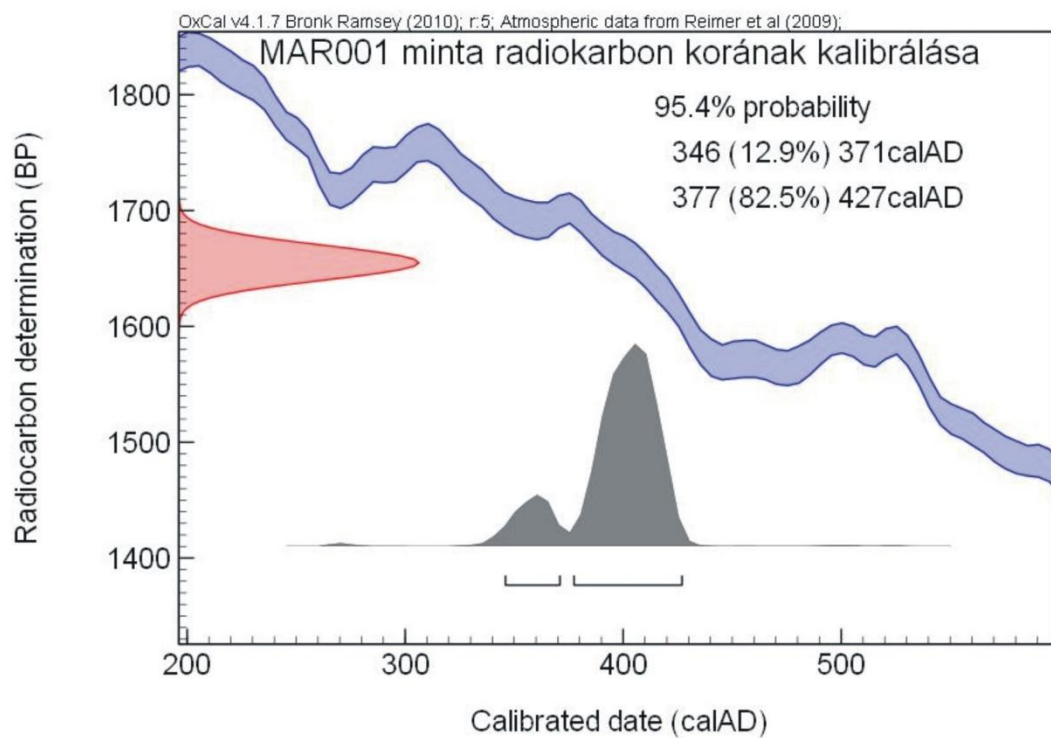
lebegőkronológiához keresztdatálni a párokat. A MAR002-MAR010-es pár nem illeszkedett erős statisztikával egyikhez sem, csak úgy, mint ahogyan a MAR007-MAR012-es sem. A MAR008-MAR011-es pár azonban az idősebb, MAR001-MAR006-os hasonlított, de nem voltak elég meggyőzőek a statisztikai paraméterek, illetve a grafikus megjelenítés elemzésénél sem esett egybe elegendő számú pointer év.

A tizenkét minta közül tizenegy famaradványon volt lehetséges átlapolást végezni. A radiokarbon korokkal rendelkező 2 mintához összesen három famaradványt sikerült társítani. A meglévő hét mintából 3 párat lehetett alkotni, míg egy minta sehová sem illeszkedett (13. ábra).

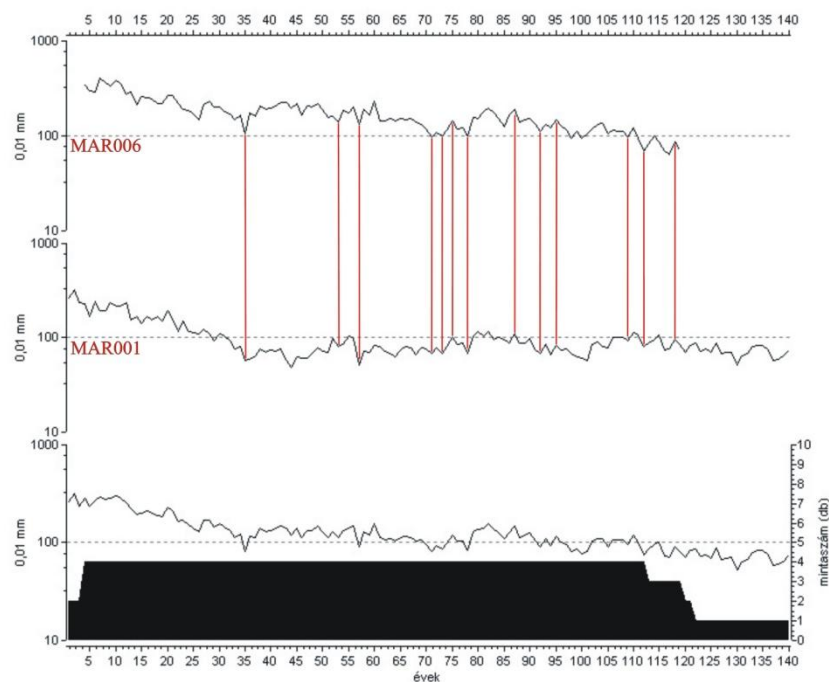
A létrehozott lebegő kronológiákat megkíséreltük keresztdatálni a közeli területekről elérhető lucfenyő referencia kronológiákkal (POPA 2003, TIMIS ÉS POPA 2010). Ezek a közeli referencia kronológiák nagyjából 1700-ig kínálnak lehetőséget a keltezésre. A máramarosi mintákhoz azonban nem sikerült elfogadható illeszkedést találni. Ennek oka lehet egyrészt az, hogy a közeli luckronológiák nem megfelelő referenciák a máramarosi területre, másrészt az, hogy a tőzegláp mintái, mint ahogy azt két esetben radiokarbon adatok is igazolják, idősebbek, így keltezésük nem lehetséges.

Máramarosi minták radiokarbon kormeghatározása (szén-14)					
Sample code	Sample info	pmC abs	+ - pmC	Age (BP)	+ - age
I/347/1	Mar001	81,38	0,15	1655	15
I/347/2	Mar003	87,87	0,17	1039	16

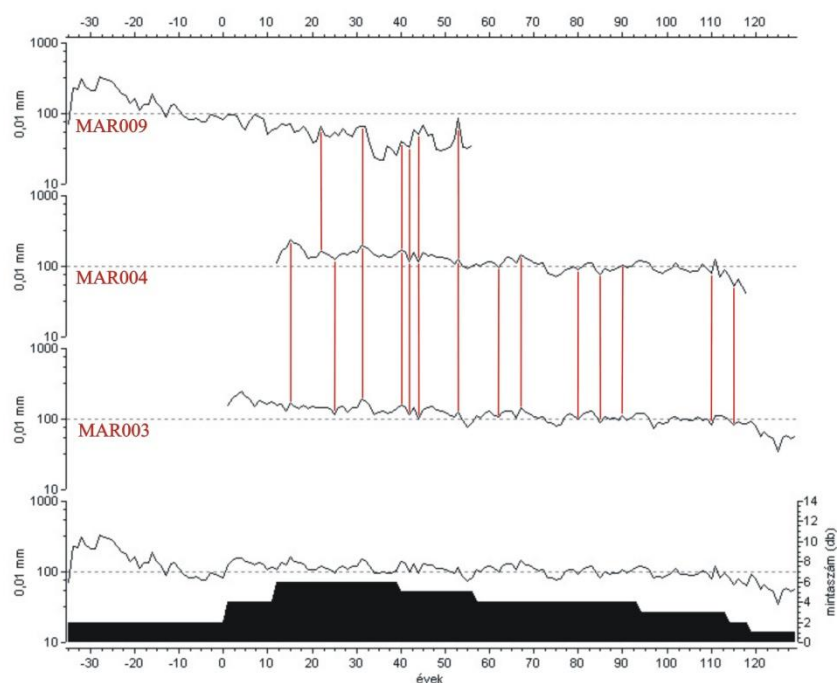
2. táblázat: A máramarosi minták radiokarbon kormeghatározásának eredménye (BP)



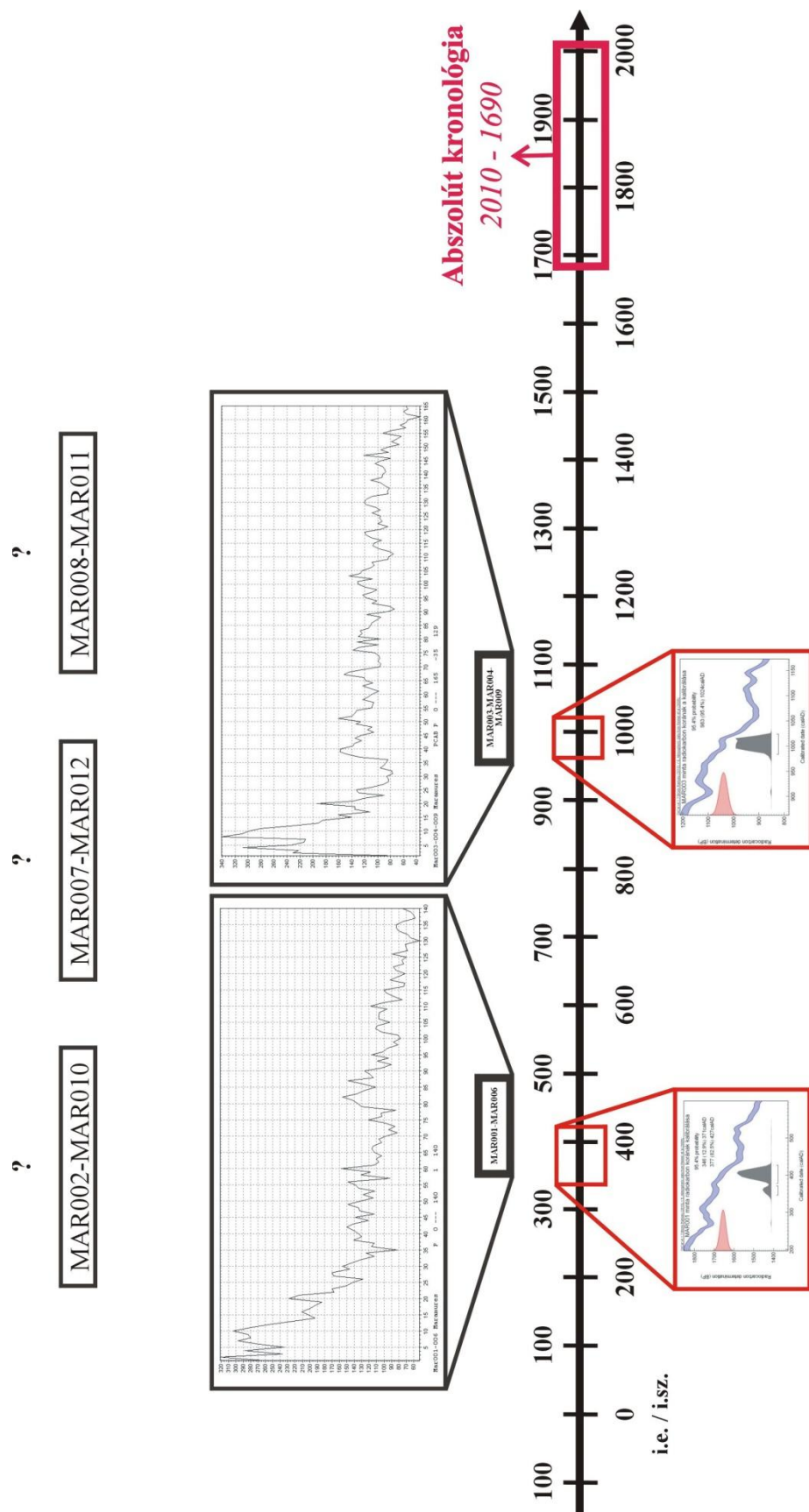
10. ábra: A MAR001 és a MAR003 jelzésű minta radiokarbon korának kalibrálása



11. ábra: MAR001-es referenciamintához illesztett egy minta. A legalsó grafikon a két mintából előállított görbét valamint a minta darabszámot mutatja. Piros összekötő vonalak csupán szemléltető szerepet töltenek be egyes pointer évek kihangsúlyozásánál.



12. ábra: MAR003-as referenciamintához illesztett két minta. A legalsó grafikonon a három mintából előállított görbe, valamint a minta darabszáma látható. Mindhárom görbén a piros vonalak jelzik a megjelenő pointer évek kihangsúlyozásának a szemléltetését.



13. ábra: A minták kronológiai elhelyezkedése a radiokarbon kormeghatározás alapján. Piros keretben a kalibráló görbék láthatóak, fekete keretrel pedig az átlagolt minták átlagos évyűrészlésségei összefésítve. Legfelül kérdőjellel a még nem datált mintapárok láthatóak.

4.1.3. A minták beillesztése a terület vegetációtörténetébe

A fák kidőlése közötti 600 év egyértelműen utal arra, hogy a vizsgált minták nem egy kidőlési hullám által kerültek bele a tőzegládba, hanem legalább két hullám feltételezhető. Megemlítendő, hogy a minták előkerülése utáni első hipotézis a Mária Terézia korabeli nagy erdőirtásokhoz köthető a minták ládba kerülési ideje, azonban a radiokarbon kormeghatározással ez az elmélet megdőlt (PÁLYI ZOLTÁN SZÓBELI KÖZLÉSE 2010). Ezt az elméletet a minták radiokarbon aktivitásából számított koradatok egyértelműen cáfolják, hiszen ezek eredményei több száz évvel ezelőtre datálják a fák ládba dőlési idejét.

Természetesen nem zárható ki az emberi beavatkozás, illetve mesterséges kidöntés sem. Romániai kutatások – a *Bardau* lápból vett mintát elemezve – egyértelműen kimutatták az emberi jelenlétet már 7050-6000 kal. BP között, ami a holocén időszak atlanti fázisának feleltethető meg. A *Cristina* lápból vett furat pollenjei azonban még korábbi évekre mutatták ki az antropogén hatás kezdetét. Mintegy 8000 kal. BP időszakból származtak a *Cerealia* és *Cannabis* pollenek (FARCAS ET AL. 2012). Ez nem a közvetlen környezetben megtelepülő emberi lakosságnak jelzésére, hanem a régióban fekvő laposabb térszínek lakosságának a növekedésére utal.

A területről előkerülő bronzkori régészeti leletek is egybe vágnek a pollenanalízis eredményével, miszerint az emberi jelenlét a Máramarosi-havasok romániai területén a 3000 kal. BP időszakra tehető. Ezen időszakhoz tartozó pollenzónában lecsökkent a bükk, jegenyefenyő, valamint a gyertyán pollen aránya, és ezzel párhuzamosan az emberi tevékenység indikátoraként szolgáló számos lágyszárú növény pollenje jelent meg. Ilyenek többek között a gabonafélék, pázsitfűvek, útifűfélék, lenfélék és a csalánfélék. A szintén antropogén hatásokat jelző növényként nyilvántartott dió (*Juglans*) megjelenése a *Cristina* tőzegládban 2970 kal. BP következett be, míg a *Bardau* lápból valamivel későbbi időpont volt kimutatható (2490 kal. BP). Ezek a korok jóval korábbiak, mint a Kárpátok más területéről származó diópollen által kapott korok. A Keleti-Kárpátokban 1800 és 600 kal. BP közé teszik, a Déli-Kárpátokban pedig 850-950 kal. BP-re (FARCAS ET AL. 2012).

A 14. és 15. ábrán látható a két tőzegláp furatmintájának pollendiagramja. A felsődiagramokban megjelenő AP/NAP jelzésű vonal szemlélteti az adott időszakokban a fásszárú és a lágyszárú növények pollenjeinek arányváltozásait. Az alsódiagramban az egyes lágyszárú növények pollenjeinek az arányát láthatjuk. Az időskálába beillesztettem a kormeghatározott mintákat. MAR001-es minta korrelál az egyik nagy erdőirtással, a MAR003-as azonban egy vissza-erdősüléskor dőlt ki, így ennél inkább természetes folyamat valószínűsíthető és nem emberi hatás. Az antropogén hatás indikátora a 14. ábra alsó diagramján piros körrel jelölt csalán nemzetség nagy tömegben való elterjedése. A nagyszámú állatállomány miatti megnövekedett ürülék mennyiségből kioldódik a talajba és a tőzeglápba a nitrogén és feldúsul. A csalán nitrogénban gazdag élőhelyeket kedvel, így ezeken a területeken gyorsan terjed el (MAGYARI ENIKŐ SZÓBELI KÖZLÉSE 2012).

Figyelembe véve azt, hogy a diagramon megjelenő utolsó előtti nagy erdőirtás nagyjából a 600-as évek közepén történt, de a Pietrosz környéki területeken, nem pedig a Vár-kő térségében, így a MAR001-es minta kalibrált kora – azaz 346 – 427 kal. AD – beilleszthető ezen erdőirtási periódusba. Természetesen több minta datálására lenne szükség a pontos rekonstrukcióhoz.

5. További kutatások

Az elmúlt párszáz évben a vízmosságok beágódási folyamatának felerősödése miatt a területen a fentebb említett tőzeglápon kívül több hasonló helyzetben lévő is valószínűsíthető, így mindenképp érdemes későbbi kutatásokra, hogy növelni lehessen a famaradványok számát és ezzel pontosítani a készülő kronológiát. További minták nagy segítséget nyújthatnak akár a meglévő lebegőkronológiák egymással vagy akár az abszolút kronológiához való összefűzésében. A három darab faminta pár is beillesztésre kerülhetne további famaradványok segítségével.

A mintaterületen fekvő tőzegláp alkalmas furat mintavételre és így pollenanalízisre is, amely által a Visói-havasok több eltérő domborzatú és adottságú térségéből lehetne vegetáció történeti rekonstrukciót végezni.

6. Összefoglalás

Dolgozatom célkitűzése a Kárpátokon belüli második szubfosszilis lelőhelyről előkerült tizenkét famaradvány dendrokronológiai vizsgálata volt. Két radiokarbon kormeghatározással datált mintához faévgűrű-szélességméréssel és keresztdataálással hozzáillesztettem három famintát. A további hét minta alkalmas volt három további pár alkotására, míg egy famaradvány nem illeszkedett egyik mintához sem. A C^{14} kormeghatározással rendelkező lebegőkronológiák a meglévő referenciakronológiával nem fűzhetőek még egybe és egymáshoz sem csatlakoznak a több száz évnyi időbeli távolság miatt.

A faévgűrű-sorozatok változékonyságából – mivel kevés mintából származtatott kronológiák születtek – még nem rekonstruálhatóak pontosan az éghajlati elemek és az évgűrűsorozatok kapcsolatának az alakulása, de sikerekkel kezdődő, messzebbre mutató kutatás elindulása valósult meg.

A sejtrács elemzéssel megállapítást nyert a famaradványok fajszerű meghatározása, valamint számos extrémebb időjárási eseményre utaló nyomok azonosítása.

Kutatásom egy kezdeti lépés, hogy a későbbiekben még több mintával megtámogatott és megerősödött kronológia alapján klíma- és vegetáció történetet lehessen rekonstruálni a Kárpátok egy újabb eddig ilyen formában még nem vizsgált területére.

7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni mindazoknak a segítséget, akiknek hála elkészülhetett ez a tudományos dolgozat. Elsősorban, *dr. Kern Zoltán* témavezetőmnek tartozom köszönettel, a dolgozathoz adott nagyfokú szakmai segítségéért, értékes tanácsaiért.

Ezenkívül szeretnék köszönetet mondani *dr. Nagy Balásznak* tanszéki témavezető tanáromnak, aki nagy figyelemmel kísérte végig munkámat és sok hasznos tanácsával segítette dolgozatom elkészítését.

Rengeteg információt és szakkönyvet kaptam *dr. Kázmér Miklóstól*, valamint ezúton is szeretném megköszönni, hogy rendelkezésemre bocsátotta a dendrokronológiai labor eszközeit.

Szeretném kifejezni hálámat *dr. Magyar Enikőnek* (MTM Növénytar, MTA-MTM Paleontológiai Kutatócsoport), aki a pollenanalízises cikkek helyes értelmezésében nyújtott nagy segítséget.

A radiokarbon-mérésekért *Molnár Mihálynak* (MTA-ATOMKI) tartozom köszönettel.

Végül, de nem utolsó sorban *Ionel Popa-nak* (Forest Research and Management Institute, Campulung Moldovenesc, Romania) szeretném megköszönni a környékbeli recens luc kronológiákkal tett összehasonlítási kísérletet.

8. Irodalomjegyzék

BAILLIE, M. G. L., PILCHER, J. R (1973): A simple cross-dating programme for tree-ring research, *Tree-Ring Bull.*, 33, pp. 7–14

BRONK RAMSEY, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1), pp. 337-360.

BUTTERFIELD, B. G., MEYLAN, B. A., PESZLEN I. M., (1997): A fatest háromdimenziós szerkezete, Sopron, Hillebrand nyomda, 148 p.

FARCAS, S., TANTAU, I., HURDU, B., MINDRESCU, M., FILIPAS, L. (2009): Phytohistorical aspects of the Natura 2000 site „Maramures Mountains”, *Contributii Botanice*, XLIV, Cluj-Napoca, pp. 131-140

FARCAS, S., TANTAU, I., MINDRESCU, M., HURDU, B., FILIPAS, L., URSU, T. (2009): Pollen analysis of the sequence from the peat bog Taul Mare – Bardau (Maramuresului Mountains), *Trans. Rev. of Syst. and Ecol. Res.*, Sibiu, 5, pp. 21-30

FARCAS, S., TANTAU, I., MINDRESCU, M., HURDU, B. (2012): Holocene vegetation history in the Maramures Mountains (Northern Romanian Carpathians), *Quaternary International*, doi:10.1016/j.quaint.2012.03.057

KÁZMÉR M. (2003): Lejtőmozgások datálása fák évgyűrűivel – In: *Földtani Kutatás* 40/3, Budapest, pp. 3-7

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., POPA, I. (2009): Assessing temperature signal in x-ray densitometric data of norway spruce and the earliest instrumental record from the Southern Carpathians – In: Journal of Environment Geogr. No. 3-4., pp. 15-22

KERN Z. (2010): Éghajlati és környezeti változások rekonstrukciója faévggyűrűk és barlangi jég vizsgálata alapján, Doktori értekezés

MAGYARI, E. K., JAKAB, G., BÁLINT, M., KERN, Z., BUCZKÓ, K., BRAUN, M. (2012): Rapid vegetation response to lateglacial and early Holocene climatic fluctuation in the South Carpathian Mountains (Romania). Quaternary Science Reviews 35: 116–130, doi:10.1016/j.quascirev.2012.01.006

NICOLUSSI, K., KAUFMANN, M., PATZELT, G., VAN DER PLICHT, J., THURNER, A. (2005): Holocene tree-line variability in the Kauner Valley, Central Eastern Alps, indicated by dendrochronological analysis of living trees and subfossil logs – In: Veget Hist Archaeobot, 2005/14, pp. 221-234

NICOLUSSI, K., KAUFMANN, M., MELVIN, T. M., VAN DER PLICHT, J., SCHIEBLING, P., THURNER, A. (2009): A 9111 year long conifer tree-ring chronology for the European Alps: a base for environmental and climatic investigations – In: The Holocene, 2009/19, pp. 909-921

POPA, I. (2003): Analiza comparativa a raspunsului dendroclimatologic al molidului (*Picea abies* (L.) Karst.) si bradului (*Abies alba* Mill.) din nordul Carpatilor Orientali , Bucovina Forestiera, nr. 2, pp. 3-14

REIMER PJ, BAILLIE MGL, BARD E, BAYLISS A, BECK JW, BLACKWELL PG, BRONK RAMSEY C, BUCK CE, BURR GS, EDWARDS RL, FRIEDRICH M, GROOTES PM, GUILDERTSON TP, HAJDAS I, HEATON TJ, HOGG AG, HUGHEN KA, KAISER KF, KROMER B, MCCORMAC FG, MANNING SW, REIMER RW, RICHARDS DA, SOUTHERN JR, TALAMO

S, TURNEY CSM, VAN DER PLICHT J, WEYHENMEYER CE. (2009): IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. Radiocarbon 51(4):1111–50.

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.

STOKES, M. A., SMILEY, T. L. (1996): An Introduction to Tree-Ring Dating, The University of Arizona Press, Tucson, 73 p.

TANTAU, I., FEURDEAN, A., DE BEAULIEU, J.-L., REILLE, M., FARCAS, S. (2011): Holocene vegetation history in the upper forest belt of the Eastern Romanian Carpathians – In: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 309, pp. 281-190

TIMIS, V., POPA, I. (2010): Spatial Variability of dendrochronological series from Rodna Mountains (Eastern Carpathians – Romania), Academia Romana, Series B, Vol. 12., pp. 167-170

Diplomatematika (2012/2013 2. félév)

1. Bevezetés

1.1. A dolgozat célkitűzései

1.2. Dendrokronológia

1.2.1. A tudományág rövid története

1.2.2. A dendrokronológia alkalmazása és korlátai

2. A minták származási területe, a Visói-, és Radnai-havasok

2.1. A kutatási területek földrajzi elhelyezkedése

2.2. A tűzeglápok és mitavételi helyek elhelyezkedése a hegységeken belül

2.3. A régió vegetáció-történeti kutatásai

3. Vizsgálati módszerek

3.1. A faminták vizsgálata

3.1.1. A minták előkészítése

3.1.2. A minták radiokarbon kormeghatározásai és kalibrálásai

3.1.3. A minták sajtrács elemzése

3.1.4. Évgűrűszélesség-mérés

3.1.5. Keresztdatálás, átlapolás (crossdate, overlapping)

4. Eredmények, következtetések

4.1. A famaradványok elemzése

4.1.1. A sejtrács elemzése eredményei

4.1.2. A radiokarbon vizsgálat és a keresztdatálás eredményei

4.1.3. A minták beillesztése a terület vegetáció-történetébe

4.2. A minták származásából fakadó különbségek

4.3. Az abszolút kronológia megerősítése

5. További kutatások

6. Összefoglalás

7. Köszönetnyilvánítás

8. Irodalomjegyzék