

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
FÖLDRAJZ- ÉS FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET Földrajztudományi Központ-
Természetföldrajzi tanszék

FAGYGYŰRŰ INFORMÁCIÓK SZINTETIZÁLÁSA KÁRPÁTI MAGASHEGYI TERÜLETEKEN

Tudományos Diákköri Dolgozat

MOCSÁRI ESZTER SÁRA

TÉMAVEZETŐ:

DR. ÁRVAI MÁTYÁS

HUN-REN ATK Talajtani Intézet, tudományos főmunkatárs



2024.

TARTALOM

1. Bevezetés	3
2. Kutatástörténet, dendrokronológia történelmi háttére	6
3. Anyag és módszer	8
3.1. Fatest szerkezete, növekedése.....	8
3.2. A dendrokronológia módszertanának alapjai	9
3.3. A famintavételezés módszertana	10
3.4. Mintaterület	13
3.5. Minták feldolgozása	15
4. Fagykár detektálási módszertan	18
5. Eredmények	20
5.1. Évgűrűszélesség mérés és kronológiaépítés	20
5.2. Fagygyűrű kronológiaépítés és fagyeseemények.....	23
6. Következtetések	27
7. További kutatások.....	30
8. Összefoglalás	31
9. Irodalomjegyzék.....	32

1. BEVEZETÉS

Tudományos Diákköri dolgozatom választott témája a kárpáti magashegységi területekről származó fafuratok évgyűrű-elemzéseinek dendroklimatológiai szempontú értelmezése. A dendrokronológiai kutatások egyik altémája a valamilyen éghajlati kontextusba helyezése az évgyűrű vizsgálatoknak, innen a dendroklimatológia elnevezés, saját elemzéseim eredményei és a módszer menetének bemutatása mellett a meglévő kutatási eredmények együttes értelmezése a célom. Kutatásom azért erre a témára alapszik, mert egyre nagyobb jelentőséggel bír a klímaváltozás, klímavédelem szerte a Földön. A felmelegedés gyors üteme hosszabb időtávlatban nem csak a természet szempontjából kihívásos, de jelentős problémát okoz az emberi társadalomban és gazdaságban is. Mára már széles körben elfogadott tudományos tény, hogy az elmúlt évtizedekben egyre gyakoribbak a különféle szélsőséges időjárási események. Az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) hegyvidékekre vonatkozó jelentés szerint a hőmérséklet további emelkedése nagy változásokat fog előidézni a 21. században és ez a környezeti változás a magashegyi krioszférában fog jelentősen jelentkezni. Amennyiben az átlag hőmérsékletemelkedés eléri a 1,5 °C-ot a Föld valamennyi gleccserét el fogja veszíteni (IPCC 2022). Azonban az éghajlatváltozás nemcsak a gleccserekre és jégtakarókra van nagy hatással. A felmelegedés és a lehűlés váltakozása folyamatosan befolyásolja a földfelszínt kialakító folyamatok változását, ez pedig befolyással van az élő szervezetekre is, legyen akár állati, vagy növényi. Az éghajlat változékonysága a szélsőséges események gyakoriságát fokozza és ez által a stresszhelyzetek is fokozódnak (GUILLAUME C. ET AL. 2021). Ilyen stresszhelyzetek az egyre változékonysabb időjárási jelenségek, mint például az emelkedő nagymértékű napi hőingások, a fokozódó aszályos időszakok vagy akár a nagy kiterjedésű fagyeseemények. Utóbbira néhány példa az elmúlt évszázadokból: 1776. április Brassó emberek fagytak meg, 1784. január a lőcsei fűrt kutak befagytak, 1785. július krasznai nagy jég, 1799 májusa Nagybányán fűteni kellett, 1876 tavaszán a Csíki-medencétől Burgenlandig fagykár érte a Kárpát-medencét, gyümölcsfák fagytak el, az Alföldön birkanyájak hullottak el a nagy hidegtől (RÉTHLY 1970). Megfigyelhető a klímaváltozás hatására az állatvilág változó viselkedése, vagy egyes fajok túlzott elterjedése, illetve térben való eltolódása (OBORNY, ZIMMERMANN 2023). Ezek az extrém időjárási események olyan stresszhelyzetek, amikhez vegetációnak alkalmazkodnia kell, ha létezését fent szeretné tartani. Mindazonáltal ezek a stresszhelyzetek sokszor nyomot hagynak az élő szervezetekben, amelyek detektálhatók. Erre egy recens példa, amikor rovarkártevők számának változását vagy az általuk okozott károkat figyeljük meg, amelyeket a vegetációban okoztak. Ezeknek az adatoknak a mennyiségi és

minőségi változását a klímaváltozás hatásának tudhatjuk be. Azonban ennek a módszernek a hátránya, hogy egyszerre csak az adott - viszonylag rövid - időszakra kapunk így rálátást. Amennyiben ki kívánunk lépni az elmúlt évszázad megbízható műszeres mérések időszakából akkor olyan módszer használatára van szükség, mely az okozott károkat valamilyen formában konzerválni és így tárolni képes, egy hosszabb időtávlatban.

A dendrokronológia módszertanával, illetve a dendroklimatológiai vizsgálatokkal az klímaváltozás okozta egyre gyakoribb megjelenésű extrém időjárási események kimutathatók, akár évszázadokra visszamenőleg. A fás szárú növényzet belső szerkezetében ezek tartósan nyomot hagyhatnak a sejtekben, amiket a fatest képes évszázadokon át őrizni. Ezek segítségével nyomon követhetők azon extrém eseményeket, melyek a múltban az átlagtól nagyban eltértek. Ezen mintázatok vizsgálatával meghatározhatók a stresszhelyzetek viszonylag pontos ideje, valamint elemzésükkel mértéke is megadható, ez azonban nem csak jelen állapotról tud tanúskodni, hanem a múltba visszamenőleg is.

Munkám során a klímaváltozás okozta korai fagyeseeményeket tárgyalom részletesen, amelyek megjelenését a Kárpátok magashegyi tájairól származó mintákban vizsgáltam. Kutatásomban a fás szárú vegetációban –fenyőfélékben- kerestem a fagykárokat, mert ezek környezeti információkat hordoznak, amely a fa anatómiai jellemzőiből (évgyűrűk szélessége, sejtfal) nyerhetők ki (RITA. et al. 2022). Szélsőséges esetek példájára és a fás szárú növényzet adattároló tulajdonságára szolgál a *Nature* tudományos folyóiratban megjelent cikk, miszerint több olyan robbanásszerű vulkánkitörés történt azokban az években mikor a fák fagysérülést szenvedtek el és kis növekedést produkáltak (LAMARCHE & HIRSCHBOECK 1984). A kutatásom során sikerült összefüggést találni és alátámasztani a feltételezést (SALZER & HUGHES 2006) valamint a klimatológiai vizsgálatra példával szolgál Hantemirov és munkatársai kutatása, akik a Kr.e. 742-es nyári extrém hideg hőmérséklet hatását mutatta ki Szibéria területén (HANTEMIROV et al. 2004).

A dolgozat további részében a dendrokronológia módszertanát, annak történeti hátterét, alkalmazását és a kutatási területről származó mintákkal való munkámat, illetve a kapott eredményeket fogom taglalni.

Célom a mintákban fellelhető évgyűrűk megszámlálása, majd szélességük lemérése és a TSAPWin program segítségével évgyűrű-kronológiákat készíteni. A mérés folyamán célom, hogy a sejszerkezetben jelentkező fagykárokat időponthoz rendeljem. További célom a kapott eredményekkel egy új magashegyi mintaterületet bevonni a fagyeseemények alapján vizsgált

régiók sorába (Kelemen-havasok, Retyezát, Sarki Urál, Pirin) és ezzel segítve az eredmények nagyobb területi kontextusba helyezését és szintetizálását.

2. KUTATÁSTÖRTÉNET, DENDROKRONOLÓGIA TÖRTÉNELMI HÁTTERE

Leonardo Da Vinci a reneszánsz mester, biológiai megfigyeléseiben elsőként ismerte fel a fák gyűrűinek az éves karakterét (SCHWEINGRUBER 1988). A művésznak több feljegyzése is volt a fák növekedéséről, ezeket azonban nem tudták megmagyarázni, csak a kor előrehaladtával, tudták alátámasztani, hogy ő volt az, aki elsőként papírra vetette a fák önazonos növekedését. Azóta Leonardo-szabályként ismert megfigyelés kimondja, hogy az azonos vegetációs időszakban fejlődött ágak átmérőjének összege egyenlő a fa törzsének átmérőjével. Ez azzal magyarázható, hogy a fa a saját egyensúlyának megtartása érdekében úgy növekszik, hogy azzal törekszik a stabilitásra, s annak megtartására. Ez a növekedési forma biztosítja a fa stabil helyzetét például a szél ellen. 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 (SPEER 2010). Mindazonáltal a dendrokronológia tudományos módszertani alapjait Adrew Ellicott Douglass fektette le az 1900-as években. Ő a múltbeli napfolttevékenységeket vizsgálta a fák növekedésének a tükrében, amely hipotéziséhez élő fákból vett furatmintákat, amelyekből kronológiát épített (DOUGLASS 1919). Két évtized alatt a kronológia már messze a múltba nyúlt, és ezzel magyarázatot nyert számos olyan, a múltban történt esemény kiváltó oka, melyre addig nem volt magyarázat. 1937-ben Douglass megalapította az első laboratóriumot az Arizonai Egyetemen, mely az évgyűrűk vizsgálatával foglalkozik. Azóta szerte a világban, a Kárpát-medence több pontján és hazánkban is folynak ilyen jellegű kutatások.

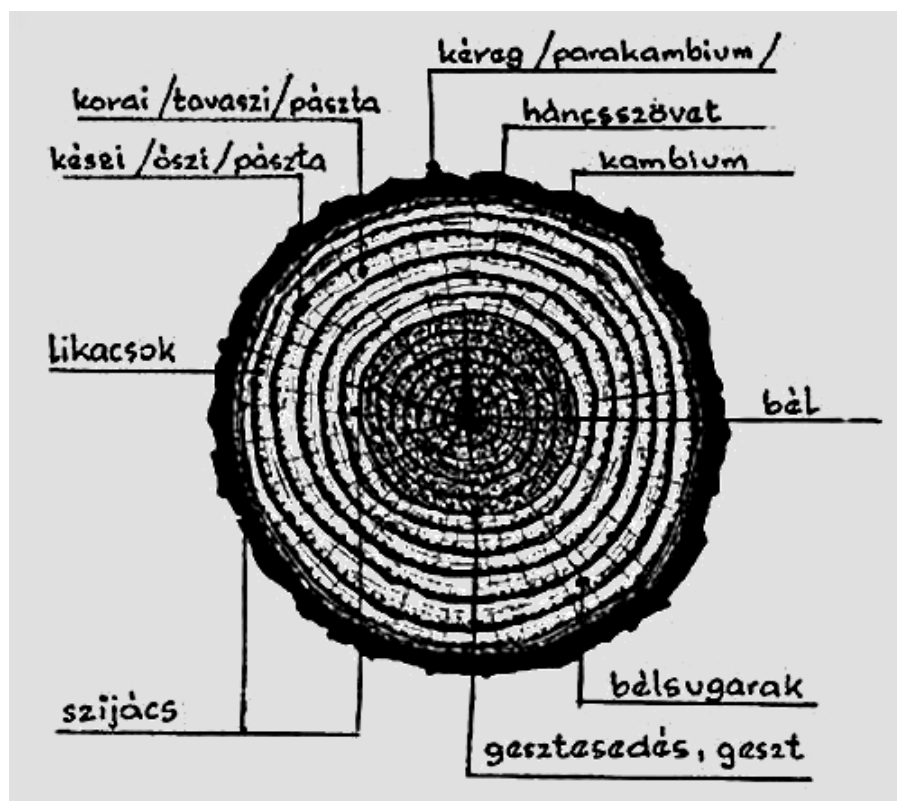
Európában az első kutatások a második világháború után kezdődtek (GRYNAEUS, 2002.). Magyarországon csak néhány évtizede alkalmazzák a módszertant. Országunkban az első vizsgálat 1941-ben jelent meg. Ekkortájt a módszertant nem alkalmazták teljes körű vizsgálatokhoz, hanem csak bizonyos részletkérdések feltárásához. Ezek között a legtöbb időt a napfolttevékenység hatásának elemzésére szentelték (GRYNAEUS, 2002.). Az első szisztematikus kutatás a 90-es években indult, közös kooperálás keretein belül. Ezek régészeti kutatások voltak. Grynaeus András és társai a munkában négy kérdéskörrel foglalkoztak. Vizsgálták, tölgyfaminták segítségével többek között azt, hogy Magyarország területe egy területnek minősül-e dendrológia szempontból, illetve ha nem, akkor hol húzhatók meg a határok (GRYNAEUS, 2002). Cél volt, egy kronológiai görbe létrehozása, amely messze a múltba visszanyúlik. Később kiderült, hogy a hazánkkal szomszédos területek kronológiái nem, vagy csak korlátozottan használhatók a hazai anyag keltezésében. Arra is fény derült, hogy mind jelenleg, mind a korábbi évszázadokban egyaránt mozaikos szerkezetű volt a Kárpát-medence

növényföldrajzi dendrokronológiai képe (GRYNAEUS, 2011). Így nem fedhető le egyetlen kronológiával az egész ország, hanem több kisebb kiterjedésű kronológiát kell készíteni. A Kárpát-medencében tevékenykedő kutatók közül kiemelkedő munkát végez Dr. Árvai Mátyás, Dr. Kern Zoltán, Ionel Popa, Grynaeus András, Magyar Eszter.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. FATEST SZERKEZETE, NÖVEKEDÉSE

Ahhoz hogy a módszertan alapjának megértéséhez elengedhetetlen a fa belső szerkezetének ismerete. A külső védőréteg a *kéreg*, ennek fő feladata a belső faanyagrétegek védelme. Utána, befelé haladva a *háncsrész* következik, melyben a tápanyagszállítás történik, majd ezután a *kambiumot* találjuk, ami az elsődleges osztódószövet. Ez a különleges réteg évről évre újabb sejteket hoz létre, ezzel biztosítva a fa körkörös növekedését, vastagodását. Ezen belül található a *xilem*, amely a vízszállításért felel. A kambium működése periodikus, ennek köszönhető a fa évgűrűs szerkezete. Kialakulása két periódusra bontható. A kambium a növekedési periódusban sok új vízszállító sejtet hoz létre, ezek nagyméretűek, kerekded alakúak. Ez a tavaszi vagy korai pászta, mely a fatestben világosabb színnel jelenik meg. Nyár végén, ősszel, a lelassuló életfolyamatoknak megfelelően kevesebb vízre van szüksége a növénynek; ehhez igazodik a kambium működése is. Ekkor kisebb méretű, oválisabb alakú sejteket hoz létre. Ez lesz a sötétebb megjelenésű, kései, vagy őszi pászta. Fontos megjegyezni, hogy ez a világos- sötét megjelenés csak a mérsékelt övben figyelhető meg, mert a trópusi területeken az egyenletes a klíma, és emiatt a nyugalmi időszak hiánya nem teszi lehetővé az ilyen fajta megjelenést. Befelé haladva következik a fa legidősebb része, a *bél* vagy más néven szívfa.



1. ábra: Fa belső szerkezete (I.H. 1)

3.2. A DENDROKRONOLÓGIA MÓDSZERTANÁNAK ALAPJAI

Az egyik legnagyobb hatása az élő szervezetekre a klímaparaméterek, pl. hőmérséklet- és a csapadék változásának van. A dendrokronológia a fás szárú vegetáció ciklikus növekedésén és az ebből következő évgyűrűs szerkezeten, alapuló tudományág. Az egymáshoz közel élő fákat ugyanazok a hatások érik így ez a mintázatukba is meglátszódhat. Ezt figyelembe véve, feltételezhetjük, hogy a közel élő fák mintázatának egy részében átfedések lesznek. Ezt nevezzük keresztegyezésnek (cross-dating) vagy átlapoltságnak (overlapping). Amennyiben két minta között megvan az egyezés időrendi sorrendbe tudjuk állítani és segítségével a fa gyűrűiben megfigyelhető változásokat - esetünkben a fagy eseményeket – naptári dátumhoz lehet rendelni. Megkülönböztetünk mester-, illetve függőkronológiát. Mesterkronológiának nevezzük azt a görbét, amelyben minden évhez kihagyás nélkül tudunk rendelni évgyűrűt és pontosan ismerjük az egyes évgyűrűhöz kapcsolódó évszámot. Függőkronológiának nevezzük azt a sort, amelynek nem ismert a mintasor kora, vagyis az évgyűrűkhöz nem tudunk pontos évszámot kötni.

A módszertan limitációja nem a kormeghatározásban rejtőznek, hanem a mintákban, mert a fa csak a saját szűkebb helyéről képes információt tárolni, ezért fontos az, hogy a minták származási területe (magasság, klimatikus feltételek) közel hasonlóak legyenek. A hasonló elhelyezkedés ellenére a minták nem garantálják azt, hogy kronológiát tudunk belőle építeni és azt sem, hogy egy mester kronológiához tudjuk őket illeszteni. Ezek miatt a mintákból összeállítható sorozat csak lokálisan tud szolgálni, vagyis nem alkalmazható globális referenciaként. A Kelemen-havasokban – alpesi tapasztalatokkal alátámasztva – kimutatták, hogy a léghőmérséklet fontosabb növekedést befolyásoló tényező, mint a csapadék a cirbolyafenyők esetében (KERN 2010).

A dendrokronológia, és nagyszámú kiágazásai segítségünkre lehet, ha olyan kérdésköröket szeretnénk vizsgálni, mint a klímaváltozás (dendroklimatológia) és abból adódó szélsőséges események, illetve szennyező anyagok (dendrokémia), megváltozott életkörülmények hogyan befolyásolják a fák élethelyzetét, s miként jelenik meg ez a szerkezetükben.

Azonban mint minden módszernek, ennek is vannak limitációi, például ez a módszer csak olyan területen használható, ahol a fák növekedésére jellemző a ciklikusság, a nyugalmi állapot és ennek köszönhetően ki tudnak alakulni az évgyűrűk. Az évgyűrű két részből áll egy úgynevezett korai/tavaszi pásztából, s egy kési/nyári pásztából. Ezek együttesen tesznek ki egy évet. Ez a két részes évgyűrű, csak a mérsékelt övben van jelen, mert az itt jellemző klíma, amely alapján növekednek a nyugalmi- és növekedési időszakai markánsan elkülönülnek. A tél

végével a vegetációs periódus megindulásával elkezdődik a növekedés, azaz a sejtosztódás. Ennek mértékéről és minőségéről ad információt a jellemzően világosabb színű korai pászta, míg a sötétebb színű, sűrűbb szerkezetű kései pászta a fatest szilárdítását végzi. Ennek figyelembe vételével mondható, hogy ez a módszer a mérsékelt öv fásszárú növényzetére alkalmazható csak.

3.3. A MINTAVÉTELEZÉS MÓDSZERTANA

Eltérő típusú fák és eltérő típusú területek lehetnek számunkra az ideálisak, ha a fagykárokat ezzel szemben, ha a lejtős tömegmozgások hatását szeretnénk vizsgálni az évgyűrűkben. Esetünkben olyan területről célszerű a mintákat származtatni, ami kitett, meredekebb, illetve *erdőhatár*, vagy valamilyen határterületen helyezkednek el.

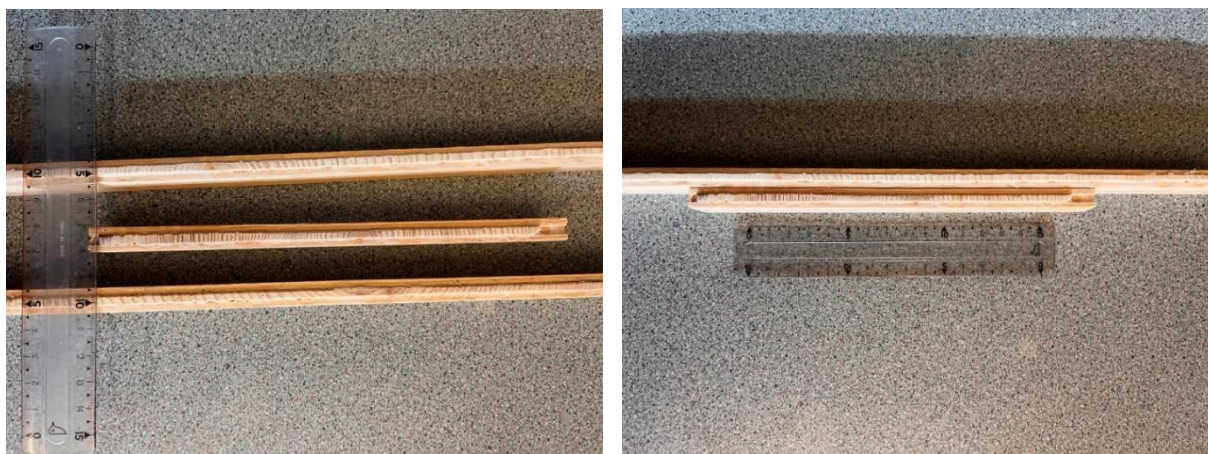
Kimondható, hogy mintavételezés során több szempontot kell figyelembe venni. Ahogy feljebb említettem, a mintavételezést meghatározza, hogy mi a kutatásunk célja. Vagyis a kívánt vizsgálat határozza meg tehát, a mintagyűjtés helyét és a minták mennyiségét is (SCHWEINGRUBER 1996). Mintavételezés során figyelembe kell venni a

- a) *történeti elvet*, miszerint egy 30 évgyűrűvastagságból álló sorozat kis valószínűséggel (elhanyagolható valószínűséggel) fog újra előfordulni egy adott faj mintázatában.
- b) *szinkron elvet*, miszerint az egy helyen élő azonos fajú fák közel azonos hatásoknak vannak kitéve, a mintázatuk hasonló lesz. Vagyis ha két egyednek a mintázata, hasonló, akkor a hatások is hasonlóak voltak, így kijelenthető, hogy a fák egykorúak.

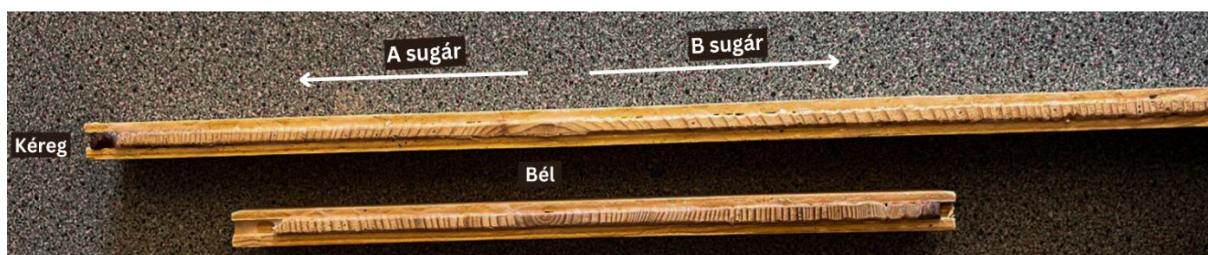
Mintavételezés két úton történhet:

- a) Furat minta
- b) Korong, szelet minta

Az „a)” esetben élő fa nyújtja nekünk a mintát ekkor egy ~4-5mm átmérőjű hengert fúrunk ki a fából. Ez egy-két sugárirányú fúrómagot ad a fa törzséből, előnyösebb a törzs felszínhez minél közelebbi részéből szerezni, mert itt megtalálható minden évgyűrű. Ennek limitációja abban rejlik, hogy a fa bél része nem pontosan középen helyezkedik el (növekedésük nem tökéletes koncentrikus, hanem sugárirányú), így megeshet, hogy mintánk nem tartalmazza a teljes mintasort. Azonban ilyen mintavételezés esetében pontosan meg tudjuk mondani, hogy mikori az egyed (annyi éves amennyi évgyűrű van, plusz 1 év ami a csírázási év), mert a kéreg részt biztosan tartalmazni fogja, vagyis az egyes évgyűrűket évszámokhoz tudjuk kapcsolni, ami a kronológia alapját képezi.

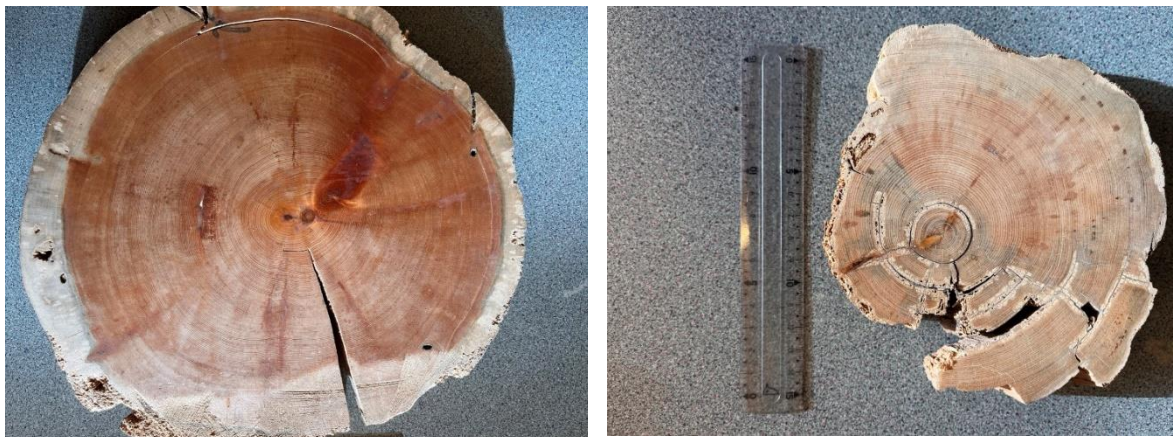


2. ábra: Furatminták az előkészítés után (saját fotó)



3. ábra: Furatminta részei az alsó minta tartalmazza teljes bél részt, így felső nem

A „b)” esetében a fűrészelést alkalmazunk, ahol tetszőleges vastagságú szeletet vágunk le a fa törzséből kézfűrész vagy láncfűrész segítségével. Utóbbi hátránya, hogy csak kivágott, kidőlt, holt fákra alkalmazható.



4. ábra: Korong minták az előkészítés után (saját fotó)

A levett mintákat egyesével egy három betű illetve három számot tartalmazó kóddal címkéztük fel. Egy területről származó minták ugyanazt a betűkombinációt kapták, míg a számok egyesével nőnek felfele (ld. 2.2 fejezet). A mintán feltüntettük még, hogy az adott furat milyen sugár mentén lett vételezve, itt AB, illetve CD kódot írtunk fel.



5. ábra: Kóddal ellátott korong minta (saját fotó)

3.4. MINTATERÜLET

A globális hőmérséklet- változás hatása leginkább azokon a területeken lesz jelentős, melyeken kisebb klíma kilengések is nagyobb mértékű változásokat okozhatnak. Ilyen területek például a magashegyi termikus *erdőhatárzónák*, mert itt a vegetáció a klimatikus elterjedési zónájának a peremén van. Ez jellemzően a hegyvidékek felső erdőhatár zónája, e fölött már csak a törpefenyők, valamint lágyszárú vegetáció található (KNORN ET AL 2012).

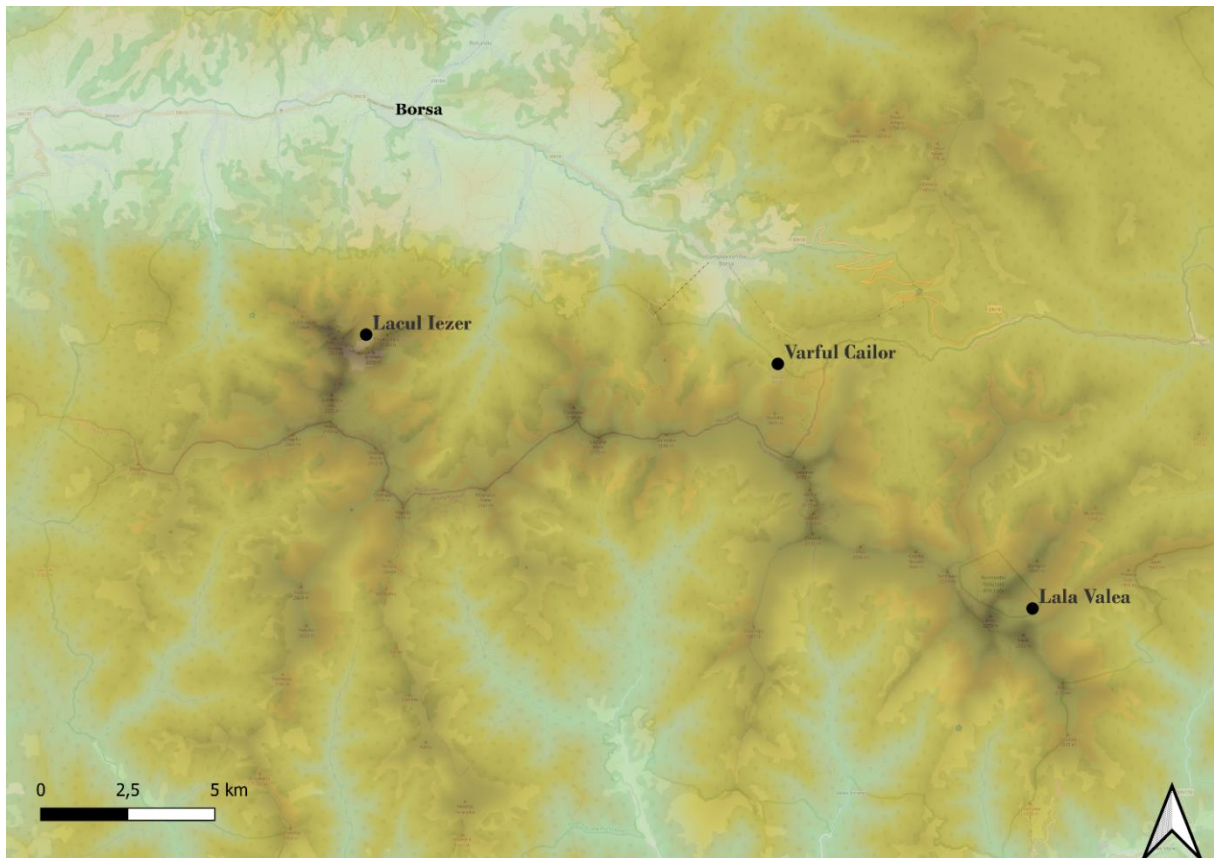
Az felső erdőhatár a Radnai-havasokban ~ 1800 - 2000m magasan helyezkedik el. Az utóbbi évtizedekben az erdőhatár zónák a magasabb régiók felé tolódtak, ezt a folyamatosan emelkedő hőmérséklet, illetve a csapadék mennyisége, minősége befolyásolja. Kern Zoltán és Ionel Popa a Kelemen-havasokban történő kutatásuk során megállapították, hogy 2006-os fahatár 65, illetve 95 méterrel magasabban húzódik, mint 100 évvel korábban (KERN & POPA 2008). Esetünkben a mintákat célszerű olyan területről vennünk, amelyek elhelyezkedése ki van téve a fagynak.

A Radnai-havasok a Keleti-Kárpátok legmagasabb csúcsa, a Nagy-Pietrosz, amely 2303 méteres tengerszint feletti magasságba tör. A Radnai-havasok völgyei jellemzően gleccser vájta, U keresztmetszetű völgyek, így a 2000 méter fölött futó gerincen sorakozó csúcsok mellett jelentős számú völgyet, patakot, tengerszemeket találhatunk gazdag fásszárú vegetációval (Ih.2.).

A minták pontos származási régiója a Radnai-havasok területén belül:

- a) Az 1786 méter tengerszint feletti magasságban a Mosolygó-tó (Lacul Iezer 47°35'53"N 24°38'44"E, Zanoaga; jelölése a mintakód: ZAN; cirbolyafenyő /*Pinus cembra* 6db korong, 4db furat),

- b) ~1300 méter Ló-havasi vízesés (Cascada/Varful Cailor 47°35'26"N 24°48'09"E;
jelölése a mintakód: RAD; lucfenyő/Picea abies (L.) Karst, 16db furat) környéke.



6. ábra: Radnai-havasok mintaterület

A gyűjtési év mintaterületenként eltérő, a Mosolygó-tó környezetéből származó furatmintákat 2008 augusztusából, míg a Ló-havasi vízeséstől származók 2003 augusztusából valók. A korongminták, kidőlt holtfából származnak, az utolsó évgűrű így nem reprezentálja a gyűjtés idejét.

A területről származó furat, illetve korongminták is feldolgozásra kerültek, jelen munkában ezek feldolgozásának menetét és a vizsgálat során kapott eredményeket tárgyalom.

3.5. MINTÁK FELDOLGOZÁSA

A minták felület előkészítését szalagcsiszolóval valósítottam meg, a csiszolópapír finomságát folyamatosan növelve (400-ig), így a sejtszerkezetek mikroszkóp alatt tisztán láthatóvá és elemezhetővé váltak.

A sejtrács elemzéseket a szakirodalom (SCHWEINGRUBER 1990, 1996, 2001, 2006, 2007, BUTTERFIELD et al. 1997) ismeretével, és sztereomikroszkóp segítségével végeztem.



7. ábra: Sztereomikroszkóp és a LINTAB mérőasztal az ELTE TTK laboratóriumában (saját fotó)

A minták (puha tűlevelű fajok esetében) előkészítésében külön nehézséget okoz, hogy sok esetben a mintát kézi 1000-es csiszolóval meg kell csiszolni, ahhoz hogy a sejtszerkezet legkisebb elváltozásai (pl. kisebb mértékű fagyeseemények) jól láthatóvá váljanak. A korongminták esetén nehezítő tényező volt, hogy a mintákban voltak hiányos részek, például különféle hasadás nyomok, elkorhadott részek. Ezeken a helyeken anyaghiány volt a nehezítő tényezőt.

Ezután a minták évgűrűit megszámláltam, minden tizedik évgűrűre egy pontot, az ötvenedik évgűrűre két pontot és a századik évgűrűre három pontot tettem. Ez a módszer segít a mérés pontosságában, és esetleges elcsúszások esetén könnyíti a javítást.



8. ábra: Korong mintán a pontozási sor. 1 pont minden 10. évgűrűn 2 pont minden 50.évgűrűn és 3 pont minden 100.évgűrűn (saját fotó)

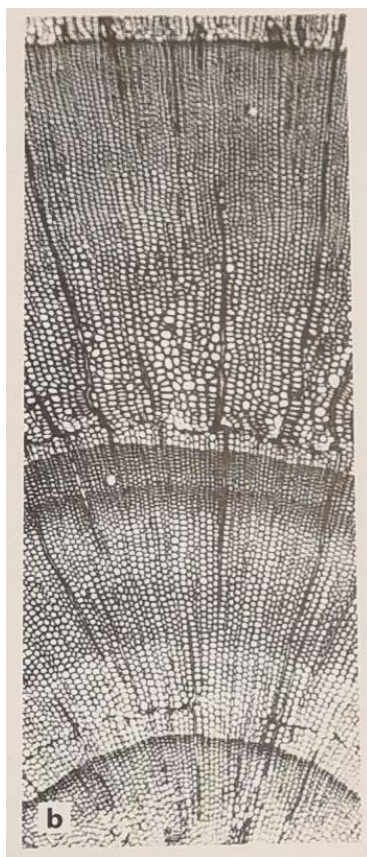
A pontozás után az évgűrű-szélesség mérése valósult meg. A minták feldolgozása 0,01 mm pontossággal bíró Lintab mérőasztalon és TSAPWin 4.68 szoftver segítségével történt. Itt figyelembe vettem a sugarakat, ennek alapja, hogy mindig a leghosszabb sugár mentén mértem, hogy a lehető legtöbb évgűrűt tartalmazza a mérés. Külön figyelmet fordítottam az esetleges anyagihiányra, ami egy sérülés miatt keletkezhetett a fába. Ilyen esetben összevettem az adott minta másik két sugár mentén vett mintájával, átlagoltam, s így szűrtem ki a problémás területeket. A mérés során a mintákban fagykár okozta fagygyűrűket kerestem, ezzel párhuzamosan kereszttegyezéseket igyekeztem összepárosítani. Az átlapoltságok összeillesztésében is a TSAPWin programot használtam, mely görbék alapján mutatja az évgűrű szélességet és egyes minták közötti hasonlóságot. Az átlagos évgűrűszélességet viszonyítottam egymáshoz. A mérésnél minden esetben figyelembe kell venni az öregedési trendet, miszerint a fák fiatalabb korban gyorsabban nőnek, tehát szélesebb évgűrűt produkálnak, illetve kevésbé érzékeny, ahogy idősödnek az évgűrűszélesség úgy csökken. Ez a trend minden fafajnál megfigyelhető, de mindegyiknél egy kicsit eltérő. Munkám során csak azokat vettem figyelembe, ahol a minimum 30 évgűrűsorozat megtalálható. Crossdate funkció

segítségével a program megadja a statisztikai jellemzőket, majd a görbéket összevetve megnézhetjük azt grafikusan is. A mérőszámok közül az alábbiakat vettem figyelembe:

- a) OVL-overlapping: itt nem csak az átlapolt évgűrűk száma a fontos, hanem annak elhelyezkedése is. (első, illetve utolsó év)
- b) GLK%: megmutatja, hogy a vizsgált átfedési helyzetben a keskeny-széles/széles-keskeny változások, hány százalékban egyeznek (ECKSTEIN & BAUCH 1969). Értelemszerűen minél magasabb a szám, az egyezés annál nagyobb.
- c) %CC- korrelációs együttható
- d) Baillie és Pilcher T-érték-TVBP: Ez az érték, annyiban más a Student-féle T-értéknél, hogy kiszűri az öregedési trend általi torzításokat.
- e) CDI- Crossdating Index: Program saját indexe mely több statisztikai paraméter alapján alkotja meg értékét.

4. FAGYKÁR DETEKTÁLÁSI MÓDSZERTAN

Sorauer által javasolt elmélet a fagykár mechanizmusáról azon a tényen alapszik, hogy a szövetek fagy hatására összehúzódnak, s először a külső részekben fog végbe menni, ami repedéseket vagy hasadékokat fog okozni (GLERUM & FARRAR 1966). A fagykár főként a növekedés korai, tavaszi fázisára koncentrálódik. Amennyiben a fa ki volt téve egy erősebb fagy eseménynek, az őt felépítő sejtekben jelenlévő víz megfagy, ami térfogatnövekedéssel jár, így a sejtfalak megrepedhetnek a fa lumenében. Ez a folyamat -8 Celsius fokon megy végbe, de a 0 Celsius fokon is képesek a túlélő fák xylemében különleges struktúrák kialakulni, mely utalhat a fagykára (GURSKAYA et al. 2016). Ezen kívül hirtelen bekövetkező nagymértékű lehűlés hatására is képesek a sejtfalak sérülni, így ilyenkor is létre tud jönni a fagykár. Fontos megjegyezni azt is, hogy ezek a fagygyűrűk nem minden esetben alkotnak teljes kört. Ennek oka lehet, hogy nem minden irányból egyformán kitett a mintát adó fa.



9. ábra: Fagygyűrű megjelenése a sejtrácsban (SCHWEINGRUBER 1990)

Minél fiatalabb a fa, annál nehezebben tud ellenállni a hirtelen bekövetkezett negatív hőmérsékletnek, így ezekben már akár a kisebb fagyok is megfigyelhetők, míg az idősebb fákban feltehetőleg csak a nagyobb fagyeseemények hagyhatnak nyomot. Ez azzal magyarázható, hogy a fiatalabb fának a kérge még nem elég fejlett, ez által nem tud kellő

védelmet nyújtani a váratlanul bekövetkező hideg időnek, vagy az erős lehűlésnek; valamint minél kisebb az átmérője a fa törzsének reaktíve, annál több víz van benne. Tehát a fiatal fatesthez képest arányaiban több víz található, mint az idősebb fák fatestében.

A fa szerkezetében nemcsak a fagy okozhat deformáltságot, de biztos indikátorként ezek szolgálhatnak. Az erős szél, illetve lejtős tömegmozgások, valamint az ebből adódó egyensúlyvesztés okozta károk a fa szerkezetében elszíneződéssel, illetve megnyúlással járnak. Munkám során ezek a nem mindennapi változások kulcsfontosságú szerepet játszanak, mert a cél nem csak a fagykárok detektálása, hanem a minták alapján egy kronológia felépítése is, melyhez ezek az események és válaszreakciók kulcsévként, avagy jelzőévként szolgálnak. Munkám során figyelembe kellett vennem, hogy a mintát adó fák eltérő korúak voltak. Ennek azért van kulcsfontosságú szerepe, mert megeshet, hogy a területeken végbement ugyanaz a fagyeseemény, azonban csak az egyik területről származó mintákban hagytak csak nyomot. Ez az eltérő védekezési képességnek, illetve a korábban említettek okai, hogy az idősebb fákban csak a nagyobb fagykárok jelennek meg.

5. EREDMÉNYEK

5.1. ÉVGYŰRŰSZÉLESSÉG MÉRÉS ÉS KRONOLÓGIAÉPÍTÉS

A mérés folyamán 4 darab cirbolyafenyő (*Pinus cembra*) és 12 darab lucfenyőből (*Picea abies* (L.) H. Karst.) származó 16 darab furatmintát mértem le, ezen felül pedig 5db cirbolyafenyő korongmintát. Így összesen 21 db mintát dolgoztam fel. Ehhez összesen 35 mérést végeztem el, ugyanis a mintákat célszerű minimum kettő sugár irány mentén mérni, az átlagképzés miatt (ld.2.3.fejezet).

A mintákból származó kronológia közel fél évezredet foglal magában és a teljes egészében lefedi a 20. századot (1. táblázat). A minták átlagosan 119 évgyűrűt tartalmaznak. A legkorábbi furatminta a ZAN004 mintakódú minta, mely 1820-tól egészen 2007-ig tartalmaz információkat, míg a RAD mintakódú minták közül a RAD004A sugár menti minta tartalmazza a legtöbb évgyűrűt. A korongminták közül a ZAN103A sugár menti mérés mutatott a legnagyobb időtávot átfedő eredményt. Ez 343 db évgyűrűt tartalmazott.

. A ZAN105-ös minta esetében a korong állapota nem tette lehetővé a megbízható évgyűrű-szélességmérést, így nem került bele a kronológiába.

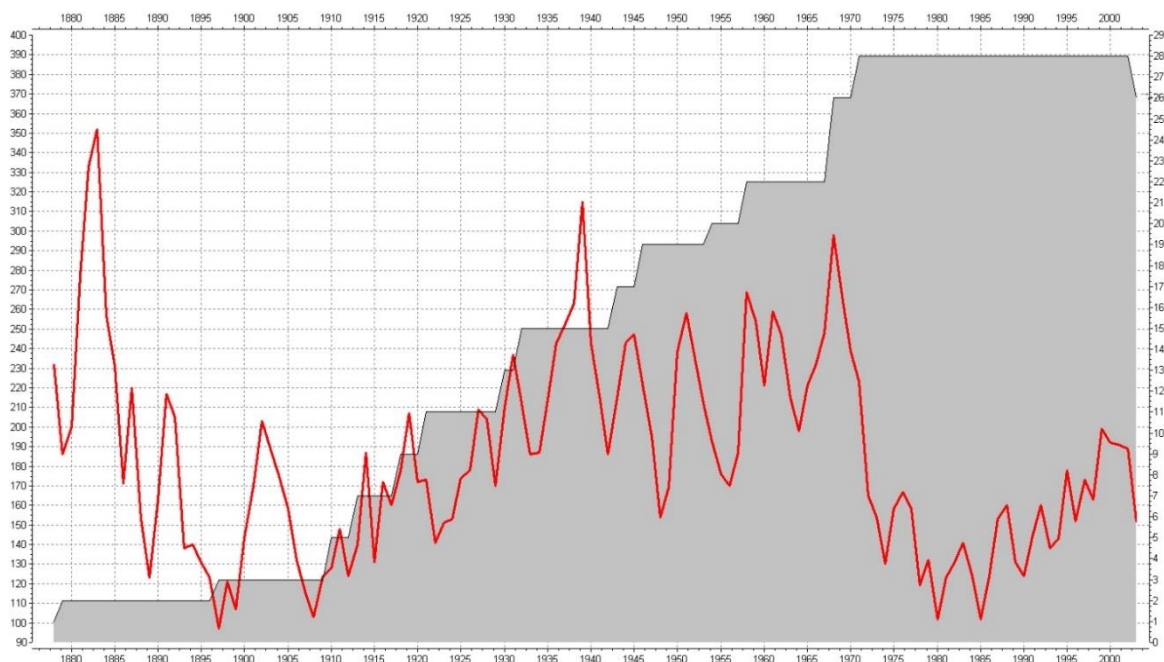
1.táblázat: a RAD, illetve a ZAN mintakódú furatminták évgyűrűszáma és általuk reprezentált időintervalluma

	Minta kódja	évgyűrű szám	reprezentált intervallum	
Furatminta	RAD002AB	33	1971-2003	Ló-havasi vízesés
	RAD002CD	36	1968-2003	
	RAD003AB	85	1919-2003	
	RAD004A	126	1878-2003	
	RAD004B	125	1879-2003	
	RAD005AB	91	1913-2003	
	RAD005C	104	1900-2003	
	RAD006	58	1946-2003	
	RAD007	50	1954-2003	
	RAD008AB	83	1921-2003	
	RAD008CD	74	1930-2003	
	RAD009	46	1958-2003	
	RAD010	91	1913-2003	
	RAD024	36	1968-2003	
	RAD026	61	1943-2003	
	RAD027	72	1932-2003	
	ZAN001	133	1875-2007	Mosolygó-tó
	ZAN002	158	1850-2007	
	ZAN003	168	1840-2007	
	ZAN004	188	1820-2007	
Korong minta	ZAN101A	230	1696-1925	
	ZAN101B	160	1716-1875	
	ZAN102A	167	1551-1717	
	ZAN102B	82	1551-1632	
	ZAN103A	343	1646-1988	
	ZAN103B	308	1646-1953	
	ZAN104A	111	1640-1750	
	ZAN104B	134	1640-1773	
	ZAN105	153	-	

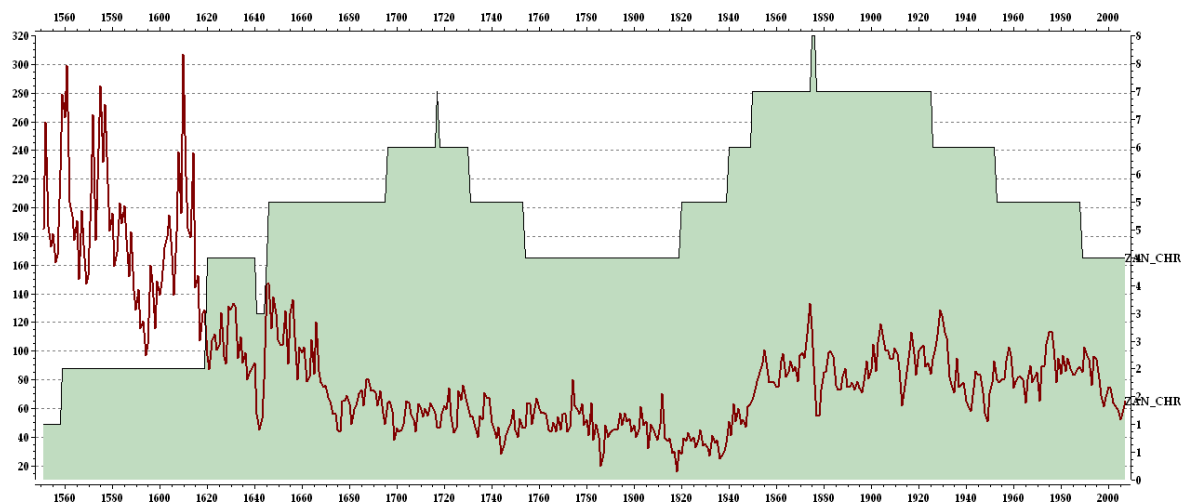
A kronológia építés az egyes minták közti egyezéseket mutató statisztikai mérőszámok (ld. 3.5. fejezet) alapján valósult meg. Külön készült kronológia, a RAD mintakódú mintákból, illetve a ZAN kódú furat és korongmintákból. A RAD *furatokból* származó teljes kronológia a 1878-2003-as időszakot öleli fel, valamint összesen 28 db mérést tartalmaz (3. ábra). A ZAN mintákból készült időrend 1551-2007 időintervallumot fed le.

Az egyes területeket reprezentáló átlagos évgyűrűszélesség kronológiákat az azt felépítő minták minden egyes mért sugarából épülnek fel, nem pedig az egyes minták átlagolt évgyűrűszélességi görbékből. Így lehetséges, hogy Lóhavasi- vízesés területéről 12 db fából származó 16 db furatból 28 db mérés, míg a Mosolygó- tó területén 8 db fából származó 4 db furat- és 4

db korongmintából 12 db mérés született, amelyek alapjául szolgáltak a Radnai-havasok területére készített kronológiának. Az ábrákon x-tengelyen az évszámot látjuk, y tengelyen bal oldalon, az évgyűrűszélességet, jobb oldalon, a reprezentáló évgyűrűmennyiséget.



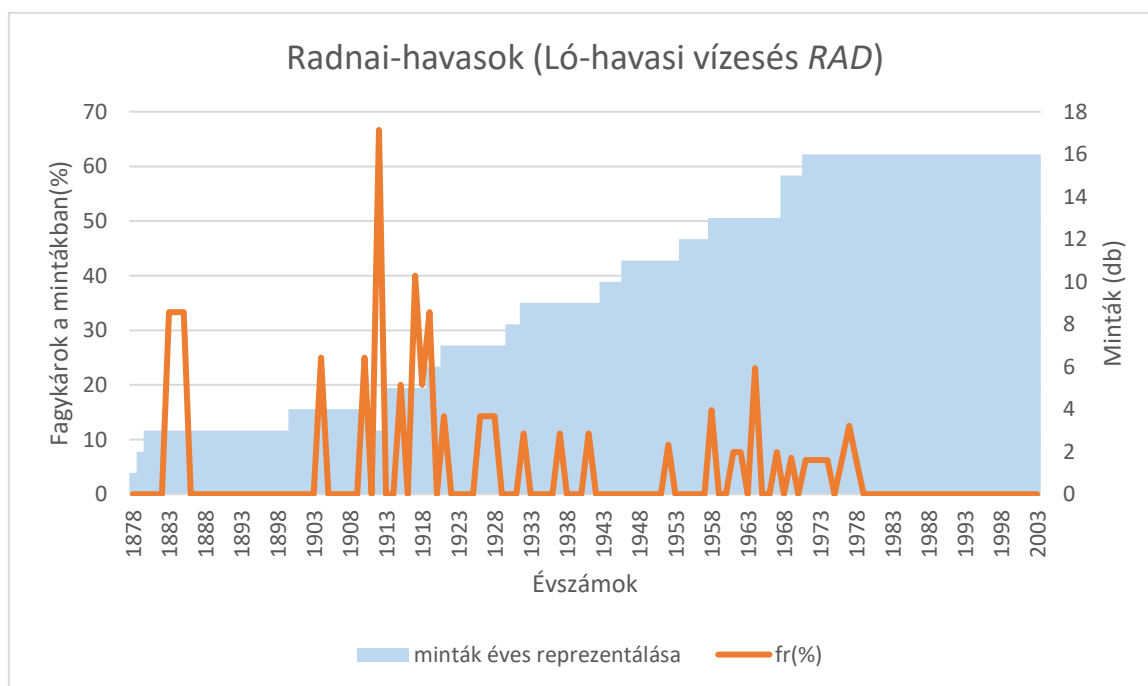
10. ábra: A RAD furatokból készített átlagos évgyűrűszélesség kronológia 1/100 mm pontossággal (piros vonal diagram), valamint az egyes éveket reprezentáló évgyűrűmennyiségek (szürke oszlopdiagram).



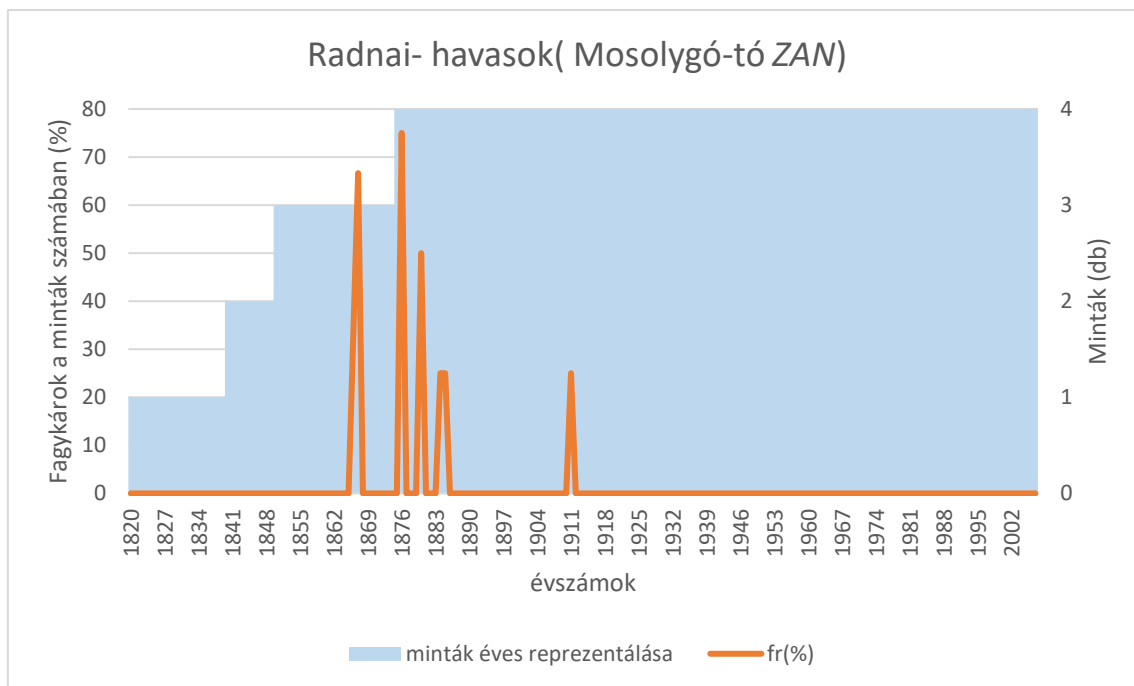
11. ábra: A ZAN mintákból készített átlagos évgyűrűszélesség kronológia 1/100mm pontossággal (piros vonal diagram), valamint az egyes éveket reprezentáló évgyűrűmennyiségek (zöld oszlop)

5.2. FAGYGYŰRŰ KRONOLÓGIAÉPÍTÉS ÉS FAGYESEMÉNYEK

Minden minta tartalmazott fagykárt. A mintákat egy Excel táblázatba rendeztem, feltüntettem egy évszám skálát „évszám”, illetve minták éveit visszamenőleg „fa kora”. A korok mellett lévő „frost ring” nevű oszlopba azokat az éveket, ahol találtam fagykárt 1-essel jelöltem, amelyik évnél nem találtam, ott nullás értéket kapott a cella. A minták darabszámának az ábrázolása azt tükrözi (4. ábra), hogy egy adott évet hány minta reprezentál. A minták számát és a bennük található fagykárokat százalékos formában, vonaldiagram segítségével ábrázoltam (4. ábra). Az 1976-os évben a minták RAD mintakódú mintákban megjelent fagyeseemény. Ebben az évben, a ZAN mintakódú furatmintákban nem volt fellelhető a fagy-kár (4. ábra, 5. ábra). A Mosolygó-tó furatmintái közül az 1867-os év értéke volt még kiugró, itt a minták 66,6%-ában megjelent a fagykár. A Lóhavasi-vízesés területéről származó minták 1912-es évben mutattak kiugró értéket, ez azonban a ZAN mintakódú mintákban nem jelent meg. Ennek oka lehet, hogy ekkor ehhez a mintaterülethez tartozó minták évgyűrűszáma már viszonylag magas volt, 38-93 darabszámig terjedő évgyűrűsor. Ahogy korábban említettem, minél fiatalabb a fa, annál érzékenyebb az őt érintő eseményekre, tehát minél idősebb a fa annál ellenállóbb lesz, így a kár annál kisebb valószínűséggel jelenik meg a mintázatában.

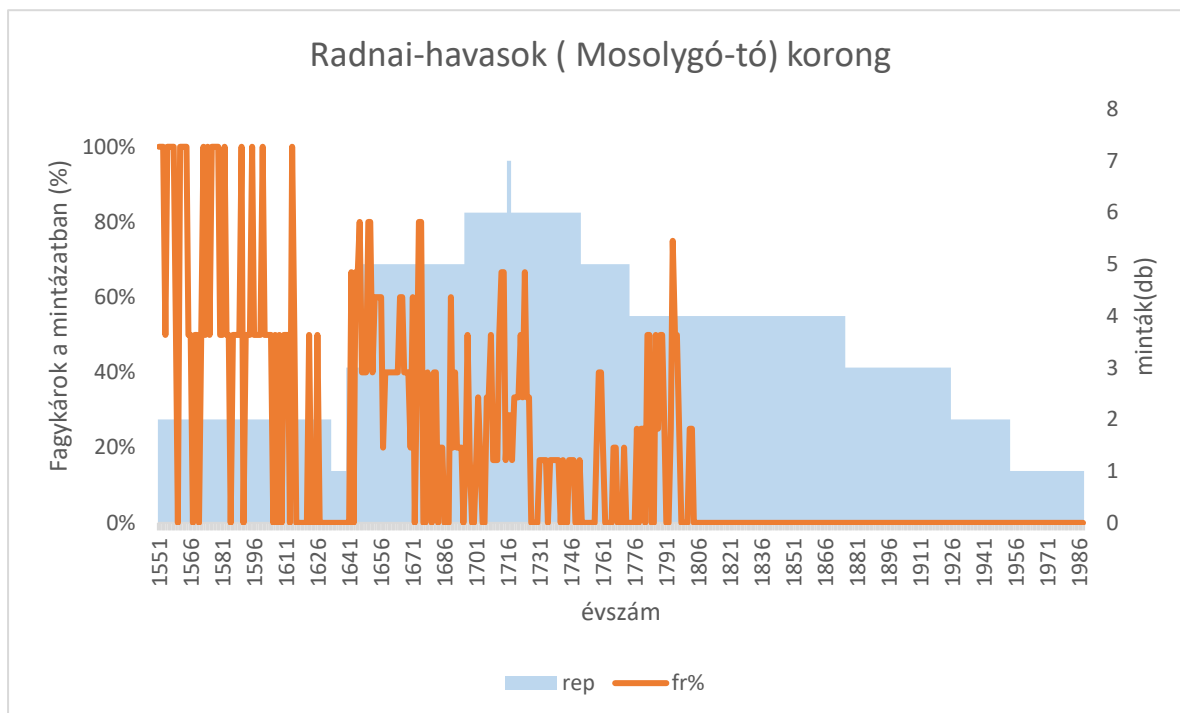


12. ábra: Radnai-havasok, Ló-havasi vízesés területéről származó minták éves reprezentálása, fagykárok mintához viszonyított arányát ábrázoló diagram. A kék oszlopok a minták számát mutatják évenként, a sárga vonal a fagykárok arányát a mintaszámhoz viszonyítva évenként elosztva, százalékos értékben

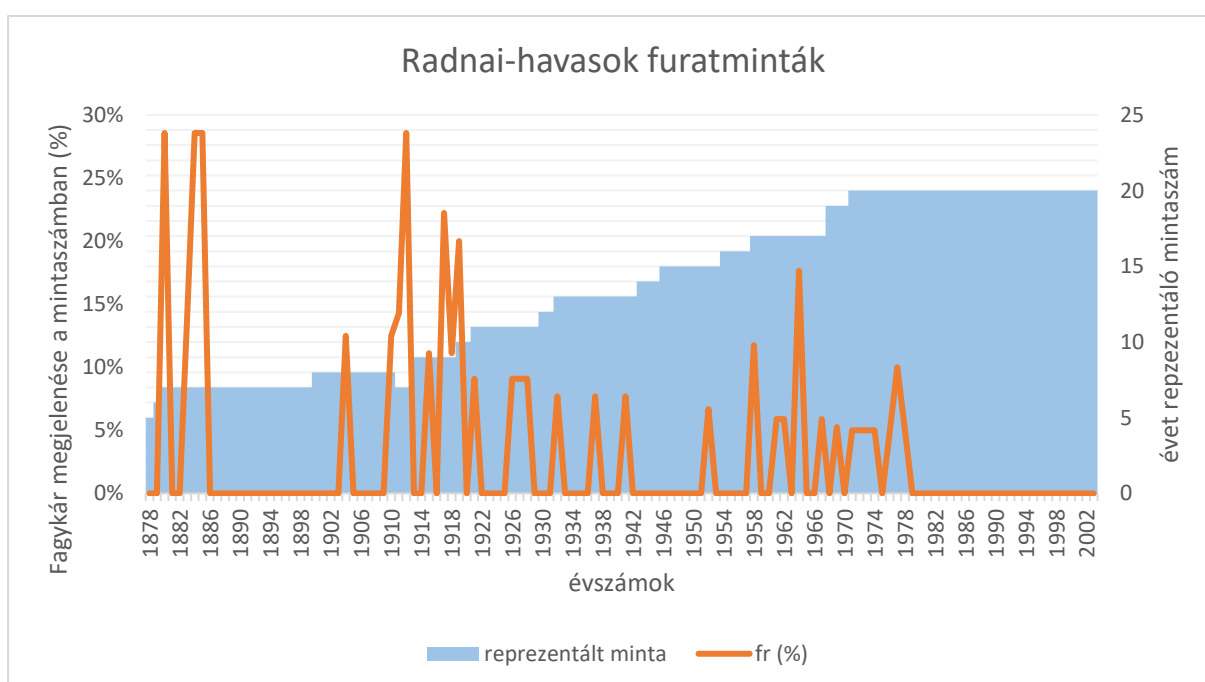


13. ábra: Radnai-havasok, Mosolygó-tó területéről származó furatminták éves reprezentálása, fagykárak mintához viszonyított arányát ábrázoló diagram. A kék oszlopok a minták számát mutatják évenként, a sárga vonal a fagykárak arányát a mintaszámhoz viszonyítva évenként elosztva, százalékos értékben

A ZAN mintakódú korong mintáknál is elvégeztem az Excel-táblás folyamatot, valamint elkészítettem a diagrammot.



14. ábra: Radnai-havasok, Mosolygó-tó területéről származó korong minták éves reprezentálása, fagykárak mintához viszonyított arányát ábrázoló diagram, ahol a kék a minták számát mutatják évenként, a sárga vonal a fagykárak arányát a mintaszámhoz viszonyítva évenként elosztva, százalékos értékben



15. ábra: A Radnai- havasok, Lóhavas- vízesés és Mosolygó-tó területéről származó mindkét területet lefedő időintervallumra szűkített furatminták éves reprezentálása fagykárok mintához viszonyított arányát ábrázoló diagram, ahol a kék a minták számát mutatják évenként, a sárga vonal a fagykárok arányát a mintaszámhoz viszonyítva évenként elosztva százalékos értékben

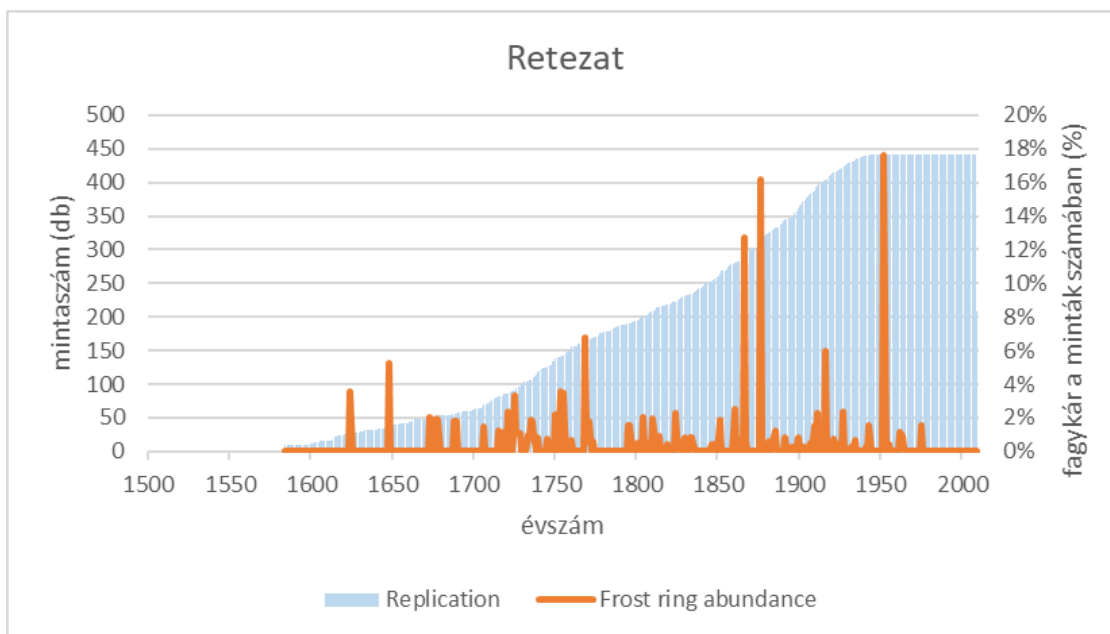
Az diagramon jól kirajzolódnak azok az évek, amelyekben megtalálható volt fagykár. A diagram elemzése közben figyelembe vettem, hogy melyik évet mennyi minta reprezentál, így csak azokat az éveket vettem figyelembe, amelyekről több mint 4 minta tanúskodik. Így az alábbiak mondhatók el a területről.

A legkorábbi fagyeseemény, amit a munka során egy a ZAN korongmintában sikerült detektálni (erről csak 2 minta tanúskodik), az 1552 -re tehető. A korongminták által reprezentált időszak kezdeti szakaszában, 47 db fagykár jelent meg, azonban a későbbi periódusban egyáltalán nem. Ez azonban nem jelenti, hogy ezeket a fákat nem érintette fagy, vagy a területen nem történt jelentős fagyeseemény. Kiemelkedő az 1885 -ös fagykár, mely a furatminták jelentős részében megjelent. Az 1800-1900-as években detektáltam a legtöbb fagykárt. Ebben a periódusban, mind a furatok, mind a korongmintákban detektáltam kárt. Ugyanennek az időszaknak a közepétől a végéig lelhető fel a legtöbb minta, így erről az időszakról származnak a legbiztosabb adatok. 1867. évi fagyeseemény megjelent a furatminták 2,8%-ában. Míg a 1870-71, 1880, 1885-86 évhez tartozó évgyűrűk több mint a felében jelen volt a kár. 1876-ban és 1912-ben a területet nagymértékű lehűlés, vagy fagypont körüli hőmérséklet sújthatta, mert a minták jelentős részében -77,7%, illetve 55,5%-ban- megjelent fagygyűrű.

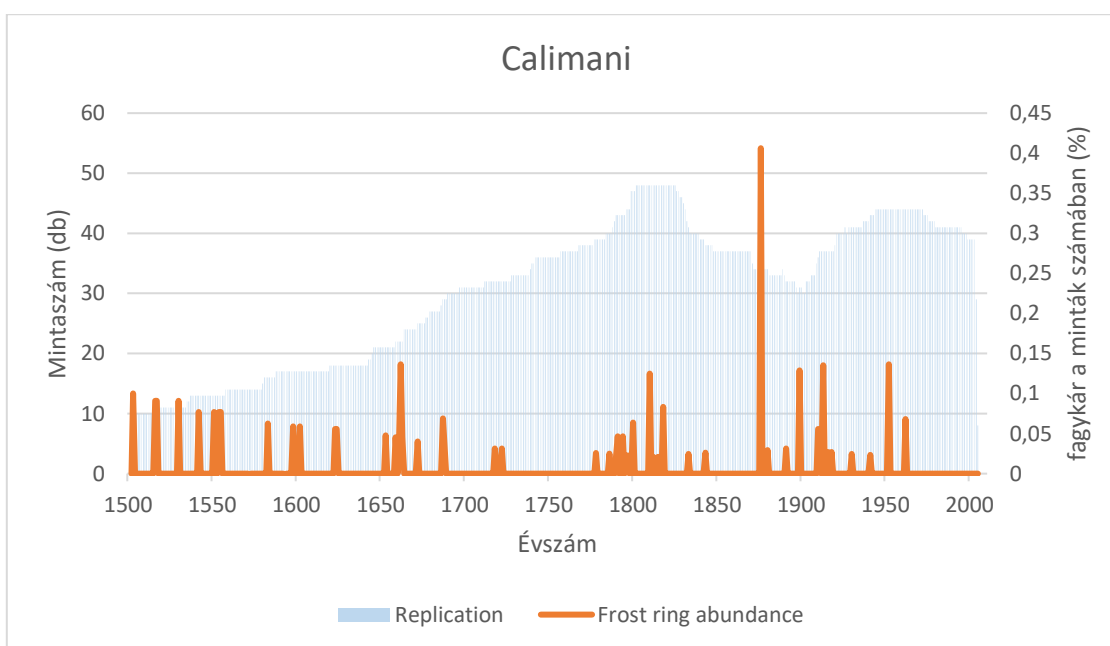
6. KÖVETKEZTETÉSEK

A Radnai-havasok mintáiból származó eredményeket összevetve a korábbi kutatások eredményeivel, az a megállapítás született, hogy az 1551-es ZAN mintakódú korongmintában fellelhető kár a Kelemen- havasok területén is megjelent. Az 1867. évi fagyeseemény, mely a mintaterületen jelentősebb volt, a Retyezát területéről származó minták csupán 1%-ában jelent meg, míg a Kelemen-havasok területén nem jelentek meg (6. és 7. ábra). Illetve 1952-es évhez tartozó fagygyűrű megjelent a Ló-havasi mintaterületről származó mintákban is, amely esemény a Retyezátban is nagy számban megjelent, viszont a Mosolygó-tó területén nem. Az 1876-os jellegzetes fagyeseemény, ami a Retyezát és a Kelemen-havasok régióját is nagymértékben érintette, a Radnai- havasok területén is megjelent. Ez alapján is elmondható, hogy ez a fagyeseemény nagyobb kiterjedésű lehetett, mert az évet lefedő 9db mintának a 78%-ban fellelhető volt, ez 7db mintát jelent.

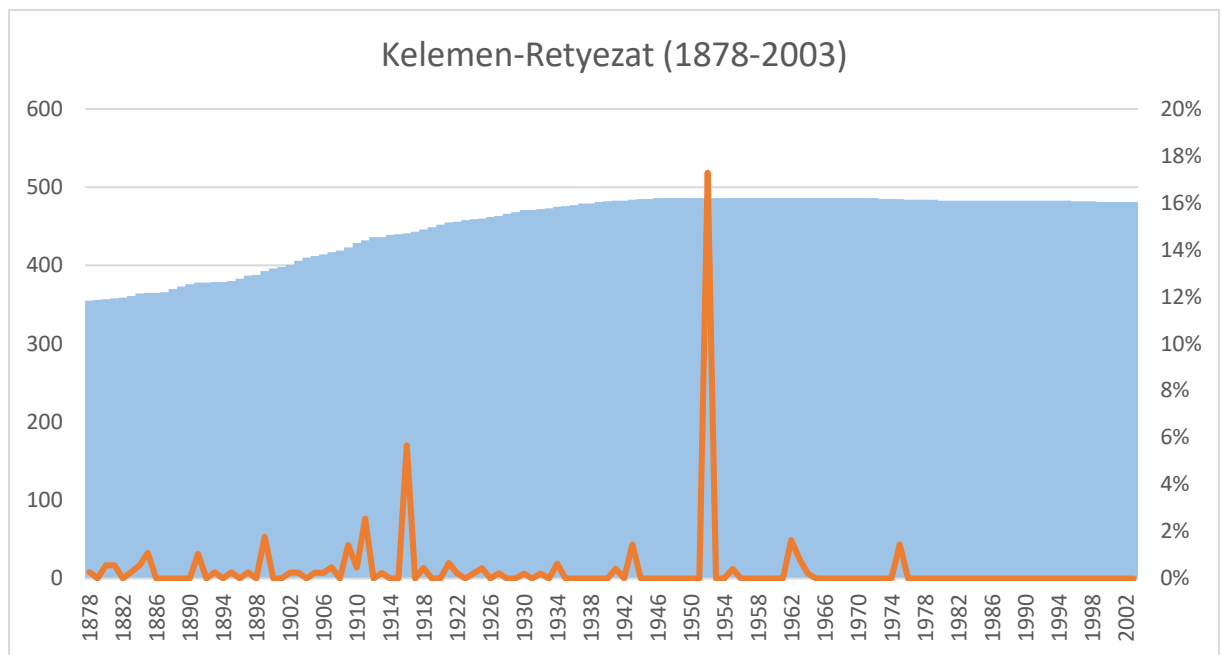
Megfigyelhető a mintaterületeket összevetve, hogy a fagyeseemények jelen voltak az elmúlt évszázadokban is, azonban az 1800-as évek közepétől valamennyi területről származó minták és a bennük megjelent fagykárok százalékos értéke alapján nagyobb kiugrások vannak jelen. Ebből adódóan elmondható, hogy az 1860-as évektől az 1950-es évekig a fagyeseemények nagyobb méretűek lehettek, illetve gyakoribban jelentek meg a területen. Erre az időszakra elmondható a három területet összevetve, hogy a nagyobb kiterjedésű fagyeseemények is gyakrabban mutatkoztak. Későbbi időszakokban azonban a fagyeseemények megjelenésének a gyakorisága csökken, ez a Mosolygó-tó területéről származó minták alapján a fák kora miatt lehetséges (KERN & POPA 2008), ezzel szemben a Ló-havasi vízesés és a Kelemen- havasok területéről származó minták között vannak olyan példányok, melyek koruknál fogva még fagyérzékenyebbek.



16. ábra: Retezát területéről származó minták éves reprezentálása, fagykárok mintához viszonyított arányát ábrázoló diagram, ahol a kék oszlopok a minták számát mutatják évenként, a sárga vonal a fagykárok arányát a mintaszámhoz viszonyítva évenként elosztva, százalékos értékben (Árvai M. & Kern Z.)



17. ábra: Kelemen- havasok területéről származó minták éves reprezentálása, fagykárok mintához viszonyított arányát ábrázoló diagram, ahol a kék oszlopok a minták számát mutatják évenként, a sárga vonal a fagykárok arányát a mintaszámhoz viszonyítva évenként elosztva, százalékos értékben (Kern Z. & Popa I. 2008)



18. ábra: Kelemen- havasok és a Retyezat területéről származó minták éves reprezentálása, fagykárok mintához viszonyított arányát ábrázoló szűkített időintervallumon ábrázolt diagram, ahol a kék oszlopok a minták számát mutatják évenként, a sárga vonal a fagykárok arányát a mintaszámhoz viszonyítva évenként elosztva százalékos értékben

7. TOVÁBBI KUTATÁSOK

További mintaterületek bevonása vagy a mintaterületről származó mintaszám bővítése mindenképpen célszerű lenne. Erre azért van szükség, hogy pontosabb képet kapjunk arról, hogy egyes korai fagyeseeményeknek mekkora és milyen mértékű lehet a területi kiterjedése, ehhez elengedhetetlen feltétel a kellő mintaszám, vagy kellő területi lefedettség. Ezzel pontosan meghatározható, hogy hány darab lokális kiterjedésű és hány darab regionális nagyságú fagyeseemény volt a múltba visszamenőleg. Illetve képet kaphatunk arról is, hogy az elmúlt évszázadokban ezen események milyen mértékben váltak gyakorivá.

A Radnai-havasok területéről származó és a dolgozatban tárgyalt furat-, illetve korong-mintákat és azok eredményeit, mindenképpen jól kiegészítené a Lála-völgy területéről származó holtfakorong minták –szám szerint 6 darab- elemzése, amely feltehetőleg hosszabb időszakot ölel fel, így további egyezések várhatók több kárpáti fagygyűrű kronológiával való összevetésben.

A kutatás jövőbeli irányvonala a meglévő eredmények meteorológiai kontextusba helyezése. Ehhez a fellelhető európai historikus napi adatbázisok raszteres grid-állományát kívánom használni (pl. Climate Explorer: climexp.knmi.nl). Az elérhető napi minimum hőmérséklet adatokkal való összevetésével esetlegesen feltárható az egyes 20. századi fagyeseemények pontosabb meteorológiai körülménye, valamint a fagyeseemény időszaka is tisztázható. Feltehetőleg ezek alapján akár meg lehet határozni, hogy melyek azok az események, amelyek fagy-kárt tudnak okozni. Hipotézisem szerint pontosítani lehet a fagyeseemények mértékét, kiterjedését, valamint jobb rálátást kapunk, hogy milyen mértékű fagy szükséges ahhoz, hogy a nyitvatermők faszervezetében az detektálható elváltozást okozzon. Ennek ismeretében pedig lehetőleg előre lehet jelezni, hogy az év adott szakaszában –növekedési periódus-, mikor számíthatunk fagykárookra. Ezzel a tudással pedig nem csak a természetben zajló folyamatokra kaphatunk pontosabb rálátást, de akár a gazdaság egyes területének a munkáját is tudjuk támogatni, hatékonyabbá tenni.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatom célkitűzése, hogy egy új területet vonjak be a kárpáti magashegyi területek dendrológiai kutatásába. A Radnai- havasok régiójából származó minták detektálásához a dendrokronológia módszerét alkalmaztam. A mintákat csiszolás után pontoztam, ez után az évgyűrű-szélességét LINTAB mérőasztal és sztereomikroszkóp segítségével lemértem. A feldolgozásához, kereszttegyezések kereséséhez és a kronológiaépítéshez a TSAPWin programot használtam. A mérés folyamán figyelembe vettem az öregedési trendet, a szinkron elvet és a történeti elvet. A korongminták mindegyikét legalább két sugár irány mentén mértem le, ennek szerepe volt a kronológiaépítésben, illetve a fagykárok keresésében is. Minden mintánál figyelembe vettem a fa korát, illetve az esetleges anyaghiányt is. A minták feldolgozásában utóbbi nehezítő tényező volt, valamint az is hogy a furatmintákat gyakran kézzel át kellett csiszolni, hogy a sejtszerkezet teljesen láthatóvá váljon.

Mérés során megállapítottam, hogy a minták fél évezredes távot ölelnek fel és a 20. század egészét lefedik.

A Lóhavas-vízesés (RAD mintakód) furatmintáiból elkészítettem a kronológiát. A teljes kronológia a 1878-2003-as időszávot öleli fel, valamint összesen 28 db mérést tartalmaz, ez nem tartalmazza a korongmintákat.

A Mosolygó- tó területéről származó minták kronológiája 1551-2007-es időintervallumot fed le.

A RAD és a ZAN mintakódú minták közül minden furat-, illetve korong mintában is találtam fagykárt. A területeket összevetve arra a következtetésre jutottam, hogy az 1976-os évhez mindkettő mintaterület tartalmaz kárt. A Ló-havas vízesés területéről származó minták 1912. évhez mutattak nagy százalékban fagyeseeményt, míg a Mosolygó-tó furatmintái 1867-hez kiugró fagykárt képviseltek. Nagyobb kiterjedésű egyezéseket (Retyezát és Kelemen-havasok) 1867-hez, 1876-hoz, illetve 1952. évhez lehet rendelni.

Jövőbeli terveim közé tartozik, hogy a területet a Lála-völgyből származó 6 darab korongmintával kiegészítsem, valamint a már meglévő eredményeket meteorológiai kontextusba helyezzem.

Munkámmal egy új kárpáti magashegyvidéki területtel bővült a faévgyűrű adatbázis, ezzel segítve a nagy kiterjedésű fagyok elterjedési területének a pontosítását és az egyes fagyeseemények elkülönítését abból a szempontból, hogy lokális vagy regionális fagyról volt-e szó.

9. IRODALOMJEGYZÉK

Internetes-hivatkozás:

I.H.1.: <https://www.faanyag.hu/>

I.H.2.: www.radnaihavasok.ro; 2022.11.28.

Butterfield, B. G., Meylan, B. A., Peszlen I. M., (1997): A fatest háromdimenziós szerkezete, Sopron, Hillebrand nyomda, pp.148

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 88 pp.230-250

Glerum, C., Farrar, J. L. (1966): Frost Ring Formation in the stems of some coniferous species. Canadian Journal of Botany, 44, pp. 879-886.

Gurskaya M., Moiseyev P., Wilmking M. (2016): Does slope exposure affect frost ring formation in *Picea obovata* growing at treeline in the Southern Urals? *Silva Fennica*, 50:3, pp. 1-19.

Grynaeus A., (2002): Dendrokronológiai kutatások és eredményei Magyarországon, *Földtani közlöny* 132, pp. 265-272.

Grynaeus, A., (2009): Dendrokronológiai kutatások Magyarországon – a Magyar Dendrokronológiai Laboratórium tevékenysége. Hantken Kiadó, Budapest

Grynaeus A, (2011): Dendrokronológia, *Régészeti kézikönyv* pp. 525-531

Hanterminov 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.

James H. Speer 2010: *Fundamentals of Tree-Ring Research*, Chapter 3: History of Dendrochronology. The University of Arizona Press, Tucson. 305 p.

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 et Lignaria Hungarica* Vol 3, pp.39-48.

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

Knorn, J., Kuemmerle, T., Radeloff, V. C., Szabo, A., Mindrescu, M., Keeton, W. S., Abrudan, I., Griffiths, P., Gancz, V., Hostert, P. (2012): Forest restitution and protected area effectiveness in post-socialist Romania. *Biological Conservation*, 146:1 204-212.

LaMarche, V. C. Jr., Hirschboeck, K. K. (1984): Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions. *Nature*, 307:5946, pp. 121-126

Oborny B., Zimmermann D. (2023): Advancing and retreating fronts in a changing climate: a percolation model of range shifts, *Ecography* Vol. 11, pp.1-13.

Réthy, A. (1998): Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1801-1900. [Meteorological events and calamities in Hungary between 1801–1900.] Vol. I. OMSZ, Budapest, 615 p. (in Hungarian)

Rita, A., Camarero, J.J., Colangelo, M., de Andrés, E.G., Pompa-Gracia, M. (2022): Wood Anatomical Traits Respond to Climate but More Individualistically as Compared to Radial Growth: Analyze Trees, Not Means, *Forests* 13:6

Salzer M.W., Hughes M. K. (2007): Bristlecone pine tree rings and volcanic eruptions over the last 5000 yr *Quaternary Research* 67. pp.57-68

Schweingruber, F.H., (1988) *Tree-rings: basics and applications of dendrochronology*. Kluwer, academic publisher, Dordrecht. pp. 276

Schweingruber, F. H., (1990): *Microscopic wood anatomy*, 226 p.

Schweingruber, F. H. 1996. *Tree rings and environment dendroecology*, Haupt, pp. 609

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.