

XXII. reál- és humántudományi Erdélyi Tudományos Diákköri Konferencia
(ETDK)
Kolozsvár, 2019 május 23-26

Miről árulkodnak a Rozsda-szakadék
peremén lévő fák évgyűrűi?

Szerző:

Chelaru Ramona

Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, Földrajz Kar, Földrajz szak, alapképzés III év

Szakirányítók:

dr. Gál Andrea, egyetemi adjunktus

Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, Földrajz Kar, Magyar Földrajzi Intézet

dr. Pop Olimpiu, egyetemi adjunktus

Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, Földrajz Kar, Természetföldrajzi Tanszék

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS	2
2.	ELMÉLETI ALAPVETÉS.....	2
2.1.	A KUTATÁSI TERÜLET: A ROZSDA-SZAKADÉK	2
2.2.	A DENDROKRONOLÓGIA FOGALMA.....	4
2.3.	A DENDROGEOMORFOLÓGIÁBAN HASZNÁLT FAJOK	6
2.4.	FATÖRZS- ÉS GYÖKÉRMINTÁK VIZSGÁLATA	7
3.	CÉLOK, MÓDSZEREK, ESZKÖZÖK	11
4.	EREDMÉNYEK.....	15
5.	KÖVETKEZTETÉSEK	23
6.	KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS	24
7.	BIBLIOGRÁFIA	25

1. Bevezetés

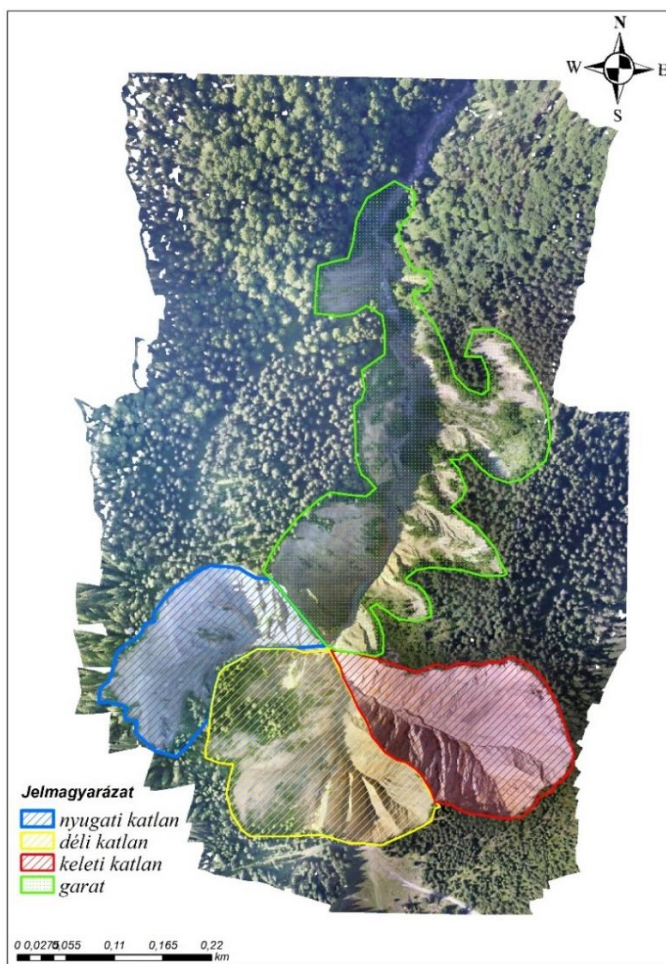
A vonalas erózió vizsgálatára nincs nemzetközileg meghatározva egy standardizált mérési technika, ezért sokféle kutatási módszert szoktak alkalmazni a folyamatok megértése és kimutatása céljából.

Karunkon 2014 óta kutatás folyik egy érdekes, vízerózió által kialakított területen, a Rozsda-szakadékban. Eleinte különböző korú térképeket összehasonlítva próbálták kimutatni a szakadék fejlődését, de ezeket az eredményeket a szerzők sem tartják megbízhatónak a térképek pontatlansága miatt (Imecs és társ., 2016). 2015-től a Cholnoky Jenő Szakkollégium Geomorfológia munkacsoportja kézi méréseket végez a területen. A szakadék szélétől nem túl nagy távolságra fákat jelöltek meg referencia pontnak, amit arra használtak fel, hogy más-más időben lemérjék a távolságot a fa és a szakadék között. 2017-től kezdődően egy drón segítségével elkezdtük éves gyakorisággal felmérni a területet úgy, hogy felvételeket készítettünk, amiből egy fotogrammetriai program segítségével egy-egy terepmodellt hoztunk létre. A vizsgálat célja a szakadékban végbemenő aktuális változások tettenérése rövid- és középtávon. A múltra visszatekintve viszont nem rendelkezünk olyan forrásokkal (nagy pontosságú ortofotók, LIDAR felvételek stb.), ahonnan megbízható pontosságú és részletes információkat nyerhetnénk a Rozsda-szakadék fejlődésének kimutatására. Ennek a hiánynak a pótlására léteznek dendrokronológiai módszerek, amelyek a fák évgyűrűjében megjelenő változások segítségével képesek a geomorfológiai jelenségek éves pontosságú kormeghatározására. Bár torrensek és úgy általában vízmosási erózió kormeghatározására elég kevés tanulmány született és nincs egy általánosan elfogadott módszer, ami szerint a vízeróziós formák hátrálási rátáját ki lehet számolni (Vandekerckhove és társ., 2001), mi megkíséreltünk dendrogeomorfológiai eszközökkel arra a kérdésre választ kapni, hogy vajon mit tudnak elmondani nekünk a szakadék szélén élő fák, illetve, hogy a kapott információk összevethetőek-e a kézzel végzett mérésekkel.

2. Elméleti alapvetés

2.1. A kutatási terület: a Rozsda-szakadék

A Rozsda-szakadék, románul Groapa Ruginoasă, a Bihar-hegységben helyezkedik el, a Vértop-hágó közelében, a Țapu-csúcs (Bak-hát, 1476 m) és a La Mormiți-csúcs (1415 m) között. Ez a 20 hektáron elterülő látványosság valójában a Száraz-patak völgyében létrejött torrens, más néven záporpatak, amit három fő vízgyűjtő katlan táplál időszakosan.



1. ábra: A Rozsda-szakadék részei

Vendl (1953) szerint a torrensek időszakos vízmosások, de az különbözteti meg a többi időszakos vízmosástól, hogy magasabb hegységekben jönnek létre és főleg nagyobb kavicsokat, törmeléket, illetve kisebb tömböket szállítanak. A vízmosásos erózió a vonalas erózió legfejlettebb formája, valójában már völgykezdeményeknek számítanak (Borsy, 1993). Az összegyűlt vizet egy vízmosáshálózatba alakítja, amely állandóan mélyül, terjeszkedik és meredek falú, több méter mély domborzati formát hoz létre, amit a magyar szakirodalom többek között szakadéknak is nevez. Nagy esőzésekkor hirtelen árvizek alakulnak ki és óriási mértékű törmelékszállítással kell számolni (Borsy, 1993). A vízmosások meredek falain bekövetkeznek tömegmozgások, mint például a csuszamlás, omlás, folyás (Stefanovits, 1999). Ezek intenzitása sokszor függ a növényborítottság mértékétől és jellegétől. A torrens egyik befolyásoló tényezője a szakadékot körülvevő erdő. A hátrálás következtében a fák gyökerei közül kihull vagy kimosódik a talaj és kőzetanyag, ennek folytán egy üreg alakul ki. Mivel ezen a részen a fa alátámasztás nélkül marad, az üreg méretétől függően a fa megdől (általában a szakadék irányába) vagy bedől a szakadékba.



2. ábra: Alátámasztás nélkül maradt fák (a hátsón lehet látni a megdőlést a szakadék irányába)

A Rozsda-szakadék közettani összetétele elég változatos. A déli és nyugati katlanokat kvarchomokkő, kvarcos kavicskő, és vöröses agyagpala alkotja. A torrens keleti részénél széteső szerkezetű kvarchomokkő a jellemző. A garatban észak fele haladva megjelenik a magas földpáttartalmú kavics- és homokkő, majd újra fellelhető a kvarchomokkő és vöröses agyagpala és északon a kőzetlisztes márga és sötétszürke mészkő mellett egy nagyon keskeny sávban pedig megjelenik egy magmás intrúzió (Bordea et al., 1985 nyomán). Három törésvonalat is lehet azonosítani a Rozsda-szakadék területén.

Ezeknek és részben egy antropikus beavatkozásnak (egy régi bányához vezető út) köszönhetően indult be az időszakos vízfolyások által keltett erózió. Linc és Nedelcu (2009) azt feltételezik, hogy a mélyben megjelenő mészkő kioldódott, ezáltal a fölötte lévő homokkő aláásódott és beomlott. Ennek következtében a Száraz-patak egyre csak bővíti a vízgyűjtő területét, így már 2016-ban elérte a 680 m-es hosszúságot és 536 m-es szélességet (Imecs és társ., 2016).

2.2. A dendrokronológia fogalma

Shroder megfogalmazása szerint a dendrokronológia egy általános tudomány, amely a fás növényzet évgűrűinek vizsgálatával és a környezet információinak kinyerésével foglalkozik (Shroder, 1980, Vuia, 2006 nyomán).

Szisztematikus vizsgálata a XX. századfordulón egy csillagász, Andrew Ellicott Douglass által indult el 1901-ben, aki a faévgűrűkben kereste az összefüggést a naptevékenység ciklikussága és a klíma között. Napjainkig a dendrokronológia sokat fejlődött és különböző ágazatai alakultak ki (Vuia, 2006).

A **dendrogeomorfológiának** – amellyel a következőkben is foglalkozni fogunk – a feladata, hogy a domborzati formákon végbemenő geomorfológiai jelenségeket időhöz kösse. Ilyen például a csuszamlás, erózió, debris flow, kőlavina vagy a lavinák kimutatása.

A **dendroklimatológia** a jelen klímáját tanulmányozza és a múlt bélinek a rekonstruálására törekszik. Ez a leginkább kifejtett ág, amely a fa évgűrűivel foglalkozik.

A **dendroarcheológia** a famaradványokból számol vissza, hogy azt a bizonyos fát mikor vágták ki, szállították és dolgozták fel építmények megépítéséhez. Ez hozzásegít ahhoz, hogy ki tudjuk számolni mikor húztak fel egy bizonyos épületet.

A **dendroökológia** arra használja fel az évgűrűket, hogy megvizsgálja melyek azok a tényezők, amelyek negatívan érintik a Föld ökoszisztémáit. Például vizsgálni lehet a légszennyezés hatásait.

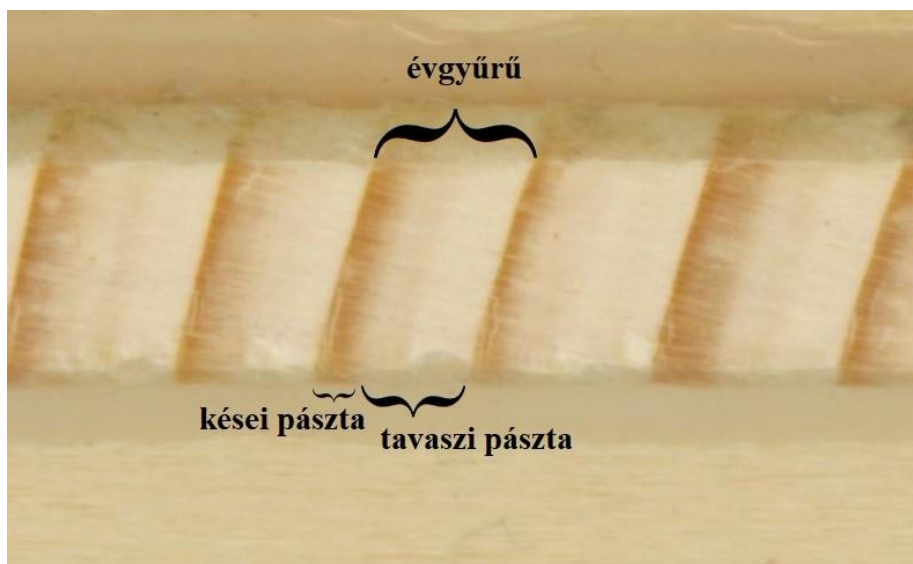
A **dendroglaciológia** a jégtáblák dinamikáját vizsgálja. Például egy morénán található fa évgűrűi elárulhatják nekünk, hogy azon a bizonyos helyen mikor húzódott vissza a jég.

A **dendrohidrológia** a folyóvölgyekben/medrekben idővel végbement változásokat vagy a tavak vízszintingadozásait mutatja ki.

A **dendropirocronológia** a múlt vagy jelenbeli erdőtüzek időbeliségét és vizsgálatát írja le. A fákon megjelenő sebhelyek az erdőtüzek mikorját és gyakoriságát árulja el.

A **dendroentológia** a múltbeli rovarpopulációkat helyezi el időben és vizsgálja. Azokat a rovarinváziókat képes elmondani, amelyek kárt okoztak az erdészeti közösségekben (Fritts, 1976; Shroder, 1980; Schweingruber, 1993; Popa, 2004; Grissino-Mayer, 2005, Vuia, 2006 nyomán).

A fás növények minden évben új évgűrűt növelnek, ha megfelelőek az éghajlati viszonyok. Ezt a minden évben újratermelődő, hánccs alatti szállítószövet teszi lehetővé, amely befele új fát, kifele pedig új hánccsot képez (Kiss, 2004). Mivel minden évben új gyűrű keletkezik, így minden új gyűrű kerülete egyre nagyobb. Minden évgűrűt két részre oszthatunk. Egy világosabb, tavasztól nyár végéig alakuló rész (tavaszi pászta), és egy sötétebb, amely nyár végén, ősszel alakul (kései pászta). Az első rész azért lesz világos, mert a kívülről érkező ingerek kedveznek a fának, míg a sötétebb részek azt mutatják, hogy a kinti idő már nem kedvez a szállítószövetekben végbemenő folyamatoknak.



3. ábra: Évgűrű részei (saját felvétel, LEICA DMS 1000 mikroszkóppal)

A gyűrűk vastagsága és jellege a fafajtól és a környezeti hatásoktól függ. Ilyen környezeti hatás az éghajlat, ezen belül a hőmérséklet és a csapadékmennyiség, különféle emberi tevékenységek, mint a műtrágyázás, levegőszennyezés, különböző tömegmozgások, természeti katasztrófák. A geomorfológiai stressz hatások közé, amelyek nyomot hagynak az évgűrűben, soroljuk az eróziót, kőfolyásokat, sárfolyásokat, lavínakat stb. Amennyiben a környezeti hatások nem kedveznek a fa fejlődésének, az évgűrűk elvékonyodnak vagy más típusú reakciót fognak kialakítani az évgűrűben.

2.3. A dendrogeomorfológiában használt fajok

Mivel nem minden fafaj tudja ugyanolyan jól lejegyezni az abban az évben történt változásokat, ezért olyan fajokat használnak dendrokronológiai vizsgálatokhoz, amelyek magas ökológiai (pl. hőmérsékleti, csapadékmennyiségi stb.) amplitúdóval rendelkeznek. Ez azt az értéktartományt foglalja magába, amiben egy adott faj, egyed képes növekedni, fejlődni. A legpontosabb eredmények elérése érdekében érdemes azokat a fákat felhasználni a kutatásunkban, amelyek annak a fafajnak az előfordulási területének a szélességi vagy magassági határán helyezkedik el (Vuia, 2006). Ezen a szélességi körön a viszonylag gyakran használt fajok közé tartozik a lucfenyő (*Picea abies*) és a közönséges jegenyefenyő (*Abies alba*) is.

A lucfenyő Romániában az erdei fenyő (*Pinus sylvestris*) mellett a legnagyobb ökológiai amplitúdóval rendelkező fafaj. Ezek a fajok a legérzékenyebbek a környezet változásaira (Vuia, 2006).



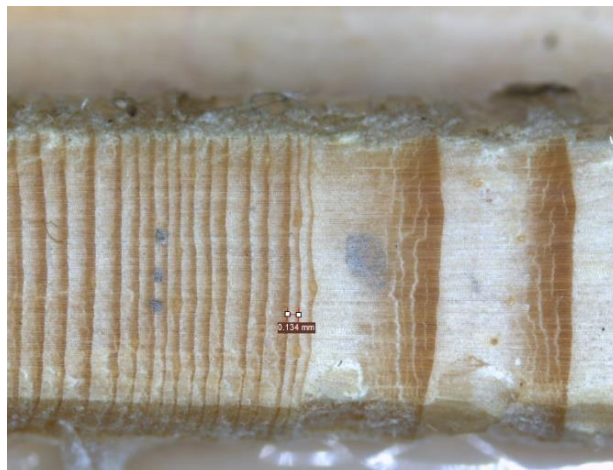
4. ábra: A vizsgált területen megjelenő lucfenyő (*Picea abies*)

2.4. Fatörzs- és gyökérminták vizsgálata

A dendrogeomorfológiai vizsgálatokban először mintát kell venni a fák törzséből (fúrómag vagy falemez) és/vagy gyökereiből (gyökérrész). Sejti szintű változások kimutatására nagyon vékony és nagyon éles pengékkel mintákat vesznek a fúrómagból vagy a már kivágott szeletekből, megfestik, majd nagy teljesítményű mikroszkóp alatt megvizsgálják a csatornában keletkező változásokat.

Ezeket a mintákat arra használják fel, hogy kimutassák a geomorfológiai jelenségek időbeni változásait. Vissza lehet mérni az évgűrűkből a múltban történt jelenségeket, de meg lehet jósolni azt is, hogy a jövőben lesz-e még hasonló jelenség a vizsgált területen. Ez úgy mutatkozik meg, hogy különböző események folytán elváltozások jelentkeznek az évgűrűkben. Ezeket az elváltozásokat **reakcióknak** nevezzük. Összefoglalva 4 típusú reakciót szoktak felhasználni a geomorfológiai stressz jelenségek kimutatására:

(1) elvékonyodás (GS – growth signal), ami arra utal, hogy a fa abban az évben nem jutott megfelelő mennyiségű tápanyaghoz (pl. a csapadék hiánya miatt). Abban az esetben beszélhetünk elvékonyodásról, ha egy évgűrűnek a szélessége legalább 50%-kal kisebb az előző évben növesztett évgűrűhöz viszonyítva. Olykor referenciaként az előző év helyett az eseményt megelőző 5 évben növesztett évgűrűk szélességének az átlagát is szokták alkalmazni;



5. ábra: elvékonyodás (GS – growth signal) (saját felvétel, LEICA DMS 1000 mikroszkóppal)

(2) nyomott fa (CW – compression wood), amit az alapján ismerünk fel, hogy az évgyűrű részben vagy teljesen elszíneződött. Ez a fa törzsének különböző külső okok miatti megdőlése által jelenik meg az évgyűrűben (pl. kúszás, alátámasztás elvesztése, egy oldalról érkező nyomás vagy szél). Ha keresztmetszetben vizsgáljuk, az elszíneződés (CW) mellett még észrevehetőek az egy irányba elnyúló évgyűrűk, az ellentétes oldalon pedig megjelenik az elvékonyodás (GS);



6. ábra: nyomott fa (CW – compression wood) (saját felvétel, LEICA DMS 1000 mikroszkóppal)

(3) sebhely (SC – scar), amely olyan esetben alakul ki, ha a fát egy nagyobb sérülés éri (pl. lavina esetén nekigurul egy kő), ami miatt megáll a sejtek képződése az érintett helyen. Ilyen esetben a fa kétoldalt próbálja körbenőni a sebhelyet (megnyújtja az évgyűrűit, míg ezek körbe nem érnek), hogy ne legyen fedetlen és sebezhető felülete (Stoffel et al., 2014);



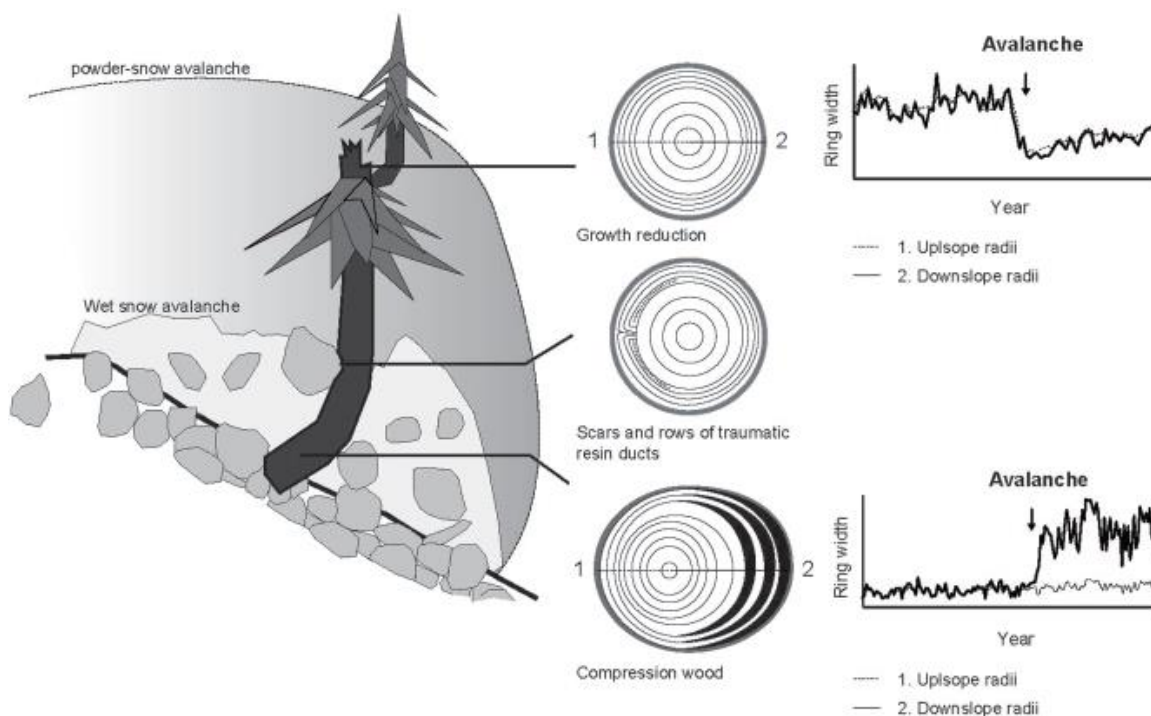
7. ábra: sebhely (SC – scar) (saját felvétel, LEICA DMS 1000 mikroszkóppal)

(4) trauma által okozott gyantajáratok (TRD- traumatic resin ducts), amelyek olyan esetben keletkeznek, ha a fát a vegetációs időszakban valamilyen sérülés éri. Ezeket a sérüléseket pár napon belül próbálja bevonni gyantával, hogy megóvja magát a rovaroktól, betegségektől.



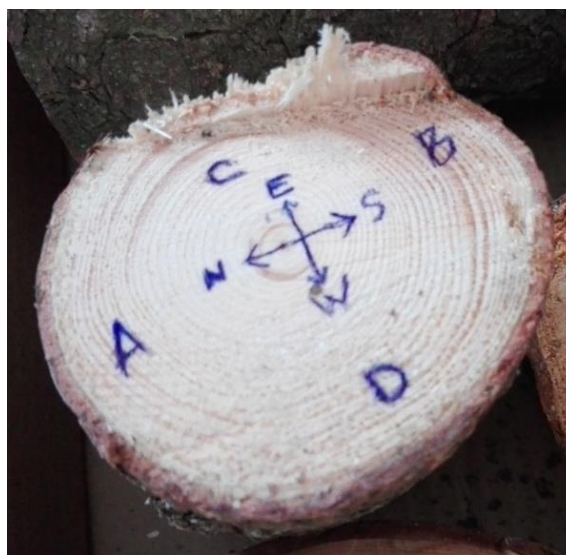
8. ábra: trauma által okozott gyantajáratok (TRD- traumatic resin ducts) (saját felvétel, LEICA DMS 1000 mikroszkóppal)

Ezeket a reakciókat nagyon jól lehet alkalmazni a lavinák vizsgálatára, ahol a múltban előfordult lavinák sebhelyeket (SC – scar) hagynak a fákon minden előfordulás alkalmával. Ha beazonosítjuk ezeknek a sebhelyeknek a keletkezési évét, ki tudjuk számolni visszamenőleg az előfordulás gyakoriságát, és előre lehet becsülni, hogy a jövőben mikor következhet be ehhez hasonló jelenség. Ugyanakkor az érintett fák helyzetét beazonosítva, le tudjuk határolni a lavina által veszélyeztetett területet is. Az érintett fákat úgy ismerhetjük fel, hogyha a lejtő irányába meg van hajolva a törzsük vagy a lejtő felső része irányába néző oldalán sebhelyeket látunk. A meghajlott törzsű fák mintáiban szépen elkülöníthetők az érintett évek évgűrűi, mivel a koncentrikus köröket felváltják a lejtő irányába elnyúlt – excentrikus – és ugyan ezen az oldalon elszíneződött – nyomott fa (CW – compression wood) – évgűrűk. Ellenkező oldalon az évgűrűk a nyomás vagy a nem megfelelő körülmények hatására elvékonyodnak (GS) (9. ábra).



9. ábra: Meghajlott törzsű fa évgűrűiben látható változások (reakciók) (Corona et al., 2013)

A fatörzsékből vett minták irányának beazonosítása érdekében minden irányt elneveztek az abc első négy betűjével. A lejtő alja fele néző részt D-vel jelölik, a vele ellentétes oldalt, vagyis a lejtő felső részébe nézőt C-vel, az A a D oldal irányából nézve bal oldalon, illetve a B a jobb oldalon helyezkedik el.



10. ábra: A fatörzsékekben a feldolgozásához használt irányok

A felszínre került gyökerek vizsgálata a dendrogeomorfológiában már az 1960-as években megkezdődött. Az eróziós folyamatok gyökerekből való visszaszámolást először LaMarche fejlesztette ki 1968-ban. Ahhoz, hogy szemléltetni tudjuk az erózió folyamatát, több szempontot is figyelembe kell vegyünk, például ilyen a kéreg vastagsága (Gärtner, 2006).

Azért jó gyökérmintákkal dolgozni, mivel míg a gyökerek a föld alatt helyezkednek el, addig másképp viselkednek, mint amikor felszín közelbe vagy a felszínre kerülnek. A felszín alatt gyökérgyűrűket növesztenek, de miután a felszínre kerültek, faévgyűrűt kezdenek el növelni maguknak. Ha sokszor rátámaszkodunk vagy rálépünk a gyökerekre, ezek megsérülnek, és regisztrálják ezt a gyűrűkben. A módszer gyenge pontja abban rejlik, hogy nem tudja megkülönböztetni, hogy az adott „seb” természeti vagy antropikus eredetű. Másrészt pedig, ha lemérjük a szakadék fölé kinyúló, alátámasztás nélkül maradt gyökerek hosszát, a gyökérgyűrűkből meg tudjuk állapítani, hogy melyik évben következett be a változás és hogy évente mekkora gyökérrész került ki a talajból. Ezt fel tudjuk használni a felszínforma hátrálásának a kiszámítására. Fontos megjegyezni, hogy a pontos hátrálási ráta kiszámításának érdekében a gyökérnek nagyjából merőleges kell lenni a szakadék peremére (Vandekerckhove és társ., 2001).

Sejti szintű változások kimutatására nagyon vékony és nagyon éles pengékkel mintákat vesznek a fűrőmagból vagy a már kivágott szeletekből, megfestik, majd nagy teljesítményű mikroszkóp alatt megvizsgálják a csatornában keletkező változásokat (Stokes and Smiley, 1968, Stoffel et al., 2014 nyomán).

3. Célok, módszerek, eszközök

Dolgozatunkkal elsősorban azt szeretnénk vizsgálni, hogy mennyire használhatók a dendrogeomorfológiai módszerek nagyon mély, meredek falú torrensek esetében.

Eredeti célunk az volt, hogy a Rozsda-szakadék szélén élő fák törzs- és gyökérgyűrűiből vett minták segítségével kiderítsük, hogy mennyit hátrált a szakadék széle az utóbbi években. Ez a tervünk már a mintavételezés pillanatában megghiúsult a fennálló veszélyek miatt.



11. ábra: A mintavételezés

Az omlékony kőzet és a lejtők nagy meredeksége miatt kevés szakadék fölé belógó gyökérmintát sikerült gyűjtenünk. Kevés olyan eset van, ahol sikerült fatörzs- és gyökérmintát is venni, valamint lemérni a szakadék fölé benyúló gyökér hosszát. A gyökér teljes hosszából és az évgyűrűkben beazonosított első reakció évéből ki tudtuk volna számolni az átlagos hátrálási rátát (pl. 2 méteres gyökér esetében, amiből jelen pillanatban 1 m lóg be a szakadék fölé, a 2000-ben regisztrált első reakcióból ki lehet számolni az átlagos hátrálást, ami a példa szerint $1\text{m}/18\text{ év} - 2018\text{-as bázisévhez képest}$).

Jelen dolgozatban azt kíséreljük meg kimutatni, hogy melyek azok az évek, amikor a legtöbb fa esetében mutathatók ki reakciók – tehát mikor hátrált a legintenzívebben a torrens – illetve, hogy azokban az évben, amikor a legtöbb fa eseményeket jegyzett le, hol következtek be ezek a változások a katlanokon belül.

Az utolsó évek adatait összehasonlítjuk a 2015 óta végzett kézi mérések eredményeivel annak érdekében, hogy megvizsgáljuk a módszer alkalmazhatóságát.

Céljaink elérése érdekében 2018 július végén a Cholnoky Jenő Szakkollégium diákjaival egy három napos mintavételezési- és mérési sorozatot végeztünk el a Rozsda-szakadéknál. A fák mintavételéhez erre kidolgozott fűröt és fűrész használtunk.



12. ábra: évgyűrű mintavevő és fűrész

A mintavételkor minden fának készítettünk egy adatlapot, am6in feltüntettük a fák számát, fajtát, magasságát, azt, hogy zártállásban – több fával körülvéve – vagy szabad állásban – különállóan – növekszik a fa, a törzs területét, különböző „zavarások” jellegét (pl. hogyha le van törve a fa csúcsa, el van dőlve vagy meg van hajolva a fa törzse egy irányba), a fa térbeli helyzetét (koordinátáit), a mintavétel jellegét (fúrás minta, falemez vagy gyökér) és magasságát, a fáról készült fényképek számát, egyéb megjegyzéseket és ha a helyzet megkívánta, egy rajzot

a fa különös alakjáról. A mintavételi fáinkat az alapján választottuk ki, hogy közel helyezkedjenek el a szakadék széléhez, a gyökereik kint legyenek a talajból, illetve a fa meg legyen dőlve vagy a törzse meg legyen hajolva lehetőleg a szakadék irányába. A fúrásmintákat a szakadék irányába vettük, vagyis a C oldalról a D irányába. A mintákat ezután a 6. ábrán látható házikészítésű tartókba raktuk, hogy könnyebb legyen a szállításuk.



13. ábra: Frissen vett fúrás minta és szállító eszköze

A minták feldolgozására a Természetföldrajzi Tanszék Geo-Dendrokronológiai laboratóriumában került sor. A fúrásmintákat figyelmesen beragasztottuk egy fából kialakított tartóba (8. ábra), majd ezek a falemezekkel együtt le lettek csiszolva különböző érdességű csiszolópapírral.



14. ábra: Fúrás minta a tartóban (saját felvétel, szkennelt)

A csiszolás után kezdődött a minták feldolgozása. A fa kérgétől számolt utolsó teljes évgyűrűtől azonosítottuk be az évgyűrűk korát. 10 évenként a kerek számokhoz (pl. 2010, 1990) tettünk ceruzával egy pontot, minden 50-ben végződő évhez (pl. 1950) kettőt és minden századfordulóhoz (pl. 2000) hármat. Ezekre azért volt szükség, mert a következő méréseknél így le tudtuk ellenőrizni saját magunkat és ha elakadtunk, könnyebb volt visszaszámolni a különböző évekig.

A számozás után a mintákat beszkeneltük és digitalizáltuk a Scientific TSAPWin és a Leica Application Suite (LAS) Core programok segítségével. A digitalizálás alatt azt értjük, hogy egy számítógépre csatlakoztatott LEICA DMS 1000 típusú mikroszkóp segítségével bejelöltük minden egyes minta összes évgűrűjének a vastagságát. Minden fúrásmintánál 2 irányból (C és D) végeztük a mérést, kivéve, ha az egyik oldal nem volt annyira megrongálódva, hogy ne tudjuk használni. A lemezeket mind a négy oldalról (A, B, C és D) mértük és vizsgáltuk. Minden bedigitalizált minta mellé a TSAPWin szoftver létrehozott egy diagrammot, amin leolvasható a különböző évgűrűk vastagsága. Annak érdekében, hogy kiküszöböljük azokat az évgűrűben regisztrált változásokat, amelyek időjárási eredetűek (pl. egy évben kedvezőtlen volt az időjárás az évgűrű fejlődésének, és emiatt keskeny vagy elszíneződött évgűrűt fejlesztett) referencia fákat is vizsgáltunk.

A következőkben ismét egy kézi mérés következett. Szabadszemmel vagy mikroszkóp segítségével megfigyeltük, hogy milyen elváltozások (reakciók) találhatók meg a mintákban. A gyűrűk elszíneződésének – nyomott fa jelenléte – illetve elvékonyodásának az éveit jegyeztük le. Ezzel egyidőben egy sablon segítségével felbecsültük azoknak a mintáknak az első évét, amelyeknek nem sikerült átfúrni a közepét. A sablon egy különböző nagyságú koncentrikus köröket ábrázoló fólia, amelyet a mintára helyezve a legjobban találó évgűrűsorozat alapján kiszámolható, hogy hol helyezkedik el a közepe, azaz pontosan hány éves lehet a vizsgált fa. Az előbb említett mérések adatai begépelése után egy képlet

$$I_t = \left(\sum_{i=1}^n R_t / \sum_{i=1}^n A_t \right) \times 100$$

segítségével kimutattuk az eseményes (reakciós) évek gyakoriságát (I_t). A képletben megjelenő „t” az eseményes éveket jelenti, az „R” azoknak a fáknek a számát jelöli, amelyekben az adott évben változást mutattak, az „A” pedig az abban az évben élő fák számát (Shroder, 1978). Ennek a képletnek a segítségével egy diagrammot generáltunk az eseményes évekről, amit az eredményeknél fejtünk ki bővebben.

A gyökerek esetében az eljárás más volt. Mivel nem állt rendelkezésünkre megfelelő felszerelés, ezért más módszerrel próbálkoztunk. Első sorban a gyökérdarabokat felszeleteltük kb. 5 cm vastagságúra, majd ezeket is lecsiszoltuk. Itt az évgűrűkben keletkezett gyantajaratok és sebhelyek keletkezési évét jegyeztük le.



15. ábra: Sebhely egy gyökérmintán (saját felvétel, LEICA DMS 1000 mikroszkóppal)

Sajnálatos módon a gyökerek „némasága” és néhány adat hiánya miatt ezeket a mintákat nem tudjuk felhasználni ennek a dolgozatnak a keretein belül. Egyetlen egy gyökérmintát tudtunk megvizsgálni, ami azt árulta el nekünk, hogy a mintát körbevevő talajrész milyen ütemben pusztult le a gyökérről. Az eredmények arra utalnak, hogy 1998, 1999, 2001, 2003, 2005, 2007, 2011, 2014 és 2017 években történt nagyobb mértékű talajpusztulás.

A kutatás alatt 69 mintát vettünk, amiből 53 fúrás minta, 9 falemez és 7 gyökérminta. Összesen 59 mintát tudtunk felhasználni. A legidősebb vizsgált fa 194 éves (1824-ből),



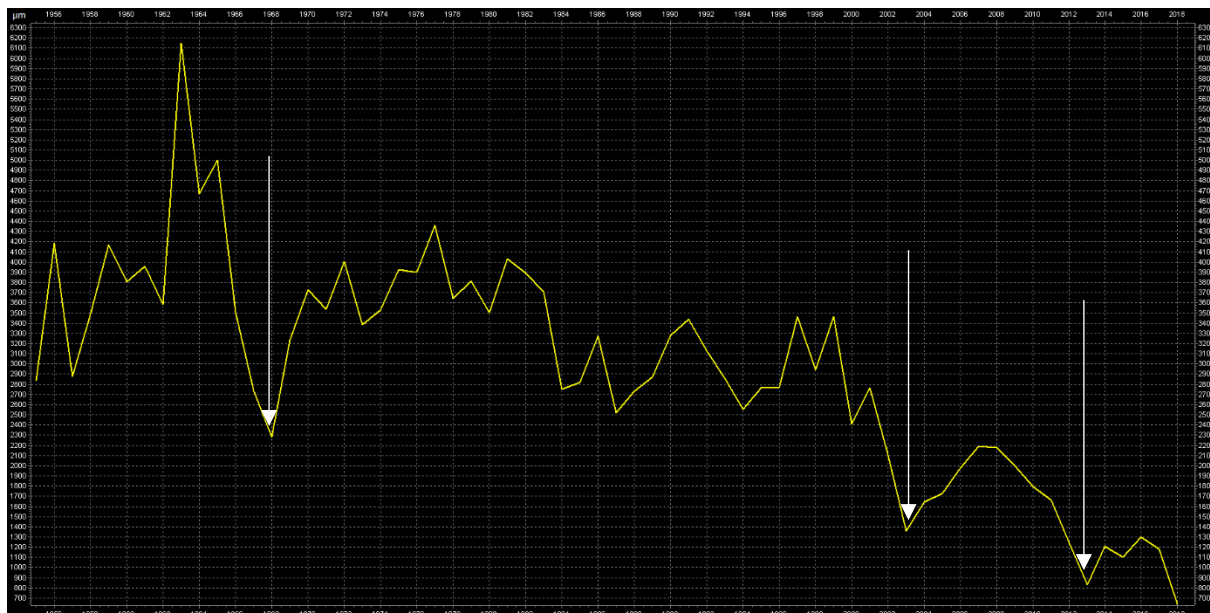
16. ábra: A legidősebb vizsgált fa fúrás mintájának A oldala (saját felvétel, szkennelt)

a legfiatalabb 23 (1996). A legtöbb minta lucfenyőből volt véve (*Picea abies*), ezen kívül pedig van néhány minta közönséges jegenyefenyőből (*Abies alba*). Ennek az az egyik oka, hogy ezek a fajok olyan tengerszint feletti magasságban és/vagy éghajlati körülmények között nőnek, amelyen a mi vizsgált területünk fekszik.

4. Eredmények

A Rozsda-szakadék peremén lévő fák megsínylik a torrens hátrálását, ami leginkább tömegmozgások és az időszakos vízfolyások hátravágódásával történik. Amint egy-egy ilyen esemény bekövetkezik, a peremen lévő fák gyökerei alól kihull a talaj, és ilyenkor a fa kevesebb tápanyagot és vizet tud felvenni, amit jelez az éppen fejlődő évgyűrűben.

A vizsgálatot a referencia mintákkal kezdtük, hogy tudjuk kiszűrni a teljes területre jellemző, pl. időjárási feltételek által kiváltott változásokat. A referencia mintáknál azt tanulmányoztuk, hogy melyek azok az évek, amikor az évgyűrűk szélessége 50 vagy közel 50%-os csökkenést mutat az előző 5 év átlagához képest.



17. ábra: Referenciafák átlagolt évgűrűszélessége

A TSAPWin szoftver segítségével generáltunk egy diagrammot, ami a referenciafák évgűrűszélességeinek az átlagát ábrázolja különböző évekre lebontva és főként az évgűrűk elvékonyodásának vizualizálására szolgál (nem megfelelő időjárási viszonyok). A hirtelen, nagymértékű elvékonyodás arra enged következtetni, hogy ezekben az években kedvezőtlenek voltak az időjárási feltételek. Annak érdekében, hogy mintáinkból kizárjuk az időjárási stresszt, a továbbiakban felhasznált adatok közül kivettük azokat az éveket, amikor a referenciafáknál megjelent a közel 50%-os évgűrűszélesség csökkenés. Ennek pontos kiszámítását az alábbi képlet segítségével végeztük el:

$$GS_{\text{Év } n+5}(\%) = (l_{\text{Év } n+5} \times 100) \div \frac{l_{\text{Év } n} + l_{\text{Év } n+1} + l_{\text{Év } n+2} + l_{\text{Év } n+3} + l_{\text{Év } n+4}}{5}$$

$GS_{\text{Év}}(\%)$ – az évgűrű szélességváltozása %-os arányban az előző 5 év átlagához képest;

$l_{\text{Év}}$ – az évgűrű szélessége μm -ben, n évben.

1. táblázat: Évgűrű szélességváltozása %-os arányban az előző 5 év átlagához képest

Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Földrajz Kar

Év	l(µm)	%		Év	l(µm)	%		Év	l(µm)	%
1955	2840	-		1976	3897	106		1997	3462	123
1956	4180	-		1977	4359	116		1998	2945	102
1957	2880	-		1978	3645	95		1999	3466	120
1958	3490	-		1979	3812	98		2000	2410	78
1959	4170	-		1980	3502	89		2001	2767	92
1960	3810	108		1981	4032	105		2002	2106	70
1961	3960	107		1982	3895	101		2003	1362	50
1962	3580	98		1983	3710	98		2004	1642	68
1963	6150	162		1984	2754	73		2005	1729	84
1964	4670	108		1985	2815	79		2006	1979	103
1965	5000	113		1986	3274	95		2007	2189	124
1966	3510	75		1987	2518	77		2008	2175	122
1967	2737	60		1988	2733	91		2009	1998	103
1968	2285	52		1989	2870	102		2010	1796	89
1969	3233	89		1990	3281	115		2011	1665	82
1970	3726	111		1991	3435	117		2012	1242	63
1971	3536	114		1992	3126	105		2013	830	47
1972	4005	129		1993	2860	93		2014	1210	80
1973	3383	101		1994	2552	82		2015	1102	82
1974	3527	99		1995	2765	91		2016	1302	108
1975	3924	108		1996	2770	94		2017	1183	104

l- évgűrű szélessége

A táblázatból kitűnik, hogy az 1968-as, 2003-as és a 2013-as éveket kell kizárni a vizsgálatból, hogy a helytelen értelmezést kiküszöböljük.

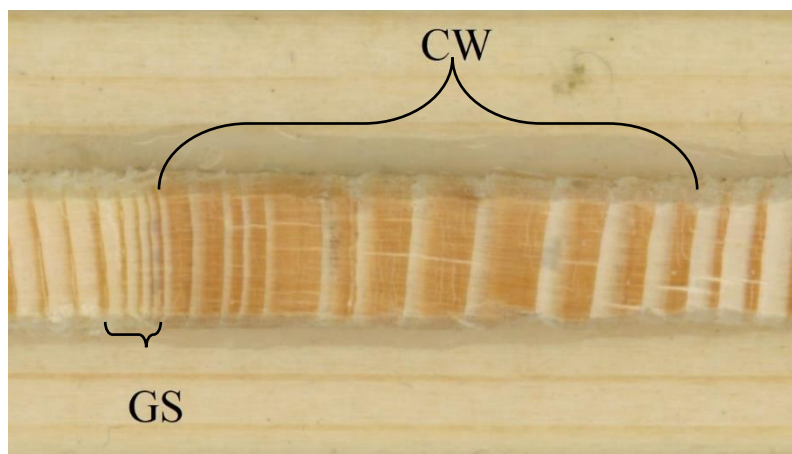
Bár a vizsgált fák jóval idősebbek, a kutatásban csak az 1950-es évekig mentünk vissza, mivel a fák gyökerei nem olyan hosszúak, hogy az ennél korábban megjelenő elváltozásokra mondassuk, hogy a gyökerek a perem széléreérésének a következményeképp jelentek volna meg.

Az évgűrűkben megfigyelt reakciókat egy táblázatban foglaltuk össze, ahol külön jeleztük a reakció típusát (CW vagy GS), illetve azt is, hogy hány évig érintette a fát az illető elváltozás.

2. táblázat: Kivágot az adatokat ábrázoló Excel táblázatból (a színek a reakció hosszát jelölik: sárga 1-3 év, narancssárga 3-5 év, piros >5 év)

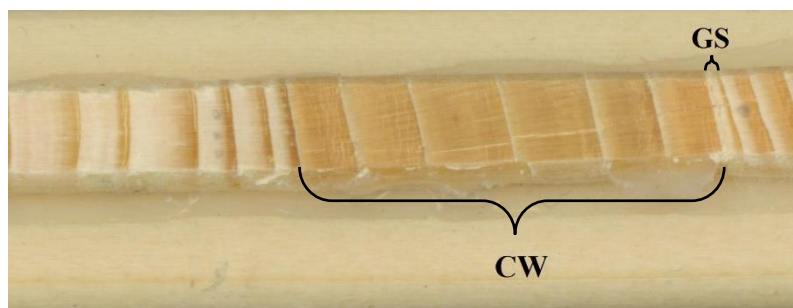
YEAR	Core 1		Core 2		Core 3		Core 4		Core 5		Core 6		Core 7	
	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D
2017														
2016		CW												
2015														
2014												CW		
2013														
2012					CW							CW		
2011														
2010													CW	
2009													GS	
2008														
2007														
2006						CW								
2005					CW									
2004														
2003					CW									
2002													GS	CW
2001														
2000									GS				GS	
1999														
1998														
1997														
1996														
1995					CW						CW		CW	
1994						GS								
1993														
1992														
1991								CW					CW	CW
1990														
1989					o	o	CW	CW						

A minták vizsgálata során két fánál figyelhetjük meg azt, hogy egy évben megjelentek elszíneződött gyűrűk (CW) és elvékonyodott gyűrűk (GS) is egyaránt. Három esetben figyeltük meg, hogy az elvékonyodás (GS) három évvel megelőzi az elszíneződést, ami arra engedett következtetni, hogy először a fa gyökere alól kihullott a talaj (csökkent a tápanyagellátás), három évvel később pedig annyira instabillá vált a fa a gyökér alól kihulló talaj és kőzetanyag miatt, hogy meg is dőlt a fa, ennek következtében elszíneződtek az évgűrűk.



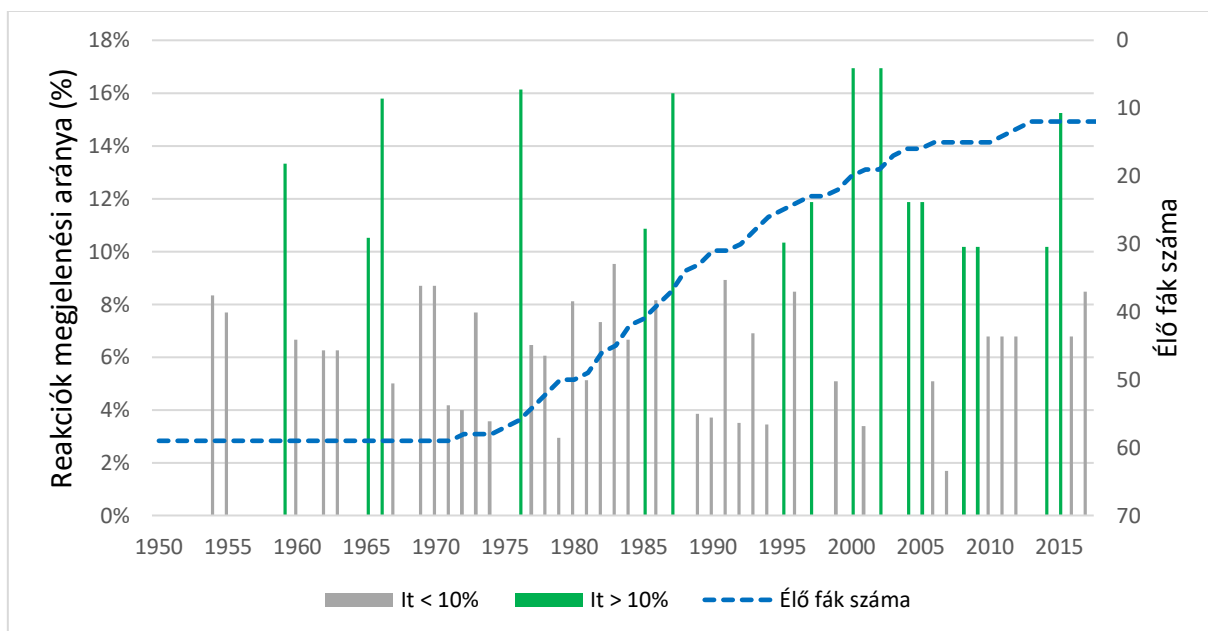
18. ábra: Elvékonyodást követő elszíneződés (saját felvétel, szkennelt)

Ennek ellentétéként három fában azt figyeltük meg, hogy az elszíneződések két évvel előzik meg az elvékonyodást, ami miatt arra gondoltunk, hogy ebben az időszakban a fa talajjal együtt dőlt meg és majd csak két évre rá kerültek a felszínre a gyökerek.

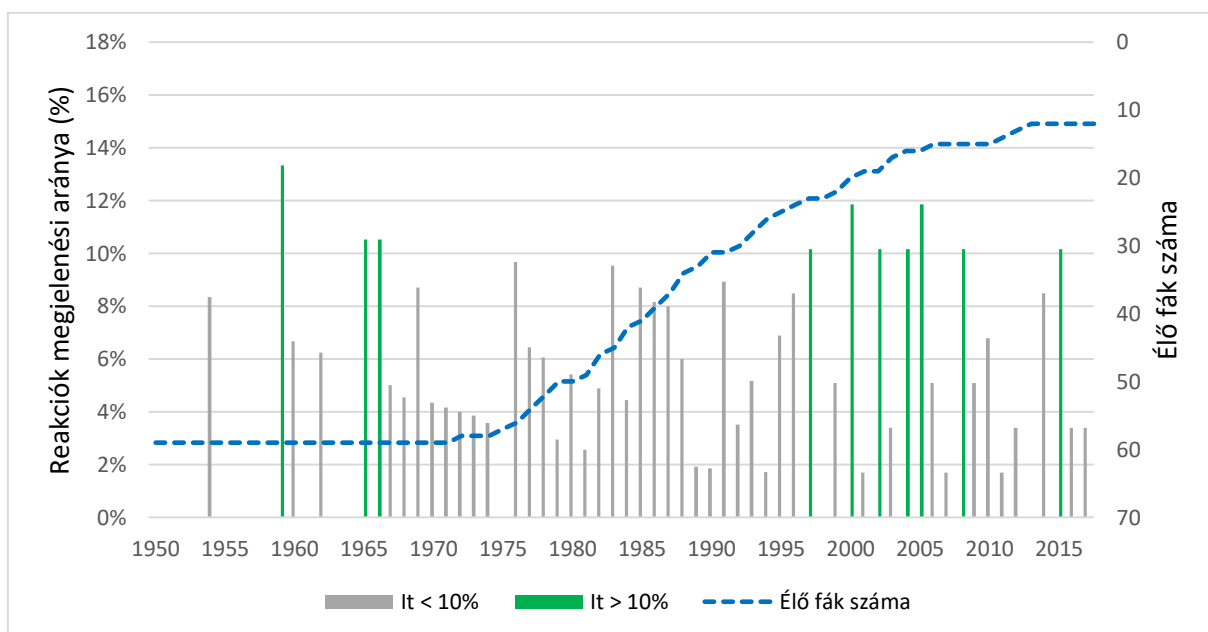


19. ábra: Elszíneződést követő elvékonyodás (saját felvétel, szkennelt)

A teljes munkafolyamat végeredményét a következő grafikonok foglalják össze. A grafikonokon az 1950 után élő fáknak megjelenő reakciókat látjuk összesítve, évekre bontva és a reakciók megjelenési arányát az egyes évekre az illető évben élő fák körében.



20. ábra: Az elvékonyodás (GS) és nyomott fa (CW) reakciók megjelenési arányát ábrázoló diagramm

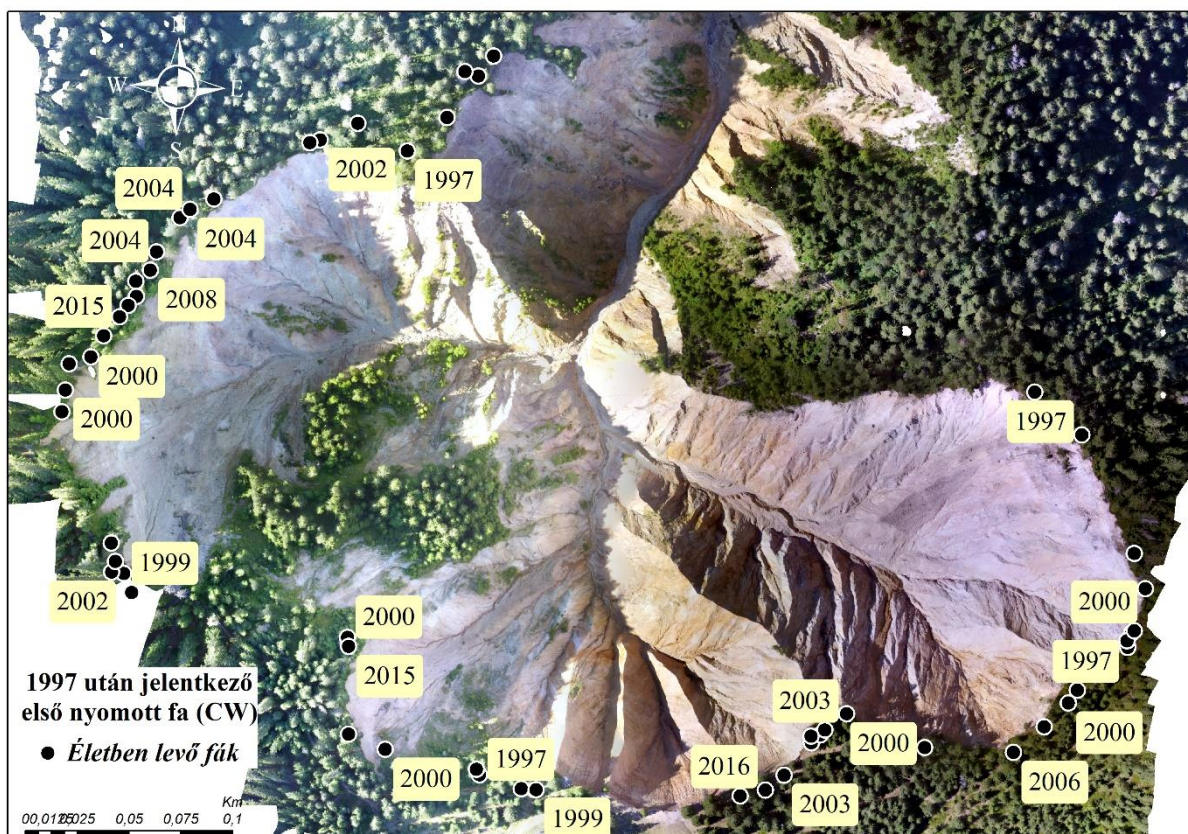


21. ábra: A nyomott fa (CW) reakciók megjelenési arányát ábrázoló diagramm

A 20. ábráról leolvashatjuk, hogy a 2015, 2014, 2009, 2008, 2005, 2004, 2002, 2000, 1997, 1995, 1987, 1985, 1976, 1966, 1965, 1959 évek esetében a vizsgált fák több mint 10%-a (pontosabban 10-20% között) utal valamilyen eseményre (évgyűrűk elvékonyodása -GS- és elszíneződése - CW), ami látható a fa évgyűrűjében. Ezek az események a fa életében bekövetkezett változásokra mutatnak rá. Amikor a fa gyökerének egy része a felszínre kerül nem tudja 100%-osan ellátni magát tápanyaggal és vízzel. Ilyenkor a növesztett évgyűrűk elvékonyodnak. Ameddig hozzászokik a fa a kisebb tápanyag- és vízellátáshoz, addig a következő években is megfigyelhetők az elvékonyodásra (GS) utaló gyűrűk.

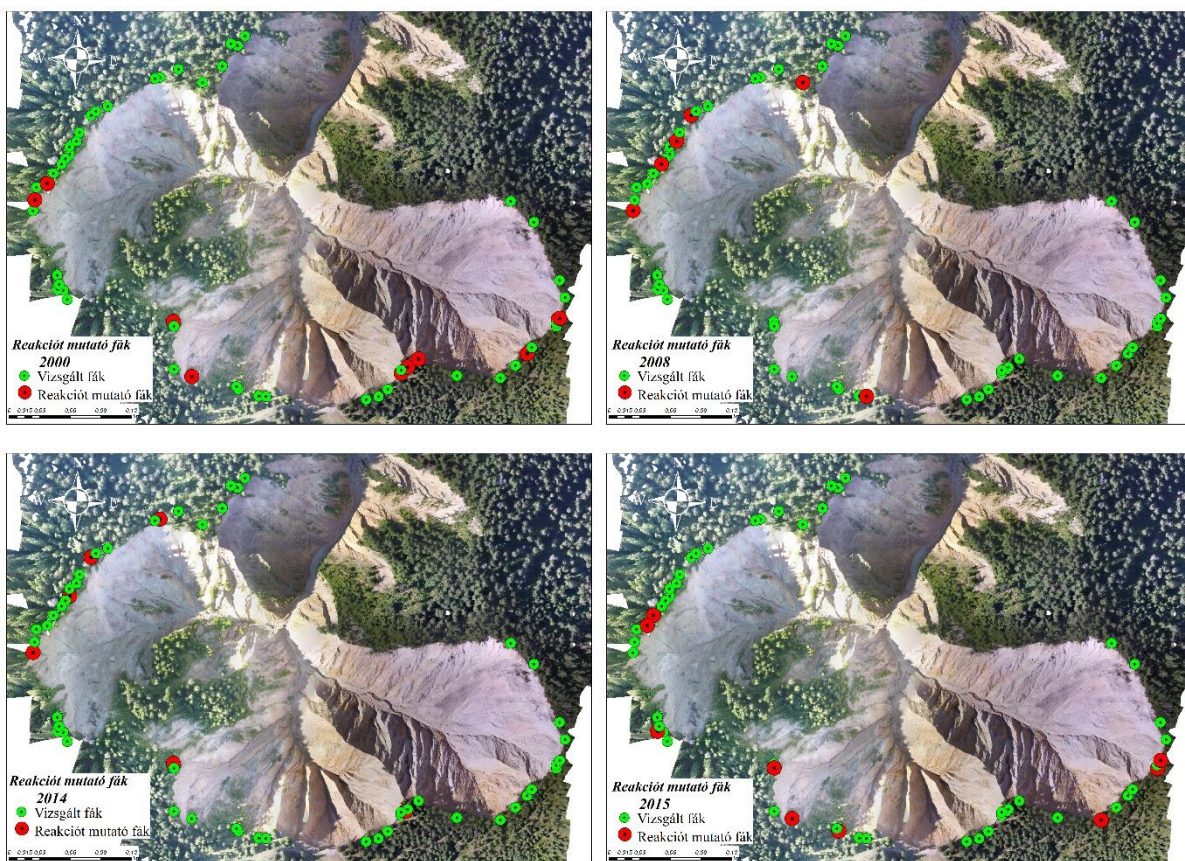
A 21. ábrán látható diagrammon csak a nyomott fa reakciókat (CW) jelenítettük meg, mivel ezek egyértelműen eldőlésre (stabilitás elvesztésére) utalnak. Bár a megdőlés oka nem olvasható ki egyértelműen, egyes jelenségek kizárhatók, ha megfigyeljük, hogy a fa hányadik életévében jelennek meg ezek a változások, egy mintán belül mennyit tart az elszíneződés és milyen helyzetben vannak a körülöttük élő fákhoz képest (zártállás vagy szabadállás). Ezen a diagrammon azt figyeltük meg, hogy 1997 utáni években, legtöbb esetben a fák több mint 10%-a jelez reakciót (CW). Ebből arra következtettünk, hogy ettől az évtől kezdődően az elváltozás amiatt következett be, hogy a torrens hátrálása elérte a vizsgált fát. Ezt figyelembe véve a 3-as táblázatban az 1997 előtti mintákban megjelenő reakciókról kisebb valószínűséggel mondhatjuk, hogy a hátrálás miatt jelentek meg. Ezt alátámasztja az a tény is, hogy 0,45 m/év hátrálási rátával (Imecs és társ., 2017) számolva az 1997 előtti időszakban a torrens pereme jóval bennebb helyezkedett el annál, hogy a gyökereket, illetve a fát magát érintse.

A 2. táblázat és a 21. ábra adatai alapján készítettünk egy olyan térképet, ahol minden minta esetében azok az 1997 utáni évek vannak feltüntetve, amikor az évgyűrűkben először jelentkezik egy határozott reakció, ami megdőlésre utal (CW). Így meghatározható, hogy egy-egy minta esetében, melyik évben történt az első olyan esemény a szakadék hátrálásában, ami a fa kibillenését okozta.



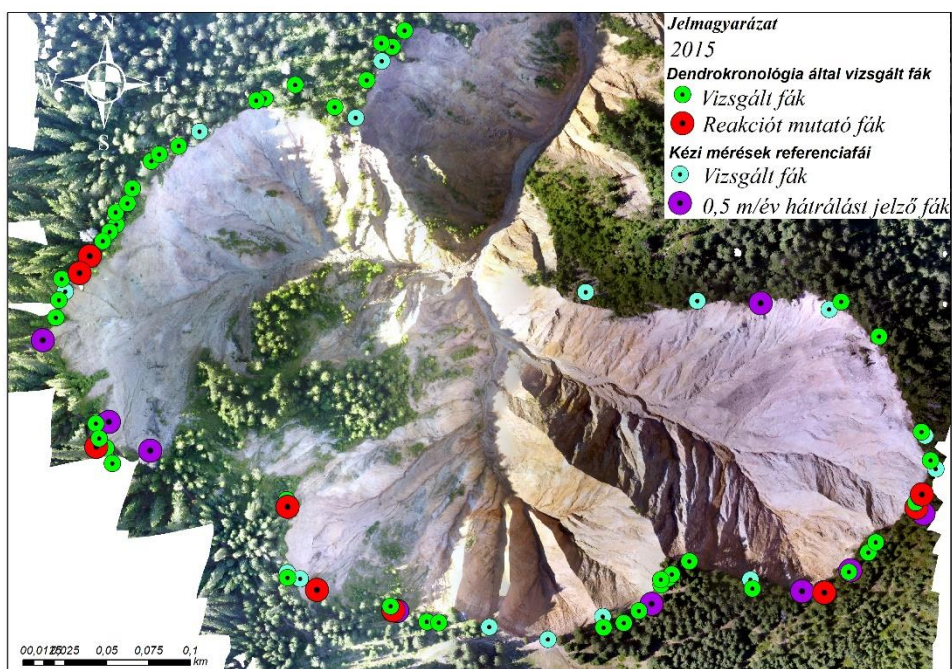
22. ábra: 1997 után első alkalommal lejegyzett nyomott fa

Az elvékonyodás (GS) és nyomott fa (CW) reakcióiból készült diagramm adataiból térképeket generáltunk az eseményekben leggazdagabb évekről és azokról is, amelyekben rendelkezésünkre álltak az előző években végzett kézi mérések adatai. Az első esetben generált térképeket az alapján vizsgáltuk, hogy az adott években hogyan helyezkednek el az érintett fák. Azt tanulmányoztuk, hogy kimutatható-e ezek között egy bizonyos térségre vagy katlanra való összpontosulás. Az eseményeket mutató fákat felhasználva azoknak az éveknek az adatait vizsgáltuk, amelyek a legtöbb reakciót mutató fával rendelkeznek (1997, 2000, 2002, 2014, 2015) és azt vettük észre, hogy az egyes években valamilyen szinten kimutatható az érintett fák egy-egy térségben való tömörülése. Ebből arra lehet következtetni, hogy a hátrálás intenzitása (akár évről-évre) katlanonként változott. Tehát, ha az egyik katlanban valahol beomlott egy rész, akkor ez a folyamat nem csak egy fát, hanem egy nagyobb területet érintett és több fa is megsínylette az omlás következményeit. Abban az esetben, ha egymás közelében lévő vizsgált fák mind reakciókat mutatnak, akkor valószínűleg egy nagyobb méretű eseményről lehet szó. Ezt figyelhetjük meg a 2000 és 2015-ös térképek esetében. Vannak olyan évek, amikor inkább az egyik katlanban (pl. 2008-ban és 2014-ben a nyugati katlanban) figyelhetők meg reakciók, vagyis értelmezésünk szerint hátrálás.

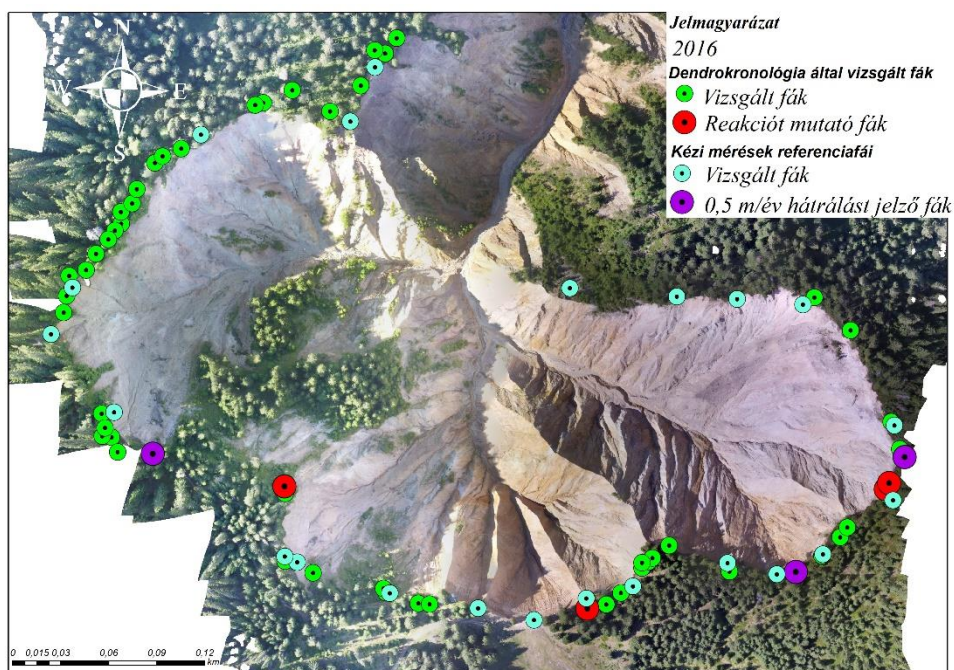


23. ábra: 2000, 2008, 2014 és 2015-ös években reakciót mutató fák

A 2015-ös és 2016-os éveket külön tanulmányoztuk, ugyanis ezekre az évekre rendelkezünk közvetlenül mért hátrálási ráta értékekkel. Azt vizsgáltuk, hogy azoknak a pontoknak a környezetében, ahol a hátrálás évente, több mint 0,5 m/év volt (tehát egy nagyobb esemény történhetett), megjelenik-e valami reakció a vizsgált fákban is.



24. ábra: A kézi mérések referenciafái és a dendrokronológiai módszerrel vizsgált fák elhelyezkedése 2015-ben



25. ábra: A kézi mérések referenciafái és a dendrokronológiai módszerrel vizsgált fák elhelyezkedése 2016-ban

Ennek eredményeként azt figyeltük meg, hogy a 2015-ös évben az erőteljesebb hátrálással rendelkező területeken négy esetben mutatható ki reakció. 2016-ban csak egy ilyen esetet találtunk, viszont ennek egyik oka, hogy a két különböző módszerrel vizsgált fák elhelyezkedése nem minden esetben fedt egymást.

5. Következtetések

A Rozsda-szakadék hátrálása a peremén lévő fák alatt beszakadt talaj és kőzetanyag beszakadásának ritmusa által követhető a legjobban. Amint egy-egy ilyen tömegmozgási esemény bekövetkezik, a peremen lévő fák gyökerei alól kihull a talaj, és ilyenkor a fa kevesebb tápanyaghoz és vízhez jut, emiatt jelennek meg reakciók az évgyűrűben.

A Rozsda-szakadék szélén élő fák képesek lejegyezni azokat a reakciós éveket gyűrűikben, amelyekben a fa gyökere elvesztette a talajborítást egy részen vagy megdőlt a torrens peremének hátrálása miatt. Ezekből arra következtettünk, hogy a torrens hátrálása elérte az általunk vizsgált fákat. Ha mindezeket térképen jelenítjük meg, ki tudjuk mutatni, hogy a torrens peremén, különböző helyeken mikor volt az első év, amikor a torrens hátrálása elérte a vizsgált fákat. Ha jövőben sikerül bemérni a perem és a gyökér közötti távolságokat is, akkor ki tudjuk számolni az átlagos hátrálást is.

Azt feltételezzük, hogy amikor a gyűrűkben elvékonyodás tapasztalható (GS), akkor maradt talajborítás nélkül a fa gyökere, amikor pedig a nyomott fa (CW) jelent meg, akkor már meg is dőlt a fa.

Ugyanakkor megfigyeltük azt is, hogy a hátrálás nem kizárólag pontszerű esemény, hanem nagyobb területre is kiterjed. A hátrálás egyes időszakokban nem terjed ki a torrens teljes területére, hanem katlanonként (vagy csak részenként) „vándorol”. Ez valószínűleg amiatt van így, mert, amint a hátrálás miatt egy fa (vagy más típusú növényzet) bedől a szakadékba, a perem növényborítás nélkül marad és emiatt felgyorsul a hátrálás addig, amíg eléri a még helyben álló növénytakarót, ami után lelassul a folyamat. Ezt valószínűleg követi az üregesedés és egy újabb beszakadás, amikor a perem egy része teljesen alátámasztás nélkül maradt.

Végkövetkeztetésül elmondhatjuk, hogy dendrogeomorfológiai módszer alkalmazható mély, meredek falú torrensek esetében is, viszont számolni kell a módszer korlátaival és a mintavételezéssel járó veszélyekkel. A dendrokronológia felszerelés mellett szükség van hozzá biztonsági felszerelésre is, na meg sok türelemre. Míg más geomorfológiai jelenségeknél (pl. lavina) nagyon pontos és egyértelmű következtetéseket tudunk levonni, a nagy területű, meredek falú, mély torrensek esetében ezt az időigényes eljárást akkor ajánljuk, ha éves pontosságú adatokra van szükségünk és nem rendelkezünk más, ennél egyszerűbb információs forrásokkal (pl. évente készített nagy felbontású ortofotók).

Jövőbeli tervünk, hogy a kutatásunkhoz a fák gyökereit is fel tudjuk használni, viszont már a mintavételezéskor világossá vált számunkra, hogy nem lehetséges megfelelő számú és minőségű mintát gyűjteni biztonsági felszerelés hiányában.

6. Köszönetnyilvánítás

Ez a dolgozat nem jöhetett volna létre a terepi munkában, az adatok feldolgozásban és a dolgozat megírásában kapott mérhetetlen segítség nélkül. Köszönettel tartozom Balla Emőkének, Benedek Emőkének, Gál Andreának, Ilona Juditnak, Imecs Zoltánnak, Lengyel Hunornak és Simó Orsolyának a terepen nyújtott segítségért, Antal Viviennek, Borbándi Zsuzsannának, Gál Andreának, Ilona Juditnak, Kacsó Péternek, Kanyó Szilárdnak, Pop Olimpiunak, Szabó Ákosnak, Tófalvi Timeának a laboratóriumi aprólékos munkáért és vezető tanárainknak a sok tudástért amit átadtak, illetve köszönöm a rengeteg türelmet és időt, amit a dolgozatra és rám fordítottak ennek megírása alatt.

7. Bibliográfia

- Bordea S., Bleahu M., Bordea J., Mantea GH., Cioflică G., Ştefan A., Popescu A., Marinescu Fl. (szerk.) (1985): 56 a Pietroasa, Harta geologică a României 1: 50000, Inst. Geol., Bucureşti
- Borsy Z. (szerk.) (1993): *Általános természetföldrajz* – Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp. 832. p.
- Corona C., Lopez Saez J., Stoffel M., Rovéra G., Edouard J.-L., Berger F. (2012): Seven centuries of avalanche activity at Echalp (Queyras massif, southern French Alps) as inferred from tree rings. *The Holocene*, vol. 23, issue 2, pp. 292–304.
- Gärtner H. (2006): *Tree roots - Methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes*, *Geomorphology* 86 (2007) 243-251
- Imecs Z.-F., Gál A., Simon B., Poszet Sz. (2016): *The Evolution of Groapa Ruginoasa Ravine Studied by GIS Technology*, *Geographia Napocensis*, Nr: 2, p. 7 - 18, ISSN: 1843-5920
- Kiss T. (2014): *Geomorfológiai vizsgálati módszerek*, JATEPress, Szeged, 2014
- Shroder, J. F. (1978) *Dendrogeomorphological analysis of mass movement*, Table Cliff Plateau, Utah. *Quaternary Research*, vol. 9, pp. 168-185
- Stefanovits P. (1999): *Talajtan*. 276-277 p
- Stoffel M., Corona C. (2014): *Dendroecological dating of geomorphic disturbance in trees*, *Tree-Ring Research*, Vol. 70(1), 2014, pp. 3–20
- Vandekerckhove L., MuysB., Poesen J., De Weerd B., Coppé N. (2000 vagy 2001?): *A method for dendrochronological assessment of medium-term gully erosion rates*, *Catena* 45 (2001) 123–161
- Vendl A. (1953): *Geológia*, 2. kiad., 1. kötet. Budapest, Tankönyvkiadó
- Vuia F. (2006): *Studii de dendrocronologie în datarea reliefului: Referat Ştiinţific*, Cluj-Napoca