

**UNIVERSITATEA „BABEȘ-BOLYAI”, CLUJ-NAPOCA**  
**FACULTATEA DE GEOGRAFIE**  
**ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOGRAFIE**

**TEZĂ DE DOCTORAT**  
**REZUMAT**

**RECONSTITUIREA ACTIVITĂȚII AVALANȘELOR DE ZĂPADĂ DIN**  
**MUNȚII PARÂNGULUI**

**Coordonator științific,**  
**prof. univ. dr. Dănuț PETREA**

**Student-doctorand,**  
**Flaviu MESEȘAN**

**2020**

## CUPRINS

|  |    |
|--|----|
| Cuprins .....  | 2  |
| Introducere .....  | 6  |
| 1. Individualitatea geografică a Munților Parângului.....  | 9  |
| 1.1. Așezarea geografică și limitele Munților Parângului .....   | 9  |
| 1.2. Trăsături geografice generale ale Munților Parângului .....   | 10 |
| 2. Cercetări anterioare asupra Munților Parângului și stadiul actual al cunoașterii avalanșelor de zăpadă prin intermediul metodei dendrogeomorfologice..... | 20 |
| 2.1. Studii și cercetări anterioare asupra Munților Parângului .....   | 20 |
| 2.2. Stadiul actual al cunoașterii avalanșelor de zăpadă cu ajutorul metodei dendrogeomorfologice .....  | 22 |
| 3. Caracteristicile culoarelor de avalanșă din Munții Parângului.....  | 25 |
| 3.1. Caracteristici generale ale culoarelor de avalanșă din Munții Parângului.....   | 25 |
| 3.2. Localizarea și caracteristicile arealelor selectate ca studii de caz .....  | 27 |
| 3.2.1. Culoarul de avalanșă din Valea Zăvoaie.....   | 27 |
| 3.2.2. Culoarul de avalanșă din Valea Scărița .....  | 31 |
| 3.2.3. Culoarul de avalanșă din Valea Romanul.....   | 36 |
| 3.2.4. Culoarul de avalanșă din Valea Mușet .....  | 41 |
| 4. Suporturi conceptuale și metodologice .....   | 45 |
| 4.1. Dendrocronologia – noțiuni de bază.....   | 45 |
| 4.2. Anomaliile de creștere utilizate în reconstituirea activității avalanșelor de zăpadă.....   | 47 |
| 4.2.1. Lemnul de reacție.....  | 47 |
| 4.2.2. Canalele rezinifere traumatice .....  | 50 |
| 4.2.3. Creșterea redusă.....   | 51 |
| 4.2.4. Creșterea exagerată .....   | 52 |
| 4.2.5. Cicatricile și țesutul calus .....  | 53 |
| 4.3. Apecte metodologice. Etapele reconstituirii dendrogeomorfologice .....  | 54 |
| 4.3.1. Etapa pregătitoare .....  | 54 |
| 4.3.2. Etapa de teren.....   | 55 |
| 4.3.2.1. Strategii de eșantionare.....   | 55 |
| 4.3.2.2. Proceduri de eșantionare a arborilor .....  | 58 |
| 4.3.2.3. Completarea fișei de observație.....  | 64 |
| 4.3.3. Etapa de laborator .....  | 66 |
| 4.3.3.1. Pregătirea probelor.....  | 66 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.3.3.2. Măsurarea lăţimii inelelor.....   | 68  |
| 4.3.3.3. Inventarierea și centralizarea anomaliilor de creștere.....   | 70  |
| 4.3.4. Etapa de sinteză .....  | 76  |
| 4.3.4.1. Calcularea indicilor activității avalanșelor de zăpadă.....   | 76  |
| 4.3.4.2. Criteriile utilizate pentru stabilirea anilor în care s-au produs avalanșe de zăpadă.....                                 | 78  |
| 4.3.5. Calcularea perioadei de revenire a avalanșelor.....   | 79  |
| 4.3.5.1. Calcularea perioadei de revenire cu ajutorul metodei clasice.....   | 80  |
| 4.3.5.2. O nouă metodă de calculare a perioadei de revenire .....  | 81  |
| 4.4. Reconstituirea extensiunii avalanșelor de zăpadă cu ajutorul teledetecției .....  | 84  |
| 4.4.1. Teledetecția – aspecte generale.....  | 84  |
| 4.4.2. Identificarea anomaliilor din arealele forestiere pe baza imaginilor satelitare .....                                       | 89  |
| 4.4.3. Utilizarea indicilor spectrali în identificarea anomaliilor din arealele forestiere .....                                   | 93  |
| 4.4.3.1. Indicele normalizat de incendiere (NBR) .....   | 93  |
| 4.4.3.2. Indicele normalizat de diferențiere a umidității (NDMI) .....   | 95  |
| 4.4.3.3. Indicele de stres la umiditate (MSI).....   | 95  |
| 4.4.3.4. Transformarea Tasseled cap și indicele de afecțiune (DI).....   | 97  |
| 4.4.4. Procedura de lucru .....  | 99  |
| 4.4.5. Evaluarea corelației obținute între variațiile indicilor spectrali și locația arborilor afectați de avalanșa din 1986 ..... | 102 |
| 4.5. Reconstituirea condițiilor meteorologice asociate cu declanșarea avalanșelor de zăpadă .....                                  | 102 |
| 5. Rezultate obținute.....   | 107 |
| 5.1. Rezultatele reconstituirii dendrogeomorfologice .....   | 107 |
| 5.1.1. Reconstituirea activității avalanșelor de zăpadă în culoarul Zăvoaie .....  | 108 |
| 5.1.2. Reconstituirea activității avalanșelor de zăpadă în culoarul Scărița.....   | 115 |
| 5.1.3. Reconstituirea activității avalanșelor de zăpadă în culoarul Romanul .....  | 123 |
| 5.1.4. Reconstituirea activității avalanșelor de zăpadă în culoarul Mușet .....  | 133 |
| 5.1.5. Reconstituirea regională a activității avalanșelor de zăpadă .....  | 138 |
| 5.1.6. Evaluarea corelațiilor între AAI, Wit, altitudine și distanța parcursă de avalanșe .....                                    | 140 |
| 5.2. Avantajele și limitele noii metode pentru calcularea perioadelor de revenire .....  | 146 |
| 5.3. Rezultatele reconstituirii arealelor afectate de avalanșe cu ajutorul teledetecției .....                                     | 152 |
| 5.4. Condițiile meteorologice necesare pentru declanșarea avalanșelor de zăpadă.....   | 170 |
| Concluzii .....  | 173 |
| Bibliografie .....   | 177 |
| Lista figurilor .....  | 195 |

|  |      |
|--|------|
| Lista tabelor.....   | 200  |
| Anexa 1 Codul sursă pentru funcțiile utilizate la centralizarea anomaliilor de creștere.....                           | 201  |
| Anexa 2 Codul sursă pentru calculul numărului de avalanșe corespunzător fiecărui pixel al unui culoar de avalanșă..... | 208  |
| Anexa 3 Extensiunea spațială minimă a avalanșelor de zăpadă reconstituite în culoarul Zăvoaie                          | 210  |
| Anexa 4 Extensiunea spațială minimă a avalanșelor de zăpadă reconstituite în culoarul Scărița                          | .212 |
| Anexa 5 Extensiunea spațială minimă a avalanșelor de zăpadă reconstituite în culoarul Romanul.....                     | 215  |
| Anexa 6 Extensiunea spațială minimă a avalanșelor de zăpadă reconstituite în culoarul Mușet ...                        | 217  |

## **CUVINTE CHEIE**

- Dendrogeomorfologie
- Avalanșe de zăpadă
- Munții Parângului,
- Teledetecție,
- SIG

## INTRODUCERE

Lucrarea de față își propune analiza manifestării temporale și spațiale a avalanșelor de zăpadă care au avut loc în trecut în Munții Parângului. Deoarece în acest areal, activitatea avalanșelor de zăpadă nu este monitorizată, inelele anuale de creștere ale arborilor constituie una din cele mai importante surse de date privitoare la aceste procese geomorfologice.

Scopul general al acestei lucrări este analiza manifestării temporale și spațiale a avalanșelor de zăpadă din trecut, produse pe suprafața Munților Parângului. Acesta se va materializa prin următoarele obiective:

1. Identificarea frecvenței, extensiunii spațiale și a perioadei de revenire a avalanșelor de zăpadă pentru fiecare culoar de avalanșă ales ca studiu de caz
2. Identificarea extensiunii spațiale a avalanșelor de zăpadă într-o iarnă cu ajutorul unor imagini satelitare
3. Identificarea condițiilor meteorologice necesare declanșării avalanșelor de zăpadă

Elementele originale prezente în cadrul acestui studiu sunt prezentate în continuare. (i) A fost dezvoltată o nouă procedură de centralizare a anomaliilor de creștere prezente în arborii eșantionați prin aplicarea unor formule personalizate, implementate în aplicația Microsoft Excel. (ii) A fost propus un algoritm nou, automat, pentru calcularea perioadei de revenire a avalanșelor de zăpadă într-un culoar de avalanșă utilizând locația și anomaliile de creștere înregistrate de arborii eșantionați. (iii) A fost realizată o corelație între anomaliile de creștere ale arborilor eșantionați datorate avalanșelor de zăpadă și imagini satelitare. S-a demonstrat faptul că ambele seturi de date pot surprinde impactul avalanșelor de zăpadă. (iv) Cu ajutorul unei analize statistice a fost determinat un set de condiții meteorologice necesar pentru declanșarea avalanșelor de zăpadă majore în Munții Parângului.

Doresc să mulțumesc administratorilor Sitului Parâng ROSCI 0188, pentru acordul de a eșantiona arborii. De asemenea mulțumesc domnilor lector dr. Olimpiu Pop, conf. dr. Iulian Holobacă pentru inițierea și suportul oferite în obținerea și analiza datelor utilizate în cadrul acestei lucrări. Le mulțumesc pe această cale colegilor de la de la Laboratorul de Dendrocronologie al Facultății de Geografie din cadrul UBB, dar și tatălui meu pentru disponibilitatea de a mă însoți pe teren, ajutorul și opiniile împărtășite.

Și nu în ultimul rând, vreau să îmi exprim recunoștința față de domnul profesor dr. Dănuț Petrea pentru încrederea acordată în acești ani, pentru răbdarea, încurajarea, sfaturile și ideile oferite pe parcursul realizării studiului de față.

# 1. INDIVIDUALITATEA GEOGRAFICĂ A MUNȚILOR PARÂNGULUI

## 1.1. Localizarea Munților Parângului

Munții Parângului fac parte din Carpații Meridionali, în cadrul cărora o grupă montană le poartă numele: Grupa Munților Parângului, cuprinsă între Valea Oltului și Valea Jiului. În această grupă, Munții Parângului formează un nod orohidrografic situat în partea sud-vestică (Fig. 1).

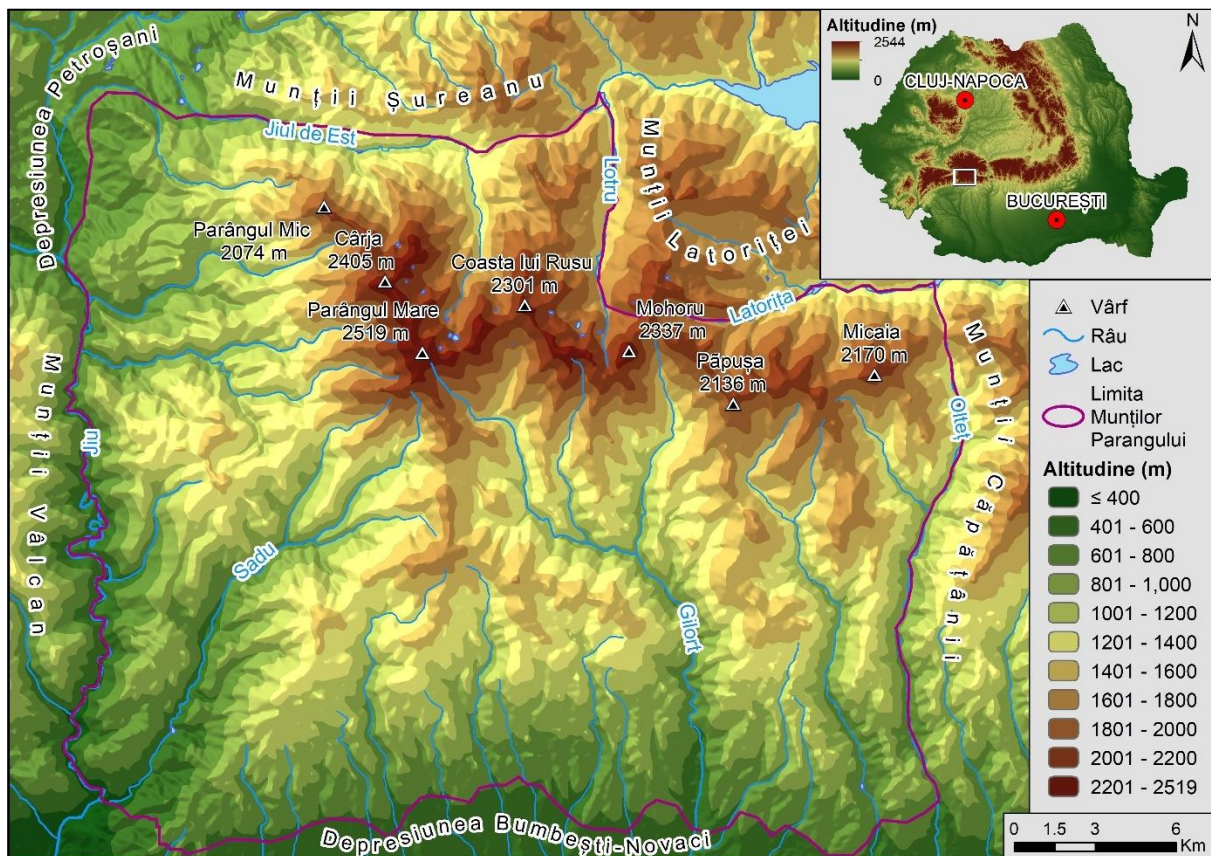


Fig. 1 Localizarea și limitele Munților Parângului

Suprafața Munților Parângului este de 795 km<sup>2</sup> din care mai puțin de 150 km<sup>2</sup> se găsesc la altitudini de peste 1600 metri. În interiorul acestei suprafețe se găsesc zonele de desprindere ale tuturor culoarelor de avalanșă din această unitate montană. Din suprafața totală a acestor munți aproximativ 37 km<sup>2</sup> se găsesc la altitudini de peste 2000 m.

## 1.2. Trăsături geografice generale ale Munților Parângului

Munții Parângului constituie cel mai înalt masiv din grupa montană omonimă a Carpaților Meridionali. Axa nord-sud a acestei unități montane are o lungime de circa 33 km, iar axa est-vest de circa 32 km (Bud, 2008)

Datorită substratului format din roci dure, relieful Munților Parângului se caracterizează prin masivitate, altitudini ridicate (reprezintă a doua cea mai înaltă grupă montană din România după Munții Făgăraș), existența formelor de relief relict (suprafețe de eroziune, relief glaciar) foarte bine conservate, prezența unei morfologii glaciare tipice (văi și culmi glaciare), prezența unei culmi continue cu altitudini de peste 2000 m (Bud, 2008), culmi greoaie, rotunjite, separate de văi adânci. Aspectul general Munților Parângului este cel de piramidă în trepte cu o culme centrală de forma literei „L” (Badea et al., 2001).

Cel mai înalt sector al Munților Parângului, cu altitudini de peste 2200 m, formează o fâșie de-a lungul crestei principale între vârfurile Cârja și Mohoru. Din ea se desprind spre nord și spre sud culmi secundare între care uneori se intercalează circuri glaciare (Iancu, 1970).

Culmea principală a Munților Parângului prezintă un profil transversal asimetric, cu pante mai accentuate spre nord. Observați dinspre sud, acești munți au aspectul unor culmi monotone, bine împădurite. În schimb, observați dinspre nord, aceștia au un aspect „aproape alpin”. Datorită asimetriei culmii, cele mai mari circuri glaciare sunt amplasate pe versantul nordic (Dragu et al., 1987).

Principalele tipuri genetice de relief prezente în cadrul treptei alpine a Munților Parângului sunt relieful glaciar, periglaciuar și eolian. Relieful glaciar este format în urma acțiunii ghețarilor și a zăpezii. Principalele forme de eroziune rezultate sunt circurile și văile glaciare iar principalele forme acumulative sunt morenele, depozitele fluvio-glaciare, rocile lustruite, câmpurile de blocuri, etc. (Coteț, 1973). În prezent, aceste forme de relief sunt relicte și sunt modelate de alte procese geomorfologice (Iancu, 1970). Reliefului periglaciuar s-a format în exteriorul arealelor afectate de glaciațiune. În cadrul lui se remarcă forme precum ghețarii de pietre, râurile de pietre, solurile poligonale, etc. În cadrul reliefului eolian, se remarcă acțiunea vântului de modelare a marilor erozionali și de acumulare a zăpezii.

În Munții Parângului, suprafața terenurilor cu potențial de producere a avalanșelor de zăpadă este de 49.9 km<sup>2</sup>, reprezentând 6.8% din suprafața masivului. Cea mai mare parte a acestei suprafețe este localizată pe versantul sudic. Elementele antropice prezente în acest areal constau în poteci turistice, stâne și șoseaua Transalpina (Săndulache, 2009). Principalele complexe glaciare identificate în cadrul Munților Parângului pot fi observate în Fig. 2.

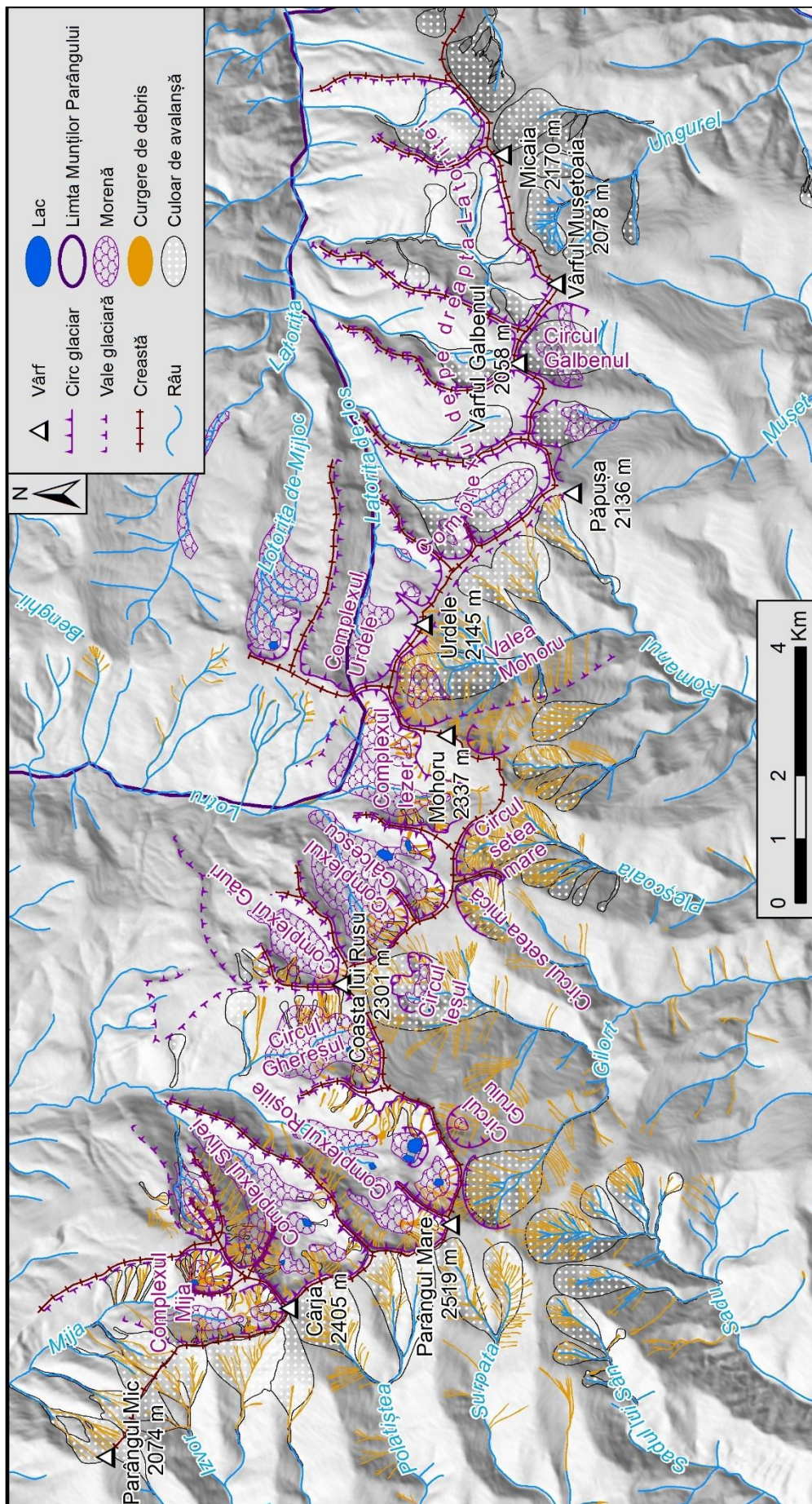


Fig. 2 Zona alpină a Munților Parângului – schița geomorfologică



## 2. CERCETĂRI ANTERIOARE ASUPRA MUNȚILOR PARÂNGULUI ȘI STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII AVALANȘELOR DE ZĂPADĂ PRIN INTERMEDIUL METODEI DENDROGEOMORFOLOGICE

Primele cercetări științifice având ca obiect de studiu Munții Parângului datează de la sfârșitul secolului al XIX-lea și constituie investigații ale acestui areal realizate din punct de vedere geologic. Debutul cunoașterii geografice a Munților Parângului se datorează geografului Emmanuel de Martonne care le-a acordat o importanță semnificativă în teza sa de doctorat dedicată „Alpilor Transilvaniei” (Martonne, 1907). Ulterior, studii în Munții Parângului au fost elaborate de de I. Ichim, Gh. Niculescu, dar și de alți cercetători precum colectivul Facultății de Geografie din cadrul Universității de Vest din Timișoara.

Până în prezent, Munții Parângului au constituit arealul de studiu a trei lucrări de doctorat. Prima a fost susținută de Silvia Iancu în 1970, fiind intitulată „*Masivul Parâng. Studiu de geomorfologie*”. Următoarele două au fost susținute în anul 2009, fiind elaborate de Cătălina Săndulache („*Hazarde și riscuri naturale în Munții Parâng*”) și Maria Bud („*Ecoturismul în grupa montană Parâng*”).

Inițiatorul dendrocronologiei este Andrew Ellicott Douglass (1867-1962), cercetător la observatorul astronomic din Flagstaff – Arizona. El a observat similitudini între lățimile inelelor arborilor identificate chiar și între arbori situați la distanțe mari unii de alții, punând bazele principiului interdatării (Cook și Kairiukstis, 1992). Primele aplicații ale acestui principiu au fost efectuate în arheologie, la datarea unor ruine aztece (Douglas, 1921).

O contribuție semnificativă pentru începuturile dendrogeomorfologiei a constituit lucrarea *Dendrochronological interpretation of geomorphic processes*, publicată de finlandezul Jurko Alestalo (1971). Tot în această lucrare este folosit pentru prima dată termenul de „dendrogeomorfologie”.

În prezent, în România, studii în domeniu sunt efectuate în cadrul laboratoarelor de dendrocronologie ale Universității de Vest (Timișoara), Universității „Ștefan cel Mare” (Suceava), Universității din București (București), Institutului de Cercetare a Lemnului (Câmpulung Moldovenesc) și Universității „Transilvania” (Brașov). În cadrul Facultății de Geografie a Universității „Babeș-Bolyai” din Cluj-Napoca se efectuează studii dendrocronologice în Laboratorul de Dendrogeomorfologie ce funcționează în cadrul Centrului de Cercetare a Riscurilor și Hazardelor Geografice.

### 3. CARACTERISTICILE CULOARELOR DE AVALANȘĂ DIN MUNȚII PARÂNGULUI

O trăsătură morfologică specifică culoarelor de avalanșă din Munții Parângului este dezvoltarea lor într-un sector de vale îngust, care limitează extinderea laterală a avalanșelor de zăpadă. Versații laterali ai culoarului sunt tot mai abrupti pe măsură ce distanța față de creastă crește. Nici în zona de acumulare, nici în restul culoarului nu a fost identificat un con vizibil format prin acumularea sedimentelor transportate de avalanșele de zăpadă (Pop et al., 2016).

Culoarul de avalanșă din Valea Zăvoaie este localizat în extremitatea nord-vestică a crestei Munților Parângului, la nord-est față de Vârful Parângul Mic (2074 m), în Valea Zăvoaie, afluent de stânga al Văii Mija. Acesta s-a dezvoltat pe o vale glaciară incipientă (Fig. 3). Altitudinea maximă în cadrul culoarului este de aproximativ 2070 m, în apropierea Vârfului Parângul Mic. Altitudinea minimă este de aproximativ 1100 m și se înregistrează la confluența Văii Zăvoaie cu Valea Mija. Lungimea aproximativă a culoarului este de 2.2 km, iar suprafața este de 0.56 km<sup>2</sup>.

Al doilea culoar de avalanșă este situat tot în extremitatea nord-vestică a Munților Parângului, pe versantul sud-vestic al Vârfului Parângul Mic, în Valea Scărița, afluent al Văii Izvorul care se varsă în Jiu, în sectorul de defileu (Fig. 3). Altitudinea maximă înregistrată în cadrul acestui culoar de avalanșă este de 2070 m, în apropierea Vârfului Parângul Mic. Altitudinea minimă din acest culoar este de aproximativ 1570 m. Lungimea aproximativă a culoarului este de 1 km, iar suprafața este de 0.2 km<sup>2</sup>.

În apropierea acestui culoar de avalanșă se găsește domeniul schiabil Parâng, care include 11.5 km de piste de schi și 8 telescaune. Un proiect de extindere a acestui domeniu schiabil este în curs de implementare de către Consiliul Local Petroșani. Acest proiect presupune, printre altele, amenajarea a încă 11 piste și prelungirea unei pârtii existente, cu o lungime totală de 12.66 km, a încă 2 telescaune care vor ajunge până în Vârful Parângul Mic (2074 m), precum și a unei telegondole care va pleca din Petroșani și va ajunge până în domeniul schiabil, în zona Slima.

Al treilea culoar de avalanșă analizat în cadrul studiului de față este localizat în partea centrală a Munților Parângului, tot pe partea sudică a crestei principale, la sud-vest față de Vârful Păpușa (2135 m). Acest culoar s-a dezvoltat între două ramificații secundare ale crestei principale a Munților Parângului, pe un versant lateral al unei foste văi glaciare. Valea pe care s-a dezvoltat culoarul face parte din bazinul hidrografic superior al râului Romanul (Fig. 3),

afluent de dreapta al Gilortului. Altitudinea maximă înregistrată în cadrul acestui culoar de avalanșă este de aproximativ 2100 m. Altitudinea minimă din acest culoar este de aproximativ 1350 m. Lungimea aproximativă a culoarului este de 1.6 km, iar suprafața este de 0.5 km<sup>2</sup>.

Șoseaua Transalpina, care în prezent încă are statutul de drum în construcție, traversează zona de desprindere a culoarului de avalanșă analizat. Cu toate acestea, până în prezent nu au fost implementate măsuri de protecție a drumului împotriva avalanșelor de zăpadă.

Al patrulea culoar de avalanșă este localizat tot în zona centrală a Munților Parângului, pe versantul sudic, la sud-est față de vârful Păpușa. Culoarul acoperă un circ glaciatic incipient și sectorul superior al unei văi glaciare incipiente. Aceasta face parte din bazinul superior al Văii Mușet, care este afluent indirect al râului Gilort. Altitudinea maximă înregistrată în cadrul acestui culoar este de circa 2100 m. Altitudinea minimă în cadrul acestui culoar este de aproximativ 1650 m. Lungimea culoarului este de aproximativ 1.3 km, iar suprafața este de 0.6 km<sup>2</sup> (Fig. 3).

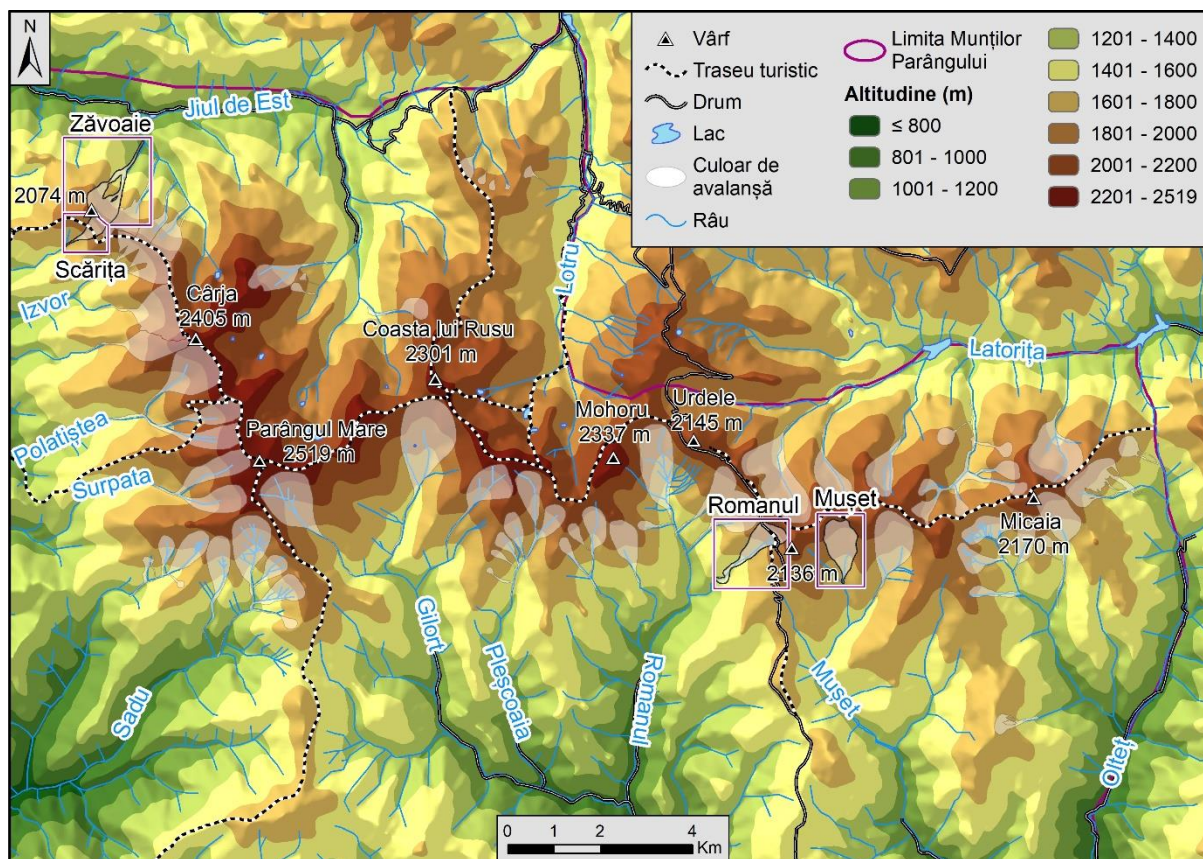


Fig. 3 Localizarea culoarelor de avalanșă analizate

## 4. SUPORTURI CONCEPTUALE ȘI METODOLOGICE

Termenul de „dendrocronologie” provine de la temenii grecești *dendron* care înseamnă copac, *chronos* care înseamnă timp și *logos* care înseamnă știință. Dendrocronologia este știința care se ocupă cu datarea inelelor de creștere ale arborilor cu scopul de a răspunde la întrebări legate de istoria naturală (Wenk, 1999).

Principiul de bază al dendrogeomorfologiei este principiul proces-eveniment-răspuns, fundamentat de către J. F. Shroder Jr. (1978). Acest principiu se aplică tuturor proceselor geomorfologice care pot afecta arborii. Manifestarea lor constituie un eveniment care perturbă creșterea normală a arborilor din arealul afectat. Răspunsul arborilor la procesul geomorfologic constă în încercarea acestora de a atenua perturbarea suferită pentru a reveni cât mai repede la creșterea normală. Astfel se formează anomaliile de creștere. Acestea sunt înregistrate de arbore în inelul de creștere format după producerea evenimentului, iar uneori chiar și în inelele următoare (Stoffel și Bollschweiler, 2009).

### 4.1. Anomaliile de creștere utilizate în reconstituirea activității avalanșelor de zăpadă

Lemnul de compresiune (Fig. 4) se formează doar la conifere. Procesele de deplasare în masă depozitează la baza trunchiului arborilor materiale care prin presiunea exercitată asupra acestora determină înclinarea înclinarea lor (Stoffel și Bollschweiler, 2009).

În cadrul lemnului de compresiune, compoziția pereților celulari este diferită față de cea a celulelor din lemnul normal, ca urmare a modificării stratelor cu microfibre de celuloză. Astfel, în timpul creșterii, celulele din lemnul de compresiune se

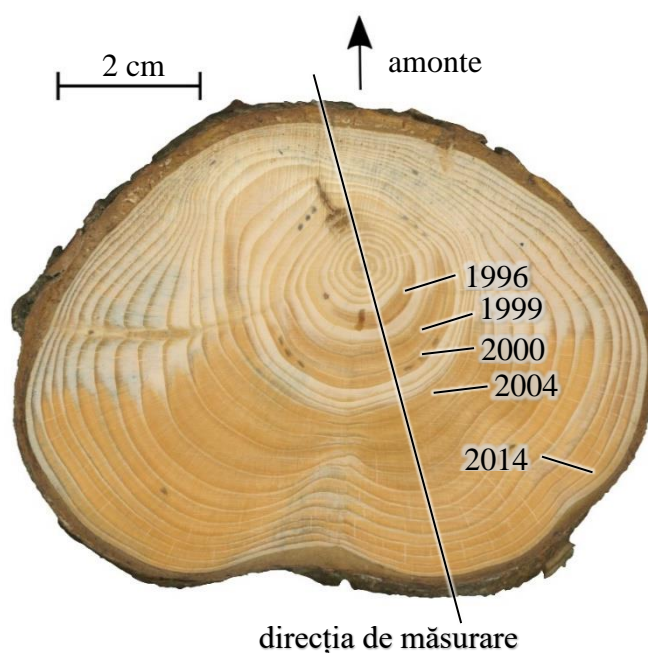


Fig. 4 Disc scanat pe care sunt evidențiate trei secvențe de lemn de compresiune (1996, 1999-2000, 2004-2014)

extind longitudinal, determinând „împingerea” în sus a trunchiului pentru a reveni la poziția verticală (Du și Yamamoto, 2007).

Canalele rezinifere traumatice (Fig. 5) sunt specifice coniferelor. Se dezvoltă în urma impactului mecanic exercitat asupra trunchiului unui arbore care determină distrugerea parțială a cambiului și apariția unei leziuni (Bollschweiler et al., 2008, Pop et al., 2012).

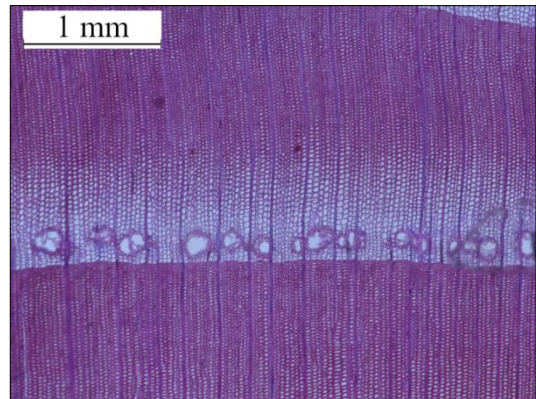


Fig. 5 Canale rezinifere traumatice la începutul unui inel anual

Canalele rezinifere traumatice formează șiruri tangențiale în jurul leziunii pentru a transporta rășina înspre aceasta în vederea închiderii ei. Acest mecanism de apărare se dezvoltă în numai 18 zile de la impact (Nagy, et al., 2000).

Creșterea redusă (Fig. 6) este fenomenul ce are ca rezultat scăderea bruscă a lățimii inelelor anuale, cu cel puțin 40% față de inelele anterioare, putându-se ajunge și la lipsa totală a unui sau mai multor inele. În funcție de intensitatea impactului, poate apărea un inel mai îngust sau mai multe inele înguste.

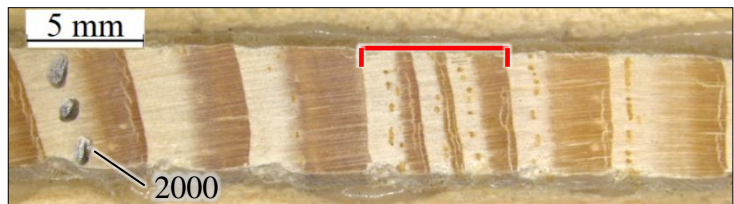


Fig. 6 Fragment dintr-o carotă care evidențiază creșterea redusă în perioada 2003-2005

Creșterea exagerată (Fig. 7) reprezintă fenomenul în urma căruia rezultă o creștere bruscă a lățimii inelelor anuale, de la un minim de 30% putându-se ajunge la diferențe de peste 200% între două inele consecutive. Fenomenul de creștere exagerată se datorează în primul rând unor evenimente care au distrus arborii din apropierea celui analizat. În acest caz, arborele studiat, nemaivând concurența vecinilor, va beneficia de mai multă lumină, apă și/sau nutrienți, înregistrând o creștere mai puternică materializată prin inele mai late.

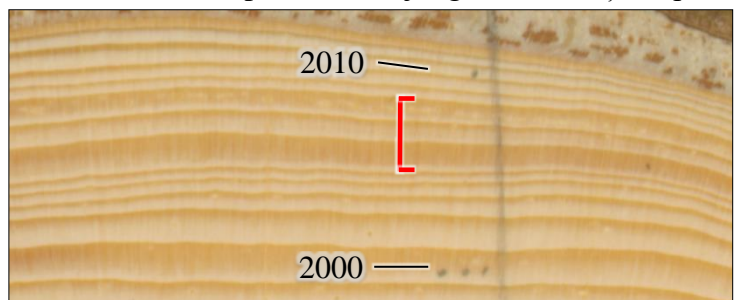


Fig. 7 Fragment dintr-un disc scanat care evidențiază creșterea exagerată în perioada 2005-2007

Cicatricile (Fig. 8) sunt rezultatul direct al impactului mecanic suferit de arbore. Pentru formarea unei cicatrice este necesar ca în urma impactului să fie distrusă scoarța și porțiuni semnificative din cambiul. Deși se închide în timp, cicatricea se păstrează în structura arborelui, putând fi observată atât în secțiuni transversale, cât și în carote corect prelevate. Anul



Fig. 8 Margine a unei cicatrice deschise producerii cicatricii poate fi ușor identificat prin simpla numărare a inelelor anuale formate în apropierea ei (Simea, 2012).

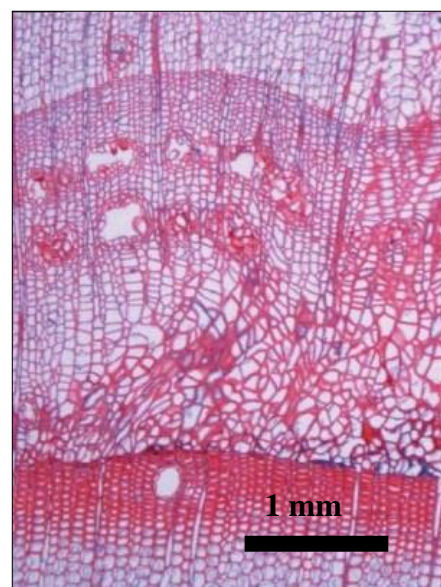


Fig. 9 Țesut calus (Stoffel și Bollschweiler, 2008)

Țesutul calus (Fig. 9) este anomalia de creștere care însoțește întotdeauna o cicatrice. Pentru a reduce riscul atacului unor insecte, ciuperci sau al putrefacției, imediat după apariția leziunii, arborele începe să producă straturi de celule cu forme haotice începând de la marginile cicatricii, așa încât aceasta să fie închisă într-un interval de timp cât mai scurt. Celulele care compun acest țesut au forme variate și sunt dispuse complet neregulat (Stoffel și Bollschweiler, 2009).

#### 4.2. Apecte metodologice. Etapele reconstituirii dendrogeomorfologice

Prima etapă a studiului constă în identificarea unuia sau a mai multor culoare de avalanșă care coboară de la limita superioară a pădurii spre interiorul acesteia. Această etapă se realizează în laborator utilizând documente cartografice, precum hărți sau planuri topografice, imagini aeriene sau satelitare, ortofotoplanuri etc. (Stoffel et al., 2013).

Următorul pas constă în prelevarea de eșantioane din arborii afectați de avalanșe. Sunt eșantionați arborii care prezintă urme vizibile ale impactului avalanșelor (cicatrici, trunchiuri curbate la bază, vârfuri rupte etc.). În plus, sunt eșantionați și arbori cu creștere normală din vecinătatea culoarului, considerați arbori de referință (Fritts, 1976). Eșantionarea arborilor se realizează prin prelevarea de discuri (Fig. 4) sau de carote (Fig. 10).

O mare importanță o are locul din trunchiul arborelui din care se extrag carotele. Eșantionarea unui arbore curbat la bază se realizează la nivelul curburii maxime a trunchiului.

O cicatrice poate fi datată cu ajutorul (i) unei carote prelevate prin ea și a alteia în partea opusă, (ii) al canalelor rezinifere vizibile în proximitatea ei, (iii) al unei pene prelevate la marginea ei



Fig. 10 Carote într-o placă de policarbonat

sau (iv) a unei secțiuni transversale. Eșantionarea unui arbore cu vârful rupt se realizează sub nivelul la care vârful inițial a fost rupt. Mai pot fi eșantionați arborii sub formă de steag (cu ramuri doar spre aval) și arborii uscați.

Etape de laborator debutează cu pregătirea probelor pentru a putea fi analizate (uscarea, șlefuirea, și marcarea

inelelor din 10 în 10 ani). În continuare, măsurarea lățimii inelelor arborilor se efectuează cu ajutorul unui microscop cu masă mobilă (stația *LINTAB 5* (RINNTECH, 2016)), conectat la un computer pe care este instalat un program specializat (*TSAPWin Professional 0.22* (RINNTECH, 2016)) sau versiuni mai recente (Fig. 11).



Fig. 11 Stația LINTAB 5 cu microscopul Leica DMS1000 conectat la calculator

Ulterior, sau în paralel cu măsurarea, anomaliile de creștere sunt identificate, clasificate în funcție de intensitate (A – ridicată, B – medie, C - redusă), notate și centralizate. Se notează și vârsta arborilor eșantionați. Pentru centralizarea lor mai rapidă au fost scrise, cu ajutorul limbajului Visual Basic, funcții personalizate în cadrul aplicației Microsoft Excel.

Anomaliile de creștere din primii 10 ani de viață ai arborilor eșantionați nu au fost luate în calcul la datarea avalanșelor (Luckman, 2010, Pop et al., 2016). Datorită acestui fapt, la

calculul numărului de arbori eșantionați în viață pentru fiecare an (vizibil pe graficele din Fig. 14, Fig. 18, Fig. 22, Fig. 26) sunt luați în calcul doar arborii cu vârsta de peste 10 ani.

Pe baza numărului anomaliilor de creștere de fiecare tip identificate au fost calculați trei indici semicantitativi. Primul indice este indicele activității avalanșelor (*AAI*), care a fost definit inițial de J. F. Shroder (1978). Acesta se calculează după următoarea formulă:

$$AAI = \left( \sum_{i=1}^n Rt / \sum_{i=1}^n At \right) \times 100$$

în care *Rt* reprezintă un arbore care prezintă cel puțin o anomalie de creștere în anul *t*, iar *At* reprezintă un arbore eșantionat care în anul *t* avea cel puțin 10 ani.

Tabel 1 Clasele de intensitate ale anomaliilor de creștere, conform (Stoffel și Corona, 2014)

| Intensitate   | Anomaliile de creștere                               |
|---------------|--|
| Intensitate 5 | Cicatrici  |
|               | Canale rezinifere traumatice cu intensitate ridicată |
| Intensitate 4 | Uciderea arborelui                                   |
|               | Canale rezinifere traumatice cu intensitate medie    |
|               | Țesut calus  |
|               | Creștere redusă cu intensitate ridicată              |
| Intensitate 3 | Lemn de compresiune cu intensitate ridicată          |
|               | Lemn de compresiune cu intensitate medie             |
|               | Creștere redusă cu intensitate medie                 |
| Intensitate 2 | Creștere exagerată cu intensitate ridicată           |
|               | Lemn de compresiune cu intensitate redusă            |
| Intensitate 1 | Canale rezinifere traumatice cu intensitate redusă   |
|               | Creștere exagerată cu intensitate medie              |

Al doilea indice este indicele semicantitativ ponderat al activității avalanșelor (*Wit*), definit de către Kogelnig-Mayer et al. (2011). Acesta introduce o clasificare și o ponderare a arborilor cu anomalii de creștere în funcție de cea mai severă anomalie de creștere înregistrată, conform recomandărilor publicate de Stoffel și Corona (2014) (Tabel 1). A fost calculat după următoarea formulă (Pop et al., 2018):

$$Wit = \left( \left( \sum_{i=1}^n T_5 \times 5 \right) + \left( \sum_{i=1}^n T_4 \times 4 \right) + \left( \sum_{i=1}^n T_3 \times 3 \right) + \left( \sum_{i=1}^n T_2 \times 2 \right) + \left( \sum_{i=1}^n T_1 \times 1 \right) \right) \times \frac{\sum_{i=1}^n Rt}{\sum_{i=1}^n At}$$

în care *T<sub>5</sub>* reprezintă un arbore ale cărui anomalii de creștere din anul *t* au fost încadrate în categoria de intensitate 5, *T<sub>4</sub>* reprezintă un arbore cu anomalii de creștere de intensitate 4 în anul *t*, *T<sub>3</sub>* reprezintă un arbore cu anomalii de creștere de intensitate 3 în



anul  $t$ ,  $T_2$  reprezintă un arbore cu anomalii de creștere de intensitate 2 în anul  $t$ ,  $T_1$  reprezintă un arbore cu anomalii de creștere de intensitate 1 în anul  $t$ ,  $Rt$  reprezintă un arbore care prezintă cel puțin o anomalie de creștere în anul  $t$ , iar  $At$  reprezintă un arbore eșantionat care era în viață în anul  $t$ .

Al treilea indice este indicele regional al activității avalanșelor de zăpadă ( $RAAt$ ). Acesta se folosește pentru agregarea regională a unor reconstituiri ale avalanșelor de zăpadă realizate în mai multe culoare, cu scopul efectuării unei estimări a activității avalanșelor de zăpadă pentru un areal mai extins. Se calculează pentru fiecare an în care au fost identificate avalanșe de zăpadă după următoarea formulă:

$$RAAt = \left( \sum_{i=1}^n AAt / \sum_{i=1}^n Ct \right) \times 100$$

în care  $AAt$  reprezintă indicele activității avalanșelor de zăpadă calculat pentru un culoar de avalanșă din zona de studiu în anul  $t$ , iar  $Ct$  reprezintă un culoar de avalanșă din zona de studiu în care în anul  $t$  cel puțin 10 din arborii eșantionați aveau 10 ani.

Pentru stabilirea anilor în care arborii au înregistrat avalanșe de zăpadă, au fost utilizate următoarele criterii: (i) valoarea indicelui AAI să fie de cel puțin 10%, (ii) prezența cel puțin a unei anomalii de creștere cu intensitate 5 sau 4 corespunzător clasificării elaborate de Stoffel și Corona (2014) (Tabel 1), (iii) prezența unor anomalii de creștere în minim trei arbori eșantionați, (iv) minim 10 din arborii eșantionați să fi fost în viață.

Perioada de revenire a avalanșelor ( $Rp$ ) reprezintă intervalul de timp în care acestea parcurg o anumită distanță sau depășesc o anumită locație (McClung și Schaerer, 2006). Se calculează cu următoarea formulă:

$$Rp = \frac{\Delta t}{Na}$$

unde  $\Delta t$  reprezintă lungimea unui interval de timp în ani, iar  $Na$  numărul de avalanșe înregistrate în acea perioadă de timp (Boucher, et al., 2003).

Până în prezent, perioada de revenire a avalanșelor a fost calculată cu ajutorul metodologiei propuse de Reardon et al. (2008). Aceasta presupune calcularea perioadei de revenire pentru fiecare arbore în parte, ca raport între vârsta arborelui și numărul de avalanșe înregistrate. Apoi, aceste valori sunt interpolate cu ajutorul metodei *Ordinary Kriging*. Această metodă a fost aplicată pentru calculul perioadei de revenire a avalanșelor de zăpadă în culoarele de avalanșă Zăvoaie, Scărița și Romanul (Meseșan et al., 2018a).

Pentru a elimina din procedura de determinare a perioadelor de revenire interpolarea și calculul perioadei de revenire pentru fiecare arbore în parte, a fost propusă o nouă metodologie

de calcul (Meseșan, et al., 2018a). Cu ajutorul limbajului de programare *Python 2.7.5*, a fost dezvoltat un script care determină automat numărul de avalanșe ce a afectat fiecare pixel al culoarului. Acesta a fost rulat cu succes în Qgis versiunea 2.18.0 (QGIS Development Team, 2016), căreia îi corespunde SAGA GIS versiunea 2.1.2. Acest script necesită următoarele date: modelul digital de elevație, limita culoarului de avalanșă și punctele reprezentând arborii eșantionați. Pașii de execuție ai scriptului creat sunt detaliați în Fig. 12. Prin împărțirea lungimii cronologiei avalanșelor de zăpadă reconstituită la rezultatul scriptului, cu ajutorul *Qgis Raster Calculator*, se obține perioada de revenire pentru fiecare pixel al culoarului.

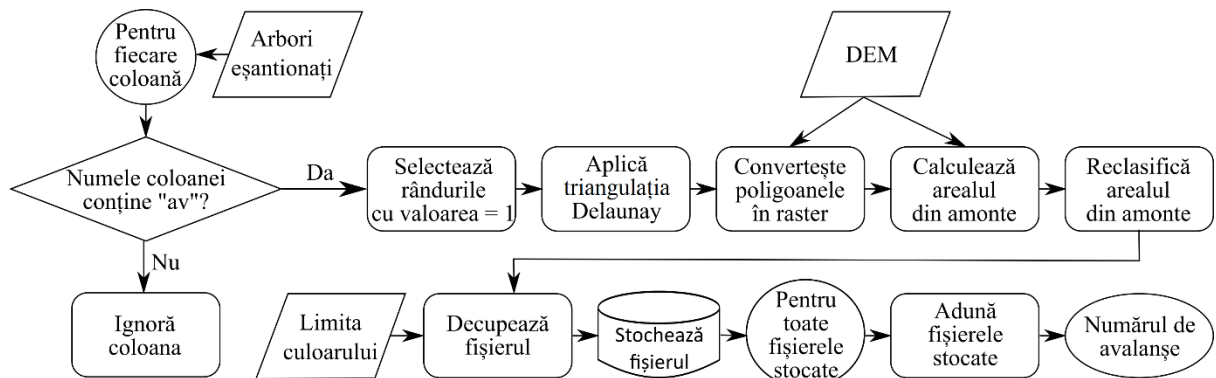


Fig. 12 Pașii de execuție ai scriptului care calculează numărul de avalanșe

### 4.3. Reconstituirea extensiunii avalanșelor de zăpadă cu ajutorul teledetecției

Procedura urmată în această secțiune este prezentată mai detaliat în lucrarea elaborată de Meseșan et al. (2018b). 20 de imagini Landsat 5 TM și Landsat 7 ETM+ cu nivelul de procesare Surface Reflectance (Masek et al., 2006) au fost descărcate pentru arealul de studiu. În vederea identificării arealelor afectate de avalanșa de zăpadă petrecută în iarna 1985-1986, au fost alese 5 imagini Landsat 5 TM pentru care au fost calculați următorii indici spectrali: normalized burn ratio (NBR) (López García și Caselles, 1991), normalized difference moisture index (NDMI) (Goodwin et al., 2008), moisture stress index (MSI) (Rock et al., 1985) și disturbance index (DI) (Healey et al., 2005). Formulele de calcul ale acestor indici sunt redate mai jos. Pentru calculul indicelui DI, se folosesc ca și input cei trei vectori obținuți prin intermediul transformării Tasseled cap (Kauth și Thomas, 1976).

$$NBR = \frac{\text{Banda 4} - \text{Banda 7}}{\text{Banda 4} + \text{Banda 7}} \qquad NDMI = \frac{\text{Banda 4} - \text{Banda 5}}{\text{Banda 4} + \text{Banda 5}}$$

$$MSI = \frac{\text{Banda 5}}{\text{Banda 4}}$$

$$DI = \text{Luminozitate} - (\text{Grad de verde} + \text{Umiditate})$$

Ulterior, au fost identificate poligoanele (echivalentul pixelilor) în care valorile NBR și NDMI au scăzut mai mult de valoarea prag de 0.08 unități, respectiv valorile MSI au crescut mai mult de această valoare prag. În cazul DI nu s-a putut stabili un prag din cauza variației mari a valorilor indicelui. De aceea, pentru DI s-a urmărit doar creșterea valorilor.

Traectoria spectrală a pixelilor care au înregistrat variații semnificative ale valorilor datorită avalanșei analizate a fost surprinsă prin intermediul simbologiei de tip grafic. Considerăm că, în cazul studiului de față, aceasta constituie o alternativă viabilă pentru modelul LandTrendr (Kennedy et al., 2010).

Evaluarea corelației între localizarea arealelor identificate anterior ca fiind afectate de avalanșa din iarna 1985-1986 și locația arborilor eșantionați a fost realizată cu ajutorul unei analize de regresie logistică (Dayton, 1992), efectuată în cadrul aplicației IBM SPSS Statistics v. 22 (IBM, 2011). Au fost folosite următoarele teste: Hosmer–Lemeshow (Hosmer Jr et al., 2013), Cox și Snell R pătrat (Cox și Snell, 1989) și Nagelkerke R pătrat (Nagelkerke, 1991).

#### **4.4. Reconstituirea condițiilor meteorologice asociate cu declanșarea avalanșelor de zăpadă**

Condițiile meteorologice care au determinat în trecut producerea avalanșelor de zăpadă sunt relativ aceleași și în prezent. Cunoașterea legăturii dintre variația parametrilor meteorologici și activitatea din trecut a avalanșelor de zăpadă poate facilita o anticipare mai bună a producerii acestor fenomene (Birkeland et al., 2001). Legătura între meteorologie și declanșarea avalanșelor de zăpadă este una complexă datorită non-linearității proceselor care operează în stratul de zăpadă pe măsură ce acesta se dezvoltă (Keylock, 2003).

În lucrarea de față au fost prelucrate următoarele date meteorologice zilnice: temperatura medie, temperatura maximă, temperatura minimă, cantitatea de precipitații, grosimea stratului de zăpadă, viteza maximă a vântului, viteza medie a vântului, înregistrate la stația meteorologică Parâng, în intervalul 1961-2013, în lunile noiembrie-aprilie. Pe baza lor au fost calculați 34 de parametri statistici, pentru fiecare lună din intervalul menționat, care au fost utilizați ca și variabile independente în cadrul unei analize de regresie multiplă pas cu pas (stepwise), efectuată cu ajutorul aplicației IBM SPSS Statistics v. 22. Indicele regional al activității avalanșelor de zăpadă (RAAI) pentru perioada 1961-2015 a fost utilizat ca și variabilă dependentă.

## 5. REZULTATE OBȚINUTE

### 5.1. Rezultatele reconstituirii dendrogeomorfologice

Pentru identificarea creșterii normale a arborilor în arealul de studiu au fost eșantionați 48 de arbori neafecțați de avalanșe sau alte procese geomorfologice. Curba de referință cu valori exprimate în milimetri cât și curba de creștere standardizată sunt prezentate în Fig. 13.

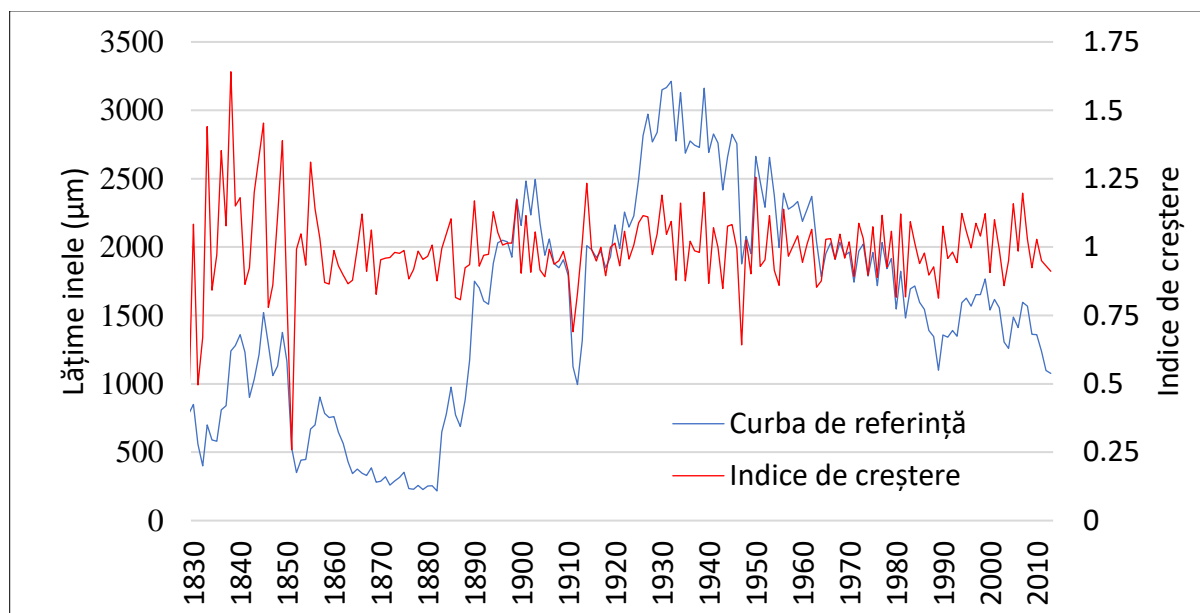


Fig. 13 Curba de referință și indicii de creștere pentru arborii de referință din arealul de studiu

#### 5.1.1. Reconstituirea activității avalanșelor de zăpadă în culoarul Zăvoaie

În cadrul acestui culoar de avalanșă, au fost eșantionați 57 de molizi care prezentau urme vizibile ale impactului avalanșelor de zăpadă. Au fost obținute 113 carote și 3 discuri. Pe lângă acestea, au fost prelevate și 3 pene din 3 paltini de munte, ale căror trunchiuri prezentau cicatrici.

În urma analizei tuturor acestor eșantioane, au fost identificate 227 de anomalii de creștere, care au permis reconstituirea cu certitudine a 12 ani în care s-au produs avalanșe de zăpadă: 2008, 2005, 2001, 1999, 1997, 1986, 1983, 1966, 1956, 1942, 1937 și 1915. Jumătate din avalanșele reconstituite au determinat apariția unei cicatrici în arborii eșantionați. Valorile indicelui activității avalanșelor de zăpadă (AAI), calculate pe baza eșantioanelor prelevate în cadrul acestui culoar, sunt prezentate în Fig. 14, iar valorile indicelui ponderat al activității avalanșelor de zăpadă (Wit) în Fig. 15.

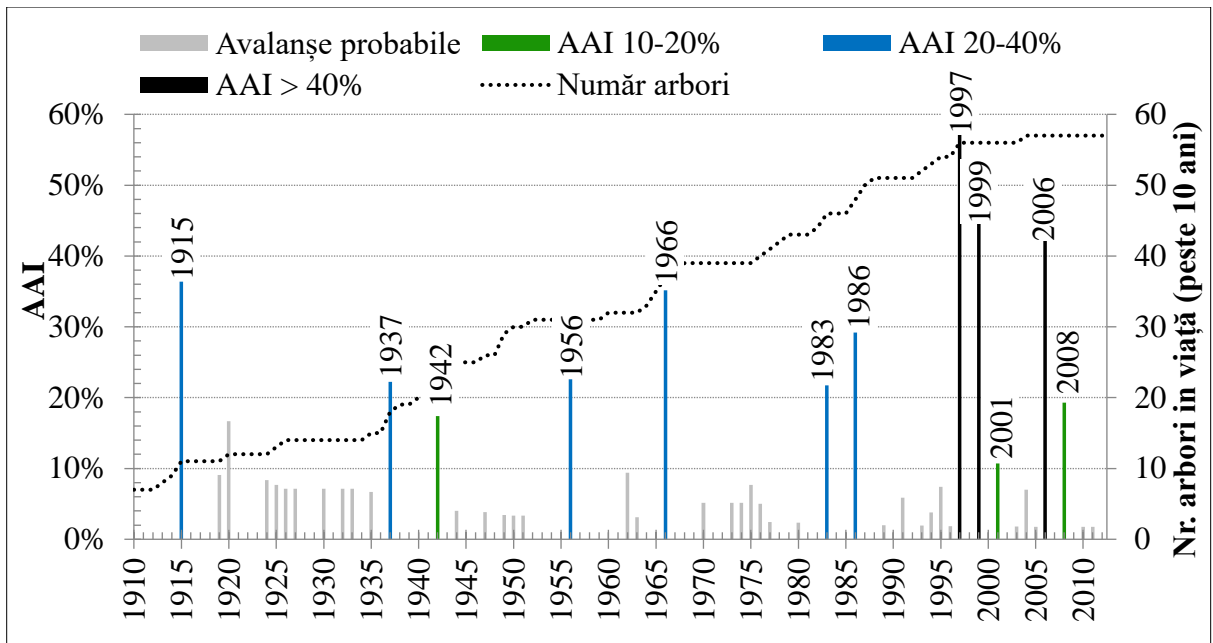


Fig. 14 Histograme reprezentând avalanșele reconstituite în culoarul Zăvoaie, clasificate în funcție de valoarea AAI

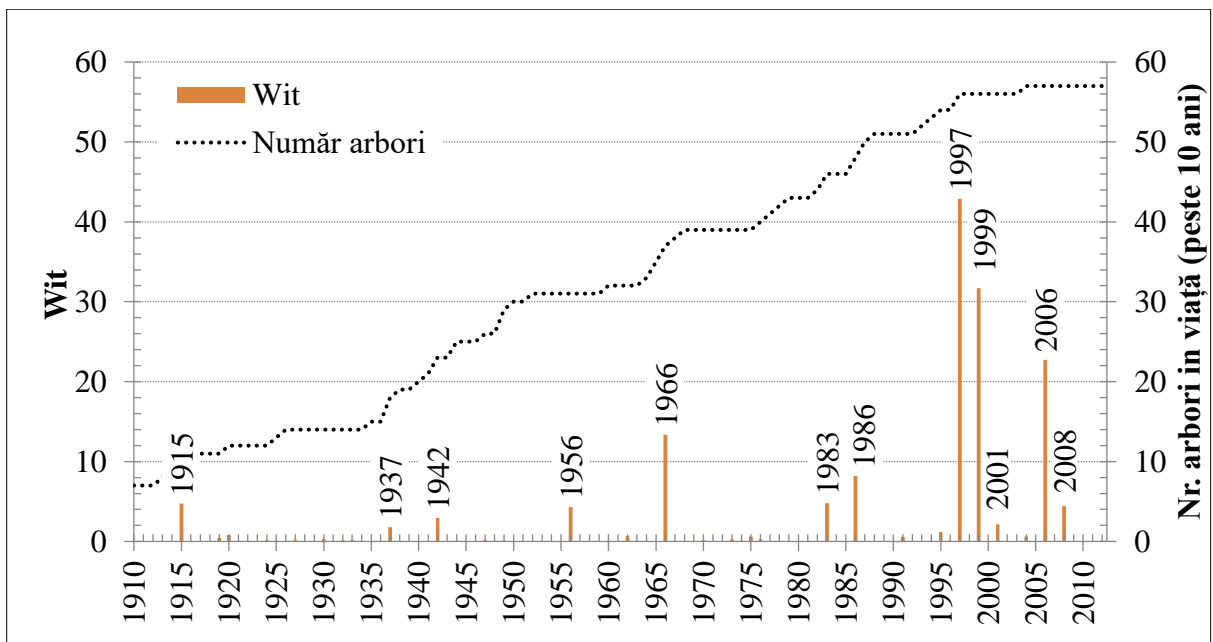


Fig. 15 Valorile indicelui ponderat al activității avalanșelor de zăpadă pentru culoarul Zăvoaie

Perioada de revenire a avalanșelor, calculată pentru fiecare arbore în parte, conform metodei existente este prezentată în Fig. 16. Perioada de revenire a avalanșelor, calculată cu ajutorul metodei propuse, este prezentată în Fig. 17.

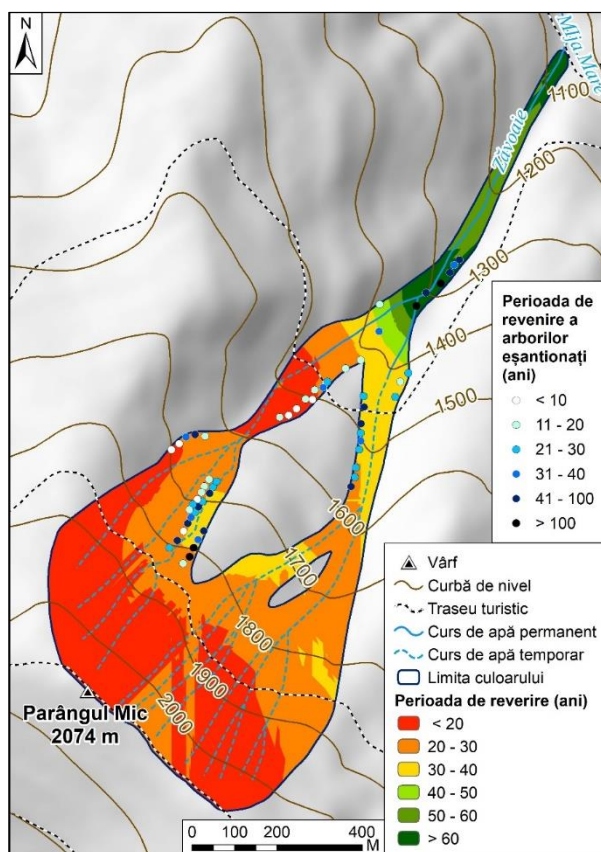


Fig. 16 Culoarul Zăvoaie – perioada de revenire calculată cu ajutorul metodei existente

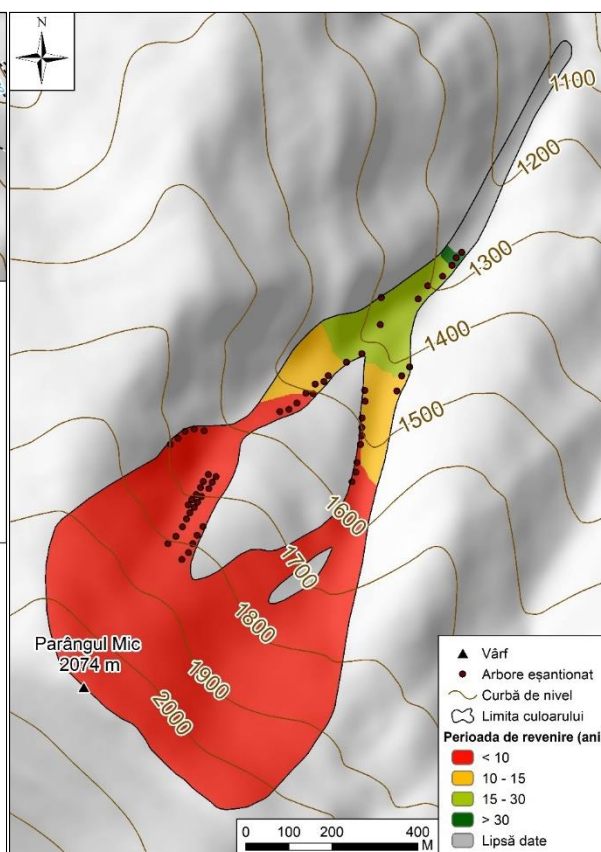


Fig. 17 Culoarul Zăvoaie – perioada de revenire calculată cu ajutorul metodei propuse

### 5.1.2. Reconstituirea activității avalanșelor de zăpadă în culoarul Scărița

În cadrul acestui culoar de avalanșă au fost eșantionați 116 molizi care prezentau urme vizibile ale impactului avalanșelor de zăpadă. Au fost prelevate 222 de carote și 14 discuri. Pe lângă acestea, a mai fost prelevată o pană dintr-un molid în vârstă, cu trunchiul gros, care prezenta o cicatrice.

În urma analizei eșantioanelor prelevate din acest culoar de avalanșă au fost identificate 676 de anomalii de creștere, care au permis reconstituirea cu certitudine a 21 de ani în care s-au produs avalanșe de zăpadă: 2012, 2010, 2008, 2005, 2003, 1999, 1997, 1995, 1990, 1987, 1986, 1982, 1980, 1976, 1970, 1966, 1959, 1950, 1944, 1942, 1938. Valorile indicelui activității avalanșelor de zăpadă (AAI), calculate pe baza eșantioanelor prelevate în cadrul

acestui culoar, sunt prezentate în Fig. 18. Valorile indicelui ponderat al activității avalanșelor de zăpadă (Wit), pentru acest culoar, sunt prezentate în Fig. 19.

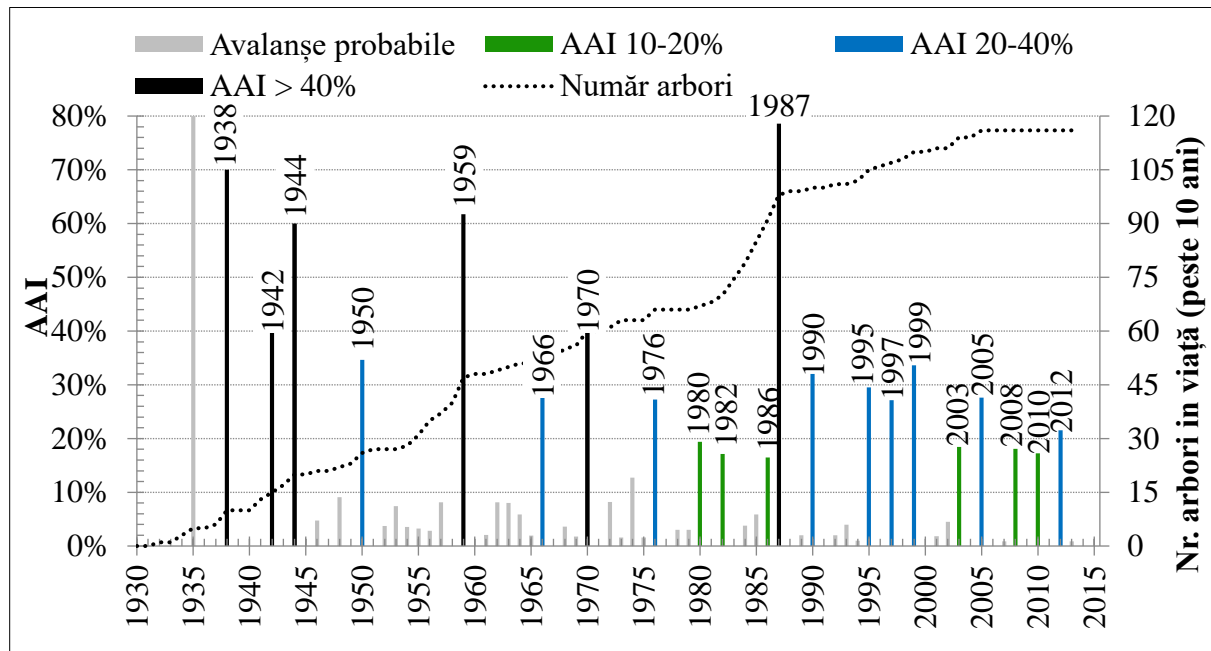


Fig. 18 Histogramme reprezentând avalanșele reconstituite în culoarul Scărița, clasificate în funcție de valoarea AAI

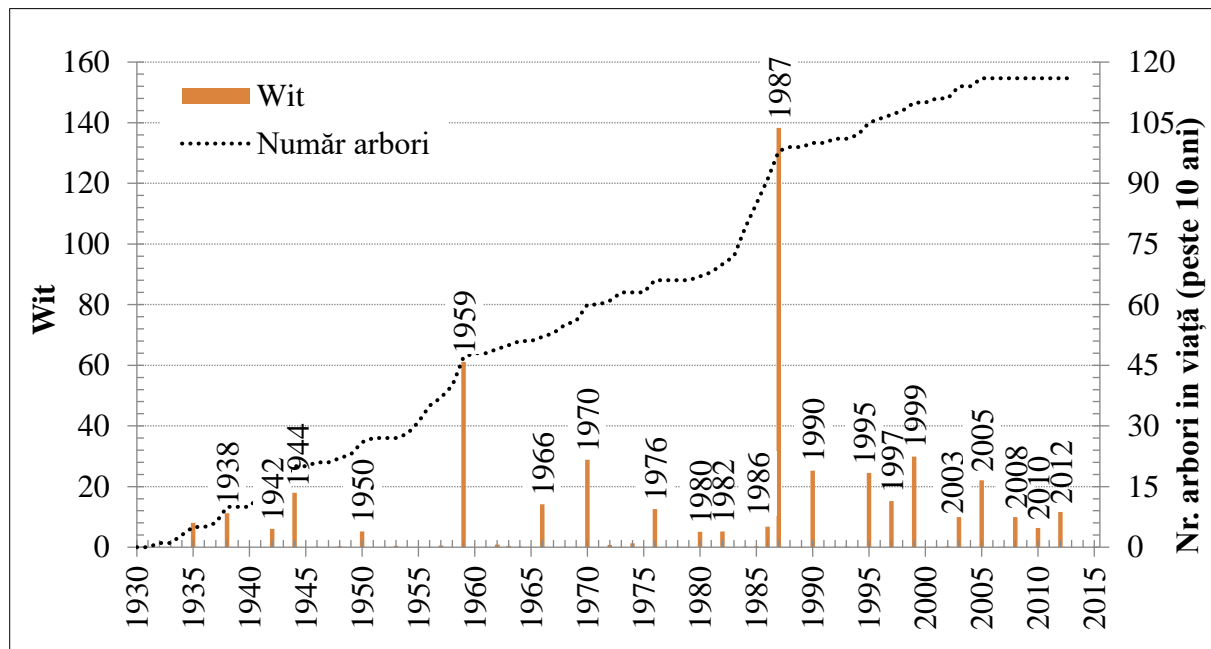


Fig. 19 Valorile indicelui ponderat al activității avalanșelor de zăpadă pentru culoarul Scărița

Perioada de revenire a avalanșelor, calculată pentru fiecare arbore în parte, conform metodei existente, este prezentată în Fig. 20. Perioada de revenire a avalanșelor, calculată cu ajutorul metodei propuse este prezentată în Fig. 21.

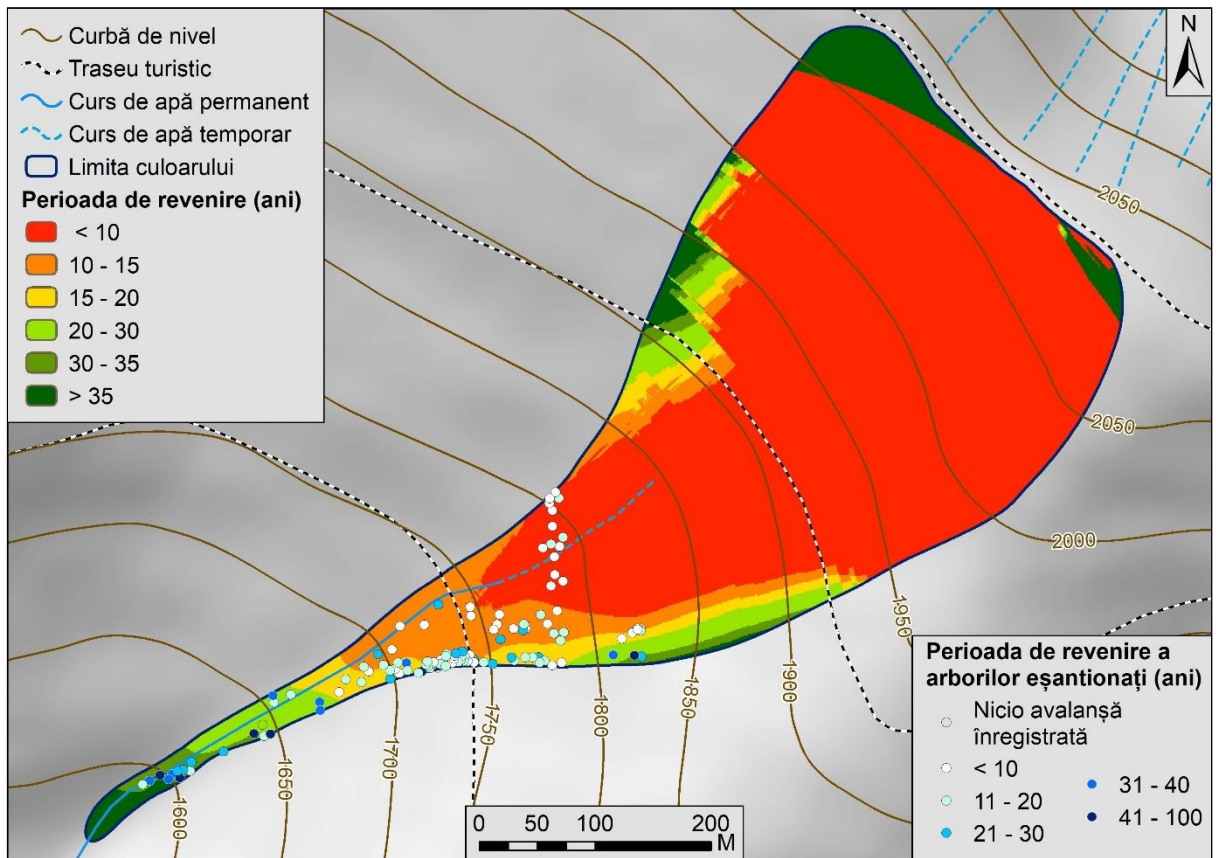


Fig. 20 Culoarul Scărița – perioada de revenire calculată cu ajutorul metodei existente

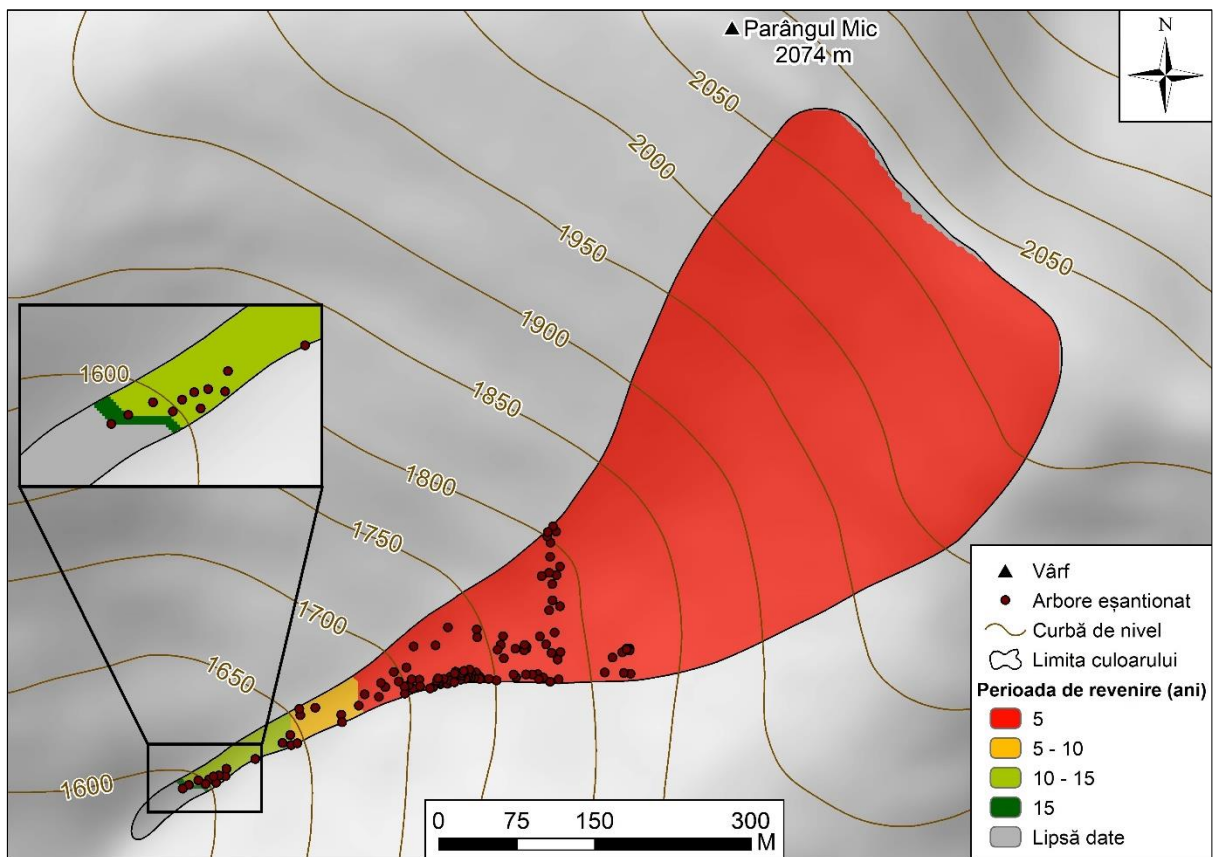


Fig. 21 Culoarul Scărița – perioada de revenire calculată cu ajutorul metodei propuse



### 5.1.3. Reconstituirea activității avalanșelor de zăpadă în culoarul Romanul

În cadrul acestui culoar de avalanșă au fost eșantionați 58 de molizi dintre care majoritatea prezentau urme vizibile ale impactului avalanșelor de zăpadă. Au fost obținute 95 de carote și 22 de discuri. În plus, încă un disc a fost prelevat dintr-un scoruș (*Sorbus aucuparia* L.) care prezenta o cicatrice cauzată de impactul unei avalanșe de zăpadă.

În urma analizei eșantioanelor prelevate din acest culoar, au fost identificate 212 anomalii de creștere, care au permis reconstituirea cu certitudine a 11 ani în care s-au produs avalanșe de zăpadă: 2013, 2012, 2008, 2006, 2005, 2003, 2000, 1998, 1996, 1991, 1988. În anul 1895, din 9 arbori în viață cu vârsta peste 10 ani, 8 arbori prezentau urme clare ale impactului mecanic al unei avalanșe de zăpadă, inclusiv o cicatrice. Toți acești arbori erau localizați în zona superioară a culoarului, aproape de limita vestică a acestuia. În acest an, nu poate fi afirmat cu certitudine faptul că a fost produsă o avalanșă de zăpadă deoarece numărul arborilor eșantionați în viață peste 10 ani era doar 9. Valorile indicelui activității avalanșelor de zăpadă (AAI), calculate pe baza eșantioanelor prelevate în cadrul acestui culoar, sunt prezentate în Fig. 22. Valorile indicelui ponderat al activității avalanșelor de zăpadă (Wit) sunt prezentate în Fig. 23.

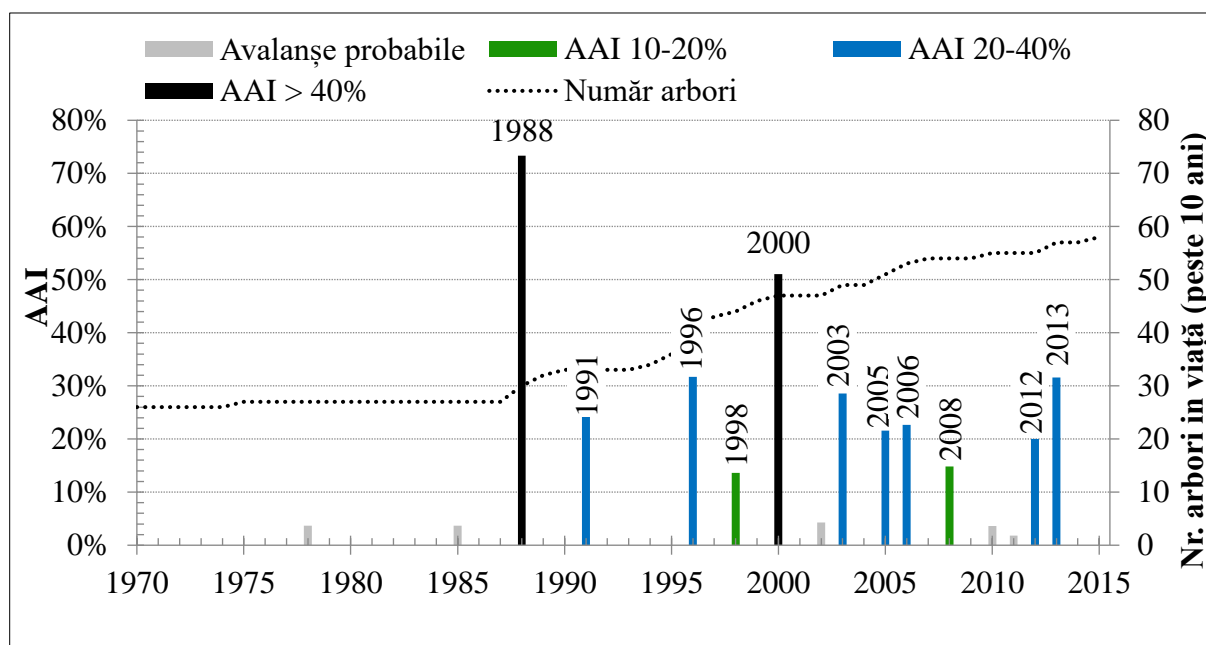


Fig. 22 Histograme reprezentând avalanșele reconstituite în culoarul Romanul, clasificate în funcție de valoarea AAI

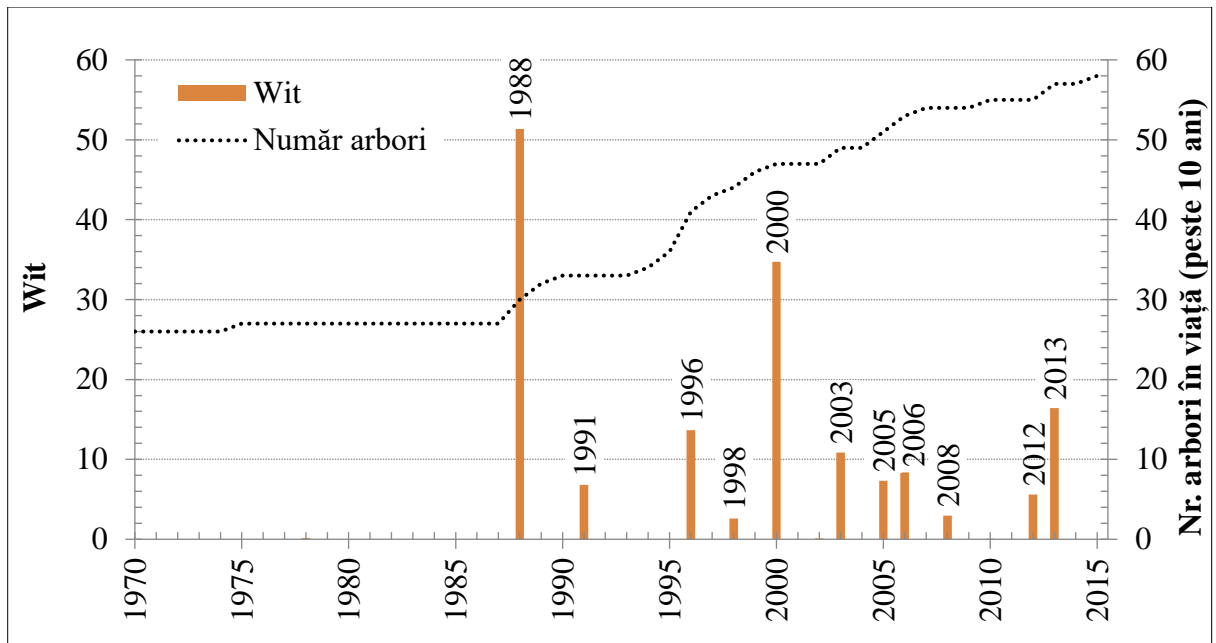


Fig. 23 Valorile indicelui ponderat al activității avalanșelor de zăpadă pentru culoarul Romanul

Perioada de revenire a avalanșelor, calculată pentru fiecare arbore în parte, conform metodei existente este prezentată în Fig. 24. Perioada de revenire a avalanșelor, calculată pentru acest culoar cu ajutorul metodei propuse, este prezentată în Fig. 25.

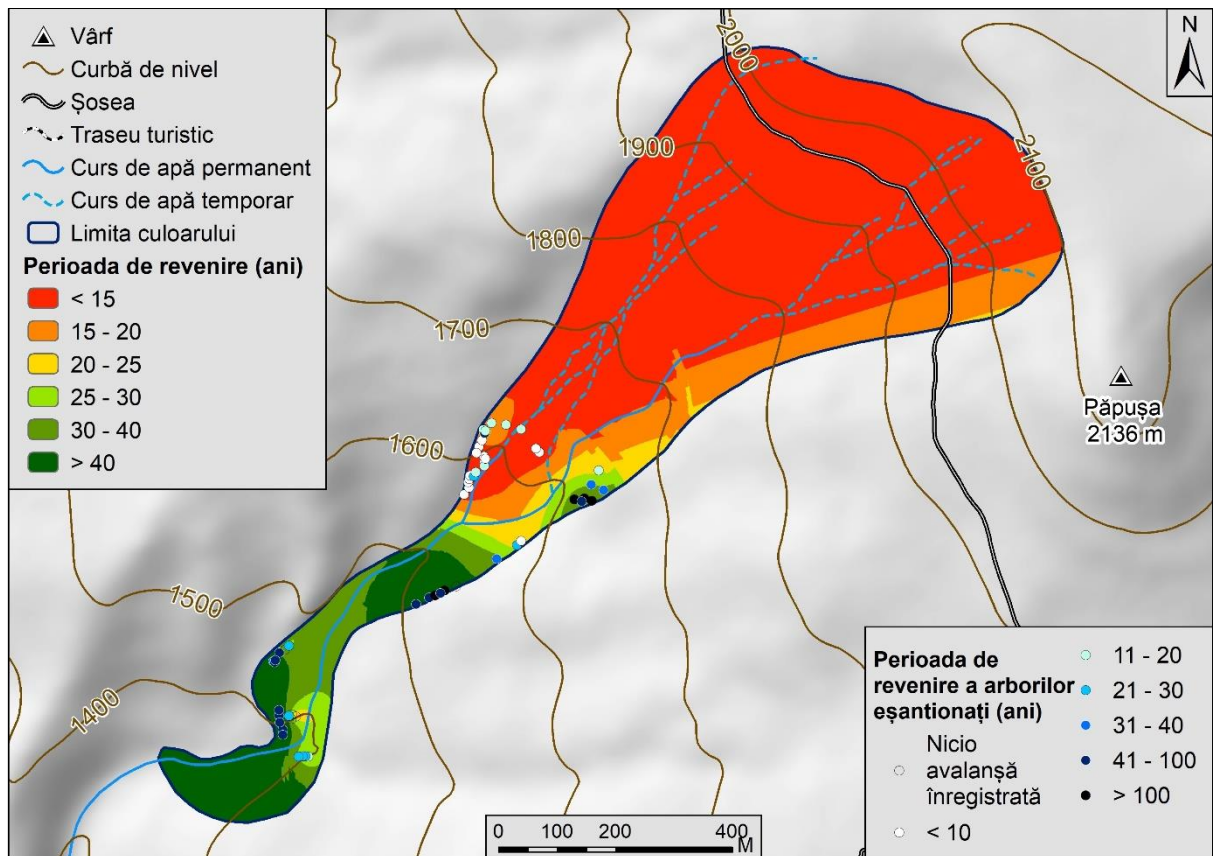


Fig. 24 Culoarul Romanul – perioada de revenire calculată cu ajutorul metodei existente

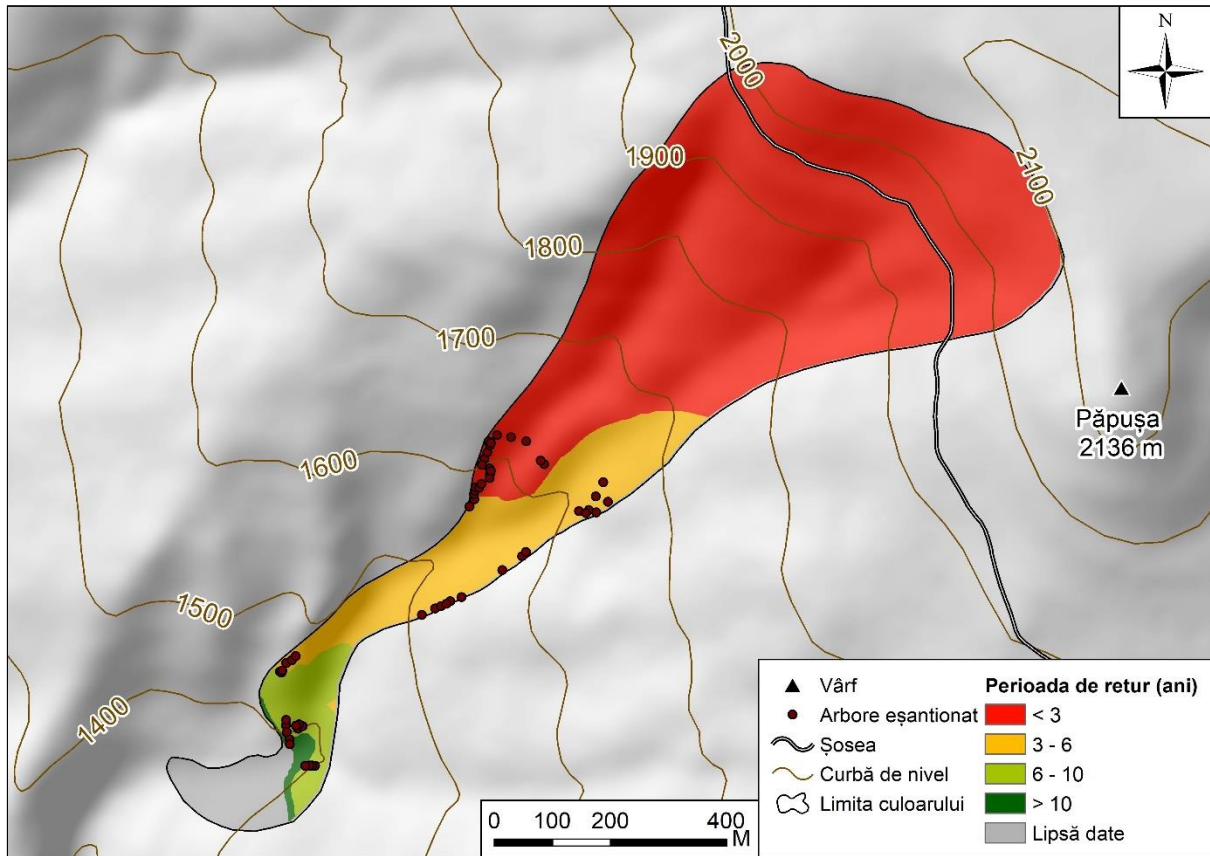


Fig. 25 Culoarul Romanul – Perioada de revenire calculată cu ajutorul metodei propuse

#### 5.1.4. Reconstituirea activității avalanșelor de zăpadă în culoarul Mușet

În cadrul acestui culoar de avalanșă au fost eșantionați 52 de molizi care prezentau urme vizibile ale impactului avalanșelor de zăpadă. Au fost prelevate 37 de carote și 38 de discuri. Majoritatea arborilor eșantionați în acest culoar erau situați într-un pâlț de arbori situat deasupra limitei superioare a pădurii.

În urma analizei eșantioanelor prelevate din acest culoar au fost identificate 146 de anomalii de creștere, care au permis reconstituirea cu certitudine a 10 ani în care s-au produs avalanșe de zăpadă: 2012, 2010, 2008, 2005, 2003, 1999, 1997, 1991, 1983, 1975. Dintre avalanșele reconstituite, cu excepția celei petrecute în 1983, toate celelalte au produs cel puțin o cicatrice în arborii eșantionați. Valorile indicelui activității avalanșelor de zăpadă (AAI), calculate pe baza eșantioanelor prelevate în cadrul acestui culoar, sunt prezentat în Fig. 26 iar valorile indicelui ponderat al activității avalanșelor de zăpadă (Wit) sunt prezentate în Fig. 27.

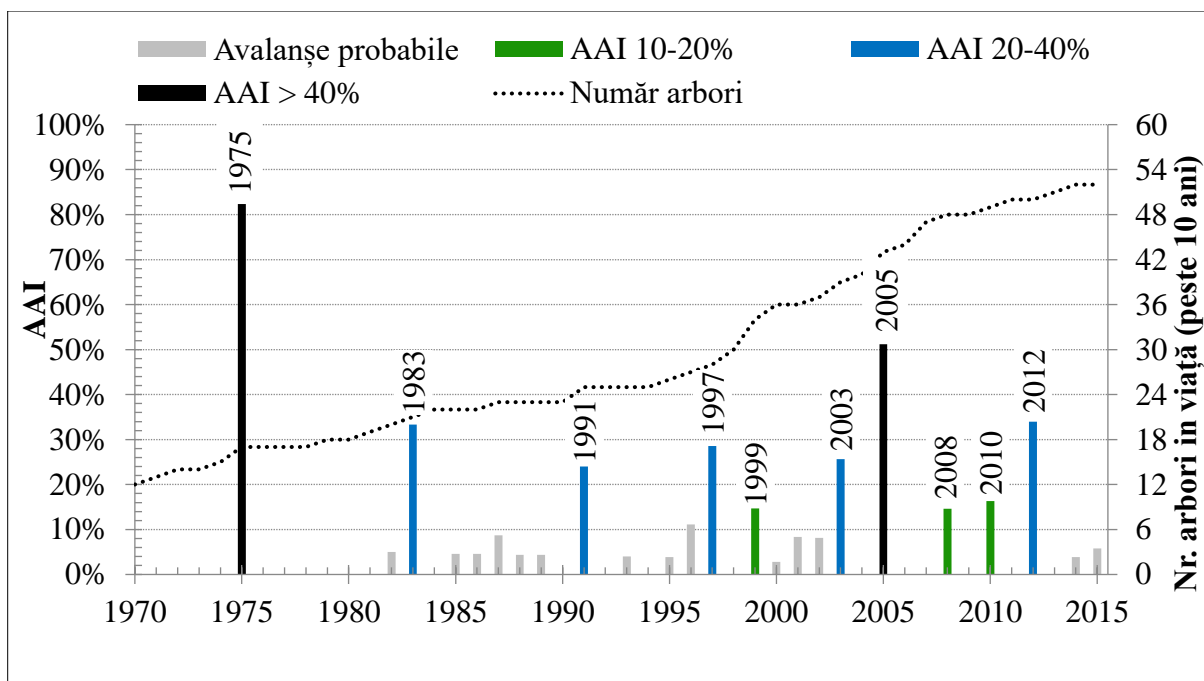


Fig. 26 Histograme reprezentând avalanșele reconstituite în culoarul Mușet, clasificate în funcție de valoarea AAI

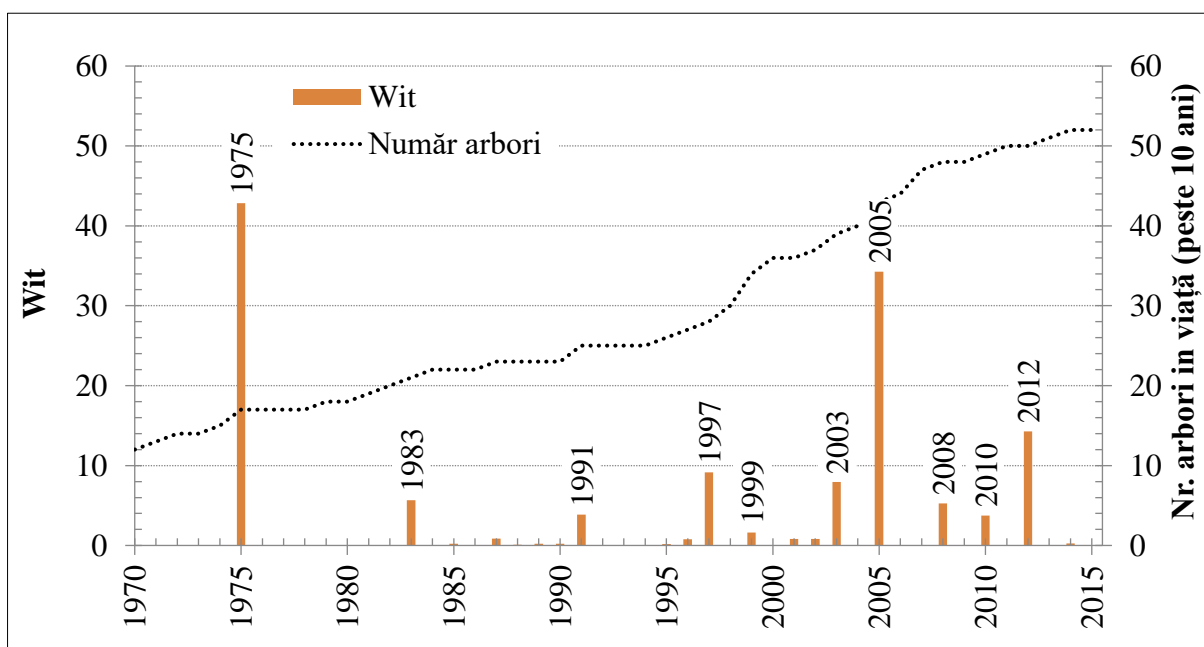


Fig. 27 Valorile indicelui ponderat al activității avalanșelor de zăpadă pentru culoarul Mușet

Având în vedere concentrarea tuturor arborilor eșantionați pe o suprafață redusă din cadrul culoarului de avalanșă, perioada de revenire a avalanșelor de zăpadă nu a fost calculată cu ajutorul metodei existente pentru a nu extrapola datele de pe o suprafață foarte restrânsă la nivelul întregului culoar. Perioada de revenire, calculată cu ajutorul metodei propuse este prezentată în Fig. 28.

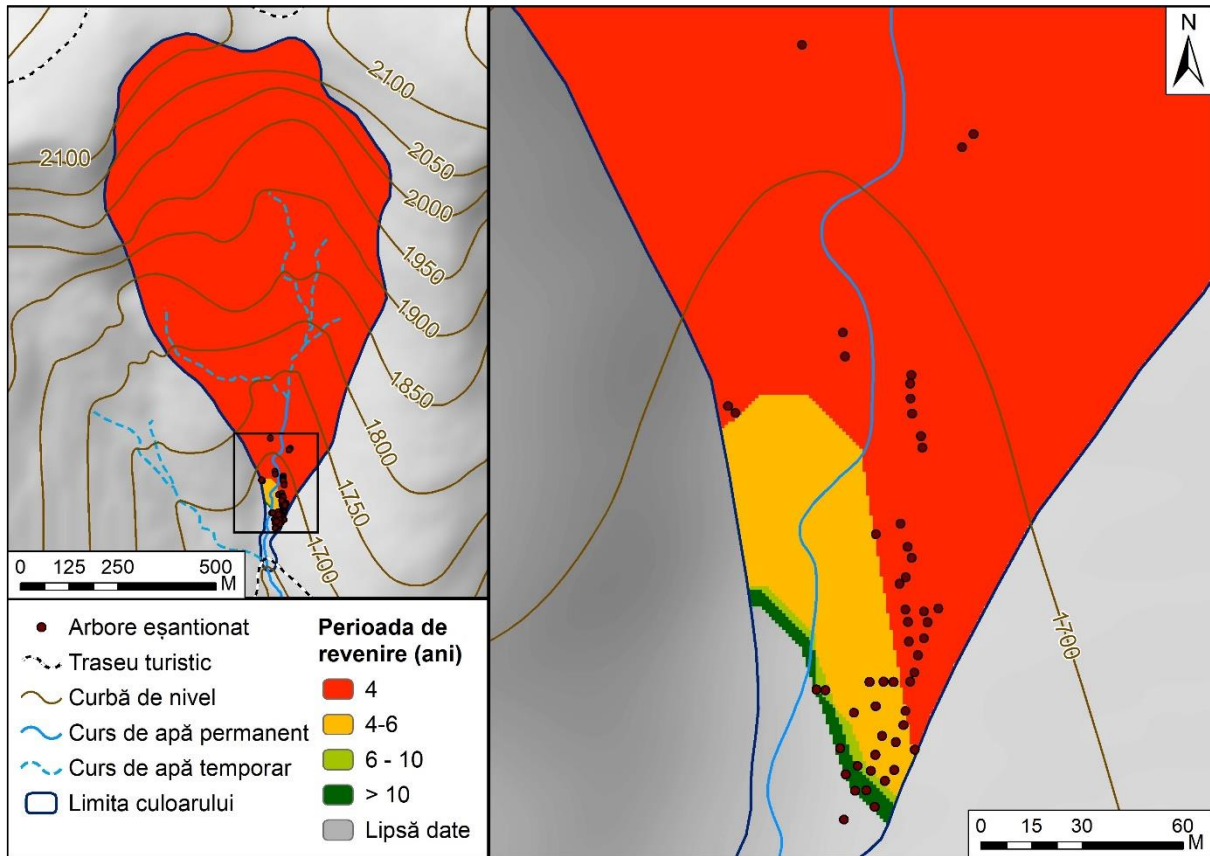


Fig. 28 Culoarul Mușet – perioada de revenire calculată cu ajutorul metodei propuse

### 5.1.5. Reconstituirea regională a activității avalanșelor de zăpadă

Reconstituirile activității avalanșelor de zăpadă efectuate în cadrul studiului de față evidențiază doi ani în care s-au înregistrat avalanșe de zăpadă în toate cele patru culoare de avalanșă analizate (2005 și 2008). În trei din cele patru culoare de avalanșă analizate au fost au fost identificate avalanșe de zăpadă în anii 1997, 1999, 2003 și 2012 (Fig. 29).

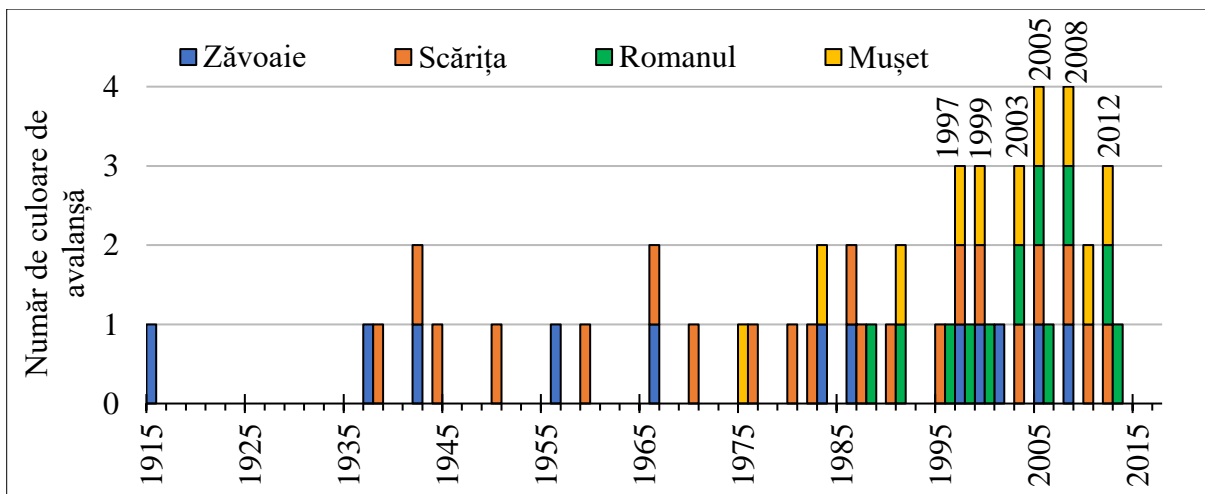


Fig. 29 Numărul și anul avalanșelor de zăpadă reconstituite în culoarele de avalanșă analizate

Activitatea avalanșelor de zăpadă la nivel regional poate fi surprinsă și prin intermediul indicelui regional al activității avalanșelor de zăpadă (RAAI). Valorile acestui indice, calculate pentru cele patru culoare analizate sunt prezentate în Fig. 30.

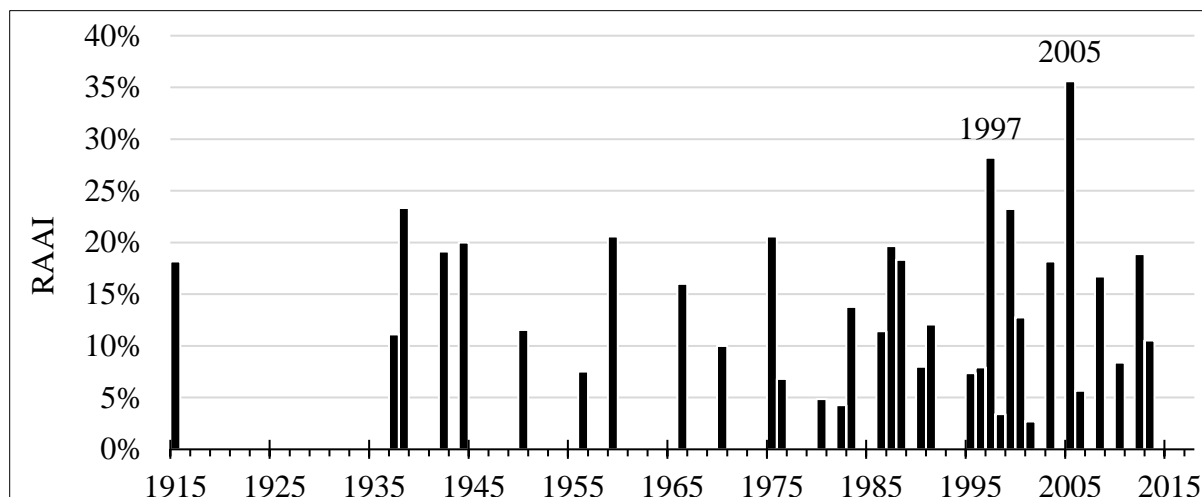


Fig. 30 Indicele regional al activității avalanșelor de zăpadă calculat pentru cele patru culoare de avalanșă analizate în cadrul studiului de față

#### 5.1.6. Evaluarea corelațiilor între AAI, Wit, altitudine și distanța parcursă de avalanșe

Corelația între distanța minimă parcursă de avalanșele de zăpadă reconstituite și indicele activității avalanșelor, pentru fiecare prezintă coeficienți de determinare reduși, sub 0.3 în fiecare culoar de avalanșă. Acești coeficienți demonstrează faptul că magnitudinea reconstituită a avalanșelor de zăpadă nu este influențată de distanța parcursă de acestea.

Corelația între AAI și altitudinea din cadrul culoarului la care s-au oprit avalanșele de zăpadă prezintă valori reduse ale coeficienților de determinare. Cu excepția culoarului Zăvoaie, valorile coeficientului de determinare sunt mai mici de 0.3, sugerând că magnitudinea avalanșelor nu e influențată de altitudinea de care acestea s-au oprit.

Corelația între AAI și Wit prezintă valori ridicate ale coeficientului de determinare, de 0.8-0.9, în toate culoarele de avalanșă analizate, cu excepția culoarului Scărița. Ca urmare, amândoi indici surprind în proporție de 80-90% aceeași variabilitate a datelor.

Valorile minime și maxime ale Wit înregistrate în culoarele analizate (Zăvoaie 1.77 – 42.85, Scărița 5 – 138.28, Romanul 2.59 – 51.33, Mușet 1.61- 42.82) par să fie influențate de numărul de arbori eșantionați în cele patru culoare de avalanșă. De aceea, considerăm că nu poate fi stabilită o valoare prag a indicelui Wit, aplicabilă în orice culoar de avalanșă, care să indice că într-o anumită iarnă s-a produs cu certitudine o avalanșă de zăpadă.

## **5.2. Avantajele și limitele metodei propuse pentru calcul perioadelor de revenire**

Valorile interpolate ale perioadei de revenire a avalanșelor, obținute cu ajutorul metodei existente, sunt considerabil mai mari față de valorile perioadei de revenire obținute cu ajutorul metodei propuse. Aceasta se întâmplă deoarece, cu ajutorul metodei clasice, perioada de revenire este calculată separat, pentru fiecare arbore eșantionat, pe baza vârstei arborelui și a numărului de avalanșe înregistrat de arborele respectiv. Considerăm că, prin această metodă, perioada de revenire rezultată este supraestimată.

Numărul de avalanșe de zăpadă reconstituite cu ajutorul metodei dendrogeomorfologice reprezintă doar aproximativ 40% din avalanșele de zăpadă produse într-un anumit culoar. Astfel, frecvența avalanșelor de zăpadă reconstituită cu ajutorul informațiilor din inelele arborilor constituie doar o frecvență minimă (Luckman, 2010). Așadar, rezultatul obținut cu ajutorul scriptului prezentat în lucrarea de față reprezintă doar un număr minim de avalanșe produse într-un anumit culoar ducând la o valoare maximă a perioadei de revenire.

Renunțând la interpolare, perioada de revenire calculată prin metoda propusă permite evitarea predicțiilor nerealiste, rezultate ale extrapolării (Johnston et al., 2001), în areale situate la distanță față de locațiile arborilor eșantionați, de exemplu în zona de desprindere. Totuși, o limitare a metodei propuse poate fi observată în partea inferioară a zonelor de acumulare unde nu există arbori eșantionați și nu poate fi determinată o valoare a perioadei de revenire.

O limitare a metodei propuse a fost identificată în cazul sectoarelor inferioare ale culoarelor de avalanșă unde versanții au înclinare mai puternică decât culoarul în sine. În această situație, algoritmul upslope area trasează arealul afectat de avalanșă pe versanții culoarului, nu în interiorul acestuia. Limitarea menționată este în majoritatea cazurilor rezolvată prin aplicarea triangulației Delaunay înainte de aplicarea upslope area.

## **5.3. Rezultatele reconstituirii arealelor afectate de avalanșe cu ajutorul teledetecției**

În urma calculării celor 4 indici spectrali (NBR, NDMI, MSI și DI) pe imaginea din 29.07.1985 și pe imaginea din 18.09.1986, s-au observat diferențe semnificative de la o imagine la alta. Acestea se datorează distrugerii suprafețelor forestiere în urma producerii avalanșelor.

În cazul NBR, suprafețele forestiere care au înregistrat scăderi ale valorilor mai mari decât pragul stabilit sunt următoarele: zona superioară a culoarului Zăvoaie, ambele ramificații ale acestui culoar, îndeosebi la unirea lor. La nivelul întregii zone alpine a Munților Parângului, areale semnificative în care distrugerea vegetației poate fi asociată avalanșei de zăpadă analizate au fost identificate în alte 13 culoare de avalanșă. În culoarul Scărița, doar câțiva pixeli situați în apropierea limitei superioare a pădurii sugerează că ar fi putut avea loc o avalanșă în acest areal.

În cazul NDMI, mai puțini pixeli au înregistrat scăderi mai mari decât pragul menționat față de cazul anterior. La nivelul întregii zone alpine a Munților Parângului, concentrări de pixeli afectați pot fi observate în aceleași culoare ca și în cazul anterior. În culoarul Zăvoaie, fiecare arbore afectat are în proximitatea lui cel puțin un pixel afectat. În culoarul Scărița, se observă doar câțiva pixeli care prezintă scăderi semnificative ale valorilor NDMI.

În cazul MSI, suprafețele forestiere afectate de avalanșe au înregistrat o creștere a valorilor în 1986 față de 1985. Suprafețele evidențiate de acest indice sunt ceva mai extinse decât în cazurile anterioare. În culoarul Zăvoaie, fiecare arbore care a înregistrat avalanșa studiată este în interiorul sau în proximitatea unor pixeli afectați. În schimb, în culoarul Scărița doar câțiva pixeli au înregistrat creșteri ale valorilor MSI peste pragul menționat.

În cazul DI, suprafețele forestiere afectate de avalanșe au înregistrat, de asemenea, o creștere a valorilor. Suprafețele evidențiate prin intermediul acestui indice diferă semnificativ față de suprafețele identificate cu ajutorul indicilor anteriori. În culoarul Zăvoaie, numărul pixelilor afectați este mai mic decât în cazurile anterioare. Astfel de pixeli sunt localizați în partea superioară a celor două ramuri ale culoarului și în partea inferioară a ramurii vestice. În schimb, în cadrul culoarului Scărița, suprafețele care au înregistrat creștere a valorilor acestui indice sunt concentrate în partea superioară a culoarului. În restul arealului de studiu, culoarele identificate cu ajutorul indicilor anteriori prezintă și în acest caz concentrări de pixeli afectați.

În culoarele situate sub vârful Păpușa nu a fost identificat nici un pixel care să sugereze impactul avalanșelor de zăpadă asupra arborilor, deoarece culoarul Romanul împreună cu arealul învecinat era acoperit de nori în imaginea din 29 iulie 1985. În culoarul Mușet, această avalanșă de zăpadă nu a fost identificată în arborii eșantionați.

În urma calculării celor 4 indici spectrali (NBR, NDMI, MSI și DI) pe imaginile preluate în 01.07.1984, 29.07.1985, 09.09.1986, 12.09.1987 și 05.08.1988, a fost determinată traiectoria spectrală a suprafețelor forestiere afectate de avalanșe pentru fiecare indice. În cazul NBR, traiectoria spectrală evidențiază valori ridicate și similare ale indicelui în 1984 și 1985, urmate de o scădere bruscă în anul 1986, când se înregistrează cele mai reduse valori. Apoi, în



1987 și 1988 valorile tind să crească, însă nu ating valorile inițiale. În arealele situate în afara culoarelor de avalanșă, valorile indicelui prezintă doar mici oscilații.

În cazul NDMI, traiectoria spectrală evidențiază aceeași tendință ca și în cazul NBR. Însă, scăderea valorilor înregistrată în 1986 față de 1985 este mai accentuată, ajungându-se până la valori negative ale NDMI. Creșterea ulterioară a valorilor este lentă și majoritatea pixelilor nu ating până în 1988 valorile înregistrate înainte de avalanșă. În arealele situate în afara culoarelor de avalanșă, valorile indicelui prezintă doar mici oscilații.

În cazul MSI, traiectoria spectrală exprimă o tendință total diferită. În anii 1984 și 1985, valorile indicelui sunt relativ reduse, dar apropiate. În 1986, în arealele afectate de avalanșă, se constată o creștere a valorilor, ajungând în anumiți pixeli la dublul valorii în 1985. În anii următori, valorile înregistrează o ușoară scădere, dar în majoritatea pixelilor nu se revine la valorile inițiale. În arealele situate în afara culoarelor de avalanșă, valorile indicelui prezintă doar mici oscilații.

În cazul DI, traiectoria spectrală este similară cu traiectoria MSI cu valori inițiale mai reduse și o creștere bruscă în 1986. Însă, spre deosebire de MSI, după 1986 valorile DI nu tind să scadă ci continuă să crească în majoritatea pixelilor afectați. În afara culoarelor de avalanșă, valorile DI sunt mult mai reduse prezentând o dinamică clară: cea mai mare valoare se înregistrează în 1988, a doua cea mai mare valoare în 1984 și valori mai reduse între cele două momente. Faptul că după 1986 valorile DI nu tind să revină la valorile inițiale poate fi asociat cu această dinamică generală, care afectează atât suprafețele din afara culoarelor de avalanșă cât și cele situate în interiorul acestora.

După realizarea analizei de regresie logistică, din cele patru variabile care au intrat în această analiză, cel mai mare scor a fost obținut de  $\Delta DI$  (22.182), urmat îndeaproape de  $\Delta NBR$  (19.434). În cazul  $\Delta NDMI$  și  $\Delta MSI$ , scorul a fost semnificativ mai redus (2.275 și 2.911). Validitatea corelației analizate este confirmată de rezultatele testelor aplicate. Semnificația obținută în urma testului Hosmer–Lemeshow a fost de 0.99. Coeficientul Cox și Snell  $R^2$  are valoarea 0.583. Coeficientul Nagelkerke  $R^2$  are valoarea 0.777

Coeficienții  $R^2$  obținuți prin intermediul regresiei logistice sunt mai mari de 0.5. Aceasta confirmă faptul că, după avalanșa din 1986, afecțiunile arborilor apărute în culoarele de avalanșă au determinat modificarea răspunsului spectral al culoarelor, în timp ce în arealele neafectate, răspunsul spectral a rămas nemodificat.

## 5.4. Condițiile meteorologice necesare pentru declanșarea avalanșelor de zăpadă

Analiza de regresie efectuată a permis identificarea unui set de condiții meteorologice necesare pentru declanșarea avalanșelor de zăpadă majore. Acestea explică peste 60% din variabilitatea totală ( $R^2 = 0.676$ ).

Ierarhizarea influenței fiecărui parametru meteorologic dintre parametrii calculați asupra activității avalanșelor de zăpadă a fost realizată în funcție de valorile coeficienților standardizați beta. Cea mai mare importanță pentru declanșarea avalanșelor de zăpadă o are cantitatea de precipitații căzută în luna aprilie, indiferent de starea de agregare a acestora ( $\beta = 0.432$ ). Următorul parametru în ordinea importanței este constituit de frecvența căderilor de zăpadă de 1-25 cm în 72 h în luna ianuarie ( $\beta = 0.415$ ). Următorul parametru ca importanță este constituit de cantitatea medie zilnică de precipitații căzută în luna decembrie ( $\beta = 0.386$ ). În continuare, următorii parametri sunt: numărul de zile cu temperatură maximă mai mare decât media temperaturii maxime plus abaterea standard în luna martie ( $\beta = -0.278$ ), cantitatea medie zilnică de precipitații căzută în luna februarie ( $\beta = 0.245$ ), numărul de zile consecutive cu temperatură medie pozitivă și strat de zăpadă în luna ianuarie ( $\beta = 0.217$ ) precum și numărul de zile cu creștere a stratului de zăpadă de 15-20 cm în luna noiembrie.

Caracterizarea unei ierni cu cea mai mare probabilitate de apariție a unor avalanșe de zăpadă majore este următoarea: în luna noiembrie se înregistrează un număr cât mai mare de zile cu căderi de precipitații de 15-20 cm. Căderile de zăpadă continuă în luna decembrie, dar creșterea stratului de zăpadă trebuie să fie lentă. Acumularea de zăpadă continuă și în luna ianuarie, când perioadele de creștere a stratului de zăpadă alternează cu perioade mai calde. Datorită temperaturilor pozitive din timpul zilei, zăpada se topește iar noaptea îngheață la loc. Rezultă compactarea învelișului de zăpadă și formarea mai multor straturi de zăpadă separate prin cruste de gheață. În luna februarie continuă acumularea lentă a zăpezii fără destabilizarea stratului de zăpadă existent. În luna martie, este necesar ca numărul de zile cu temperaturi maxime peste medie plus deviația standard să fie cât mai mic (coeficientul  $\beta$  are valoare negativă). Având în vedere faptul că media multianuală a temperaturii maxime înregistrată în luna martie este de  $10.3^{\circ}\text{C}$ , depășirea frecventă a acestei valori cu mai mult de o deviație standard determină topirea rapidă a zăpezii existente, astfel încât nu mai există o cantitate suficientă de zăpadă pentru a declanșa o avalanșă majoră. În fine, în luna aprilie, căderile noi de zăpadă, deși nu foarte abundente, sunt cele care declanșează avalanșele majore de zăpadă în arealul analizat.

## CONCLUZII

Lucrarea de față prezintă printr-o reconstituire dendrogeomorfologică „clasică” aplicată în patru culoare de avalanșă din zona alpină a Munților Parângului. Pe baza anomaliilor de creștere observate în eşantioanele prelevate, au fost identificate avalanșe de zăpadă produse în 34 de ierni pe parcursul ultimilor 100 de ani. Rezultatele obținute atestă faptul că această metodă de analiză poate fi aplicată cu succes pentru a suplini lipsa informațiilor referitoare la activitatea din trecut a avalanșelor de zăpadă. Acest studiu contribuie la o mai bună cunoaștere a istoricului manifestării acestor procese geomorfologice în arealul analizat.

Avalanșa din 1997 este singura avalanșă de zăpadă documentată istoric în arealul de studiu, datorită magnitudinii foarte mari pe care a avut-o, în special în extremitatea vestică a crestei. Această avalanșă a fost reconstituită în trei din cele patru culoare de avalanșă analizate. În fiecare caz, magnitudinea avalanșei a fost mare, înregistrând valori ale AAI de peste 20%.

Formulele personalizate utilizate în cadrul aplicației Microsoft Excel pentru centralizarea anomaliilor de creștere identificate în arborii eşantionați au permis realizarea mult mai rapidă a acestui pas, dar și o evidență mult mai clară a arborilor care au fost afectați de fiecare dintre avalanșele reconstituite. Cu ajutorul lor, a fost posibil ca reevaluarea anomaliilor de creștere să se reflecte instantaneu în centralizarea finală și inclusiv în graficele indicilor activității avalanșelor de zăpadă. De asemenea, centralizarea datelor în acest mod permite calcularea de diverse statistici referitoare la anomaliile de creștere ale arborilor.

Indicele regional al activității avalanșelor de zăpadă arată faptul că avalanșele cu impactul cel mai mare la nivelul întregului areal de studiu au fost cele petrecute în iarna 2004-2005. Această iarnă este cunoscută la nivelul întregului lanț Carpatic pentru multitudinea avalanșelor produse. De asemenea, și în iarna 2007-2008 au fost reconstituite avalanșe în toate cele patru culoare de avalanșă analizate, însă magnitudinea lor a fost mai mică (AAI între 15-19%). Pe lângă aceste evenimente, au mai fost reconstituite avalanșe de zăpadă în trei din cele patru culoare în iernile 1998-1999, 2002-2003 și 2011-2012.

Indicele activității avalanșelor de zăpadă (AAI), deși a fost propus de 30 de ani, este în continuare util și relevant ca și criteriu pentru identificarea iernilor cu avalanșe de zăpadă. Pragul de 10%, acceptat de majoritatea cercetătorilor, facilitează separarea iernilor cu avalanșe de zgomot. În schimb, indicele „nou”, respectiv indicele ponderat al activității avalanșelor de zăpadă (Wit) prezintă valori foarte neuniforme de la un culoar la altul, precum și în cadrul aceluiași culoar de la un an la altul. Datorită mării variații a valorilor acestui indice, nu a putut

fi stabilită o valoare prag, astfel încât iernile în care s-au înregistrat valori mai mari ale Wit să poată fi considerate ierni în care s-au produs avalanșe de zăpadă.

Corelațiile care au fost evaluate între AAI și distanța parcursă de avalanșele de zăpadă, respectiv altitudinea minimă la care au ajuns avalanșele, conform locației arborilor afectați, prezintă coeficienți de corelație reduși. Aceasta înseamnă că o distanță mai mare parcursă de avalanșele de zăpadă sau faptul că avalanșele au coborât până la o altitudine mai mică nu sunt neapărat reflectate de o valoare mai mare a AAI. De asemenea, avalanșele care au parcurs o distanță mai mică sau care s-au oprit în partea superioară a culoarului de avalanșă nu sunt neapărat asociate unei valori mai mici a AAI.

Pentru fiecare avalanșă de zăpadă reconstituită în cadrul acestui studiu a fost delimitată și extensiunea minimă a avalanșei. În premieră, această delimitare a fost realizată nu manual, prin digitizare, ci în mod automat, pe baza trăsăturilor reliefului culoarului de avalanșă.

Trasarea automată a arealelor afectate de avalanșele de zăpadă face parte dintr-un algoritm de lucru propus pentru determinarea perioadei de revenire a acestor procese geomorfologice. Noutatea acestuia constă în renunțarea la calculul perioadei de revenire pentru fiecare arbore eșantionat, în funcție de vârsta acestuia și de avalanșele înregistrate de arbore, precum și renunțarea la utilizarea interpolării. Între avantajele acestuia se remarcă posibilitatea de a determina perioada de revenire inclusiv în zona de desprindere a culoarelor de avalanșă, faptul că valoarea rezultată nu este influențată de vârsta arborilor eșantionați, dar ține cont de caracteristicile reliefului.

Compararea valorilor perioadei de revenire obținute cu ajutorul algoritmului propus cu cele obținute prin intermediul metodei existente arată faptul că în cazul metodei existente perioada de revenire era supraestimată. Arborii din culoarele de avalanșă înregistrează doar avalanșele de zăpadă majore, care le perturbă creșterea. În schimb, avalanșele minore nu pot fi surprinse în cronologiile bazate pe inelele arborilor. De aceea, cu cât valoarea perioadei de revenire este mai mică, cu atât aceasta este mai aproape de realitate. Din acest punct de vedere, considerăm că valorile mai mici ale perioadei de revenire, determinate cu ajutorul metodei propuse, prezintă mai corect realitatea comparativ cu valorile obținute prin intermediul metodei existente.

Rezultatele reconstituirilor efectuate în cadrul studiului de față evidențiază o activitate intensă a avalanșelor de zăpadă în arealul analizat. În partea superioară a culoarelor analizate, frecvența acestora este de una la 3-8 ani. Această frecvență scade odată cu scăderea altitudinii, ajungând în zona inferioară a culoarelor la valori de o avalanșă la 14-30 de ani.

Pe lângă reconstituirea dendrogeomorfologică, o altă dimensiune a lucrării de față o constituie prezentarea unei metodologii pentru identificarea extensiunii spațiale a avalanșelor de zăpadă cu ajutorul imaginilor satelitare. Îmbinarea celor două metode confirmă faptul că, prin analiza a două tipuri total diferite de date (inelele arborilor și imaginile Landsat), se obțin rezultate similare în ceea ce privește extensiunea spațială a avalanșelor de zăpadă din trecut. Pe baza rezultatelor obținute, putem afirma că cele două metode utilizate se validează reciproc.

Analiza condițiilor meteorologice necesare declanșării avalanșelor de zăpadă majore sugerează faptul că precipitațiile sunt cel mai important factor declanșator. O condiție importantă este acumularea zăpezii pe parcursul întregii ierni. O altă condiție este destabilizarea stratului de zăpadă în luna aprilie, datorită unor noi căderi de zăpadă. De asemenea, o anumită importanță o are și metamorfismul zăpezii.

Culoarele de avalanșă analizate se găsesc în apropierea domeniilor schiabile Parâng și Transalpina. Existența unor sectoare de vale acoperite cu zăpadă, dar fără pădure poate să nu sugereze oricui existența unui culoar de avalanșă. Ca urmare, practicanții ski-ului „off piste” ar putea fi atrași de culoarele de avalanșă, fără a conștientiza pericolul la care se expun datorită frecvenței mari a avalanșelor în sectoarele superioare ale acestor culoare.

Extinderea domeniului schiabil Parâng, conform planurilor aprobate de Agenția pentru Protecția Mediului din Hunedoara în 2011, va implica construirea infrastructurii în culoarul de avalanșă din Valea Scărița și în proximitatea culoarului din Valea Zăvoaie. Implementarea acestui proiect trebuie neapărat să țină cont de activitatea intensă a avalanșelor de zăpadă identificată în aceste areale, pentru a nu pune în pericol noua infrastructură și viețile turiștilor care o vor utiliza.

Șoseaua Transalpina traversează unul din culoarele de avalanșă analizate prin zona de desprindere a acestuia. Acest sector a fost traversat de toate cele 11 avalanșe reconstituite. În afara unor plase de protecție care să oprească fragmentele de rocă dezagregate să nu ajungă pe carosabil, nu au fost identificate alte elemente care ar putea proteja șoseaua împotriva avalanșelor de zăpadă. Chiar dacă șoseaua este închisă pe parcursul iernii, considerăm că sunt necesare lucrări care să protejeze carosabilul de impactul avalanșelor de zăpadă.

## BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Alestalo, J. (1971). Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia*.
- Badea, L., Niculescu, G., Roată, S., Buza, M., și Sandu, M. (2001). *Unitățile de relief ale României* (Vol. 1 Carpații Meridionali și Munții Banatului). București: Editura Ars Docendi.
- Birkeland, K. W., Mock, C. J., și Shinker, J. J. (2001). Avalanche extremes and atmospheric circulation patterns. *Annals of Glaciology*, 32, 135-140.
- Bollsweiler, M., Stoffel, M., Schneuwly, D. M., și Bourqui, K. (2008). Traumatic resin ducts in *Larix decidua* stems impacted by debris flows. *Tree Physiology*, 28(2), 255-263.
- Boucher, D., Filion, L., și Héту, B. (2003). Reconstitution dendrochronologique et fréquence des grosses avalanches de neige dans un couloir subalpin du mont Hog's Back, en Gaspésie centrale (Québec). *Géographie physique et Quaternaire*, 57(2-3), 159-168.
- Bud, M. (2008). *Ecoturismul în grupa montană Parâng*. București: Teză de doctorat, Facultatea de Geografie, Universitatea din București.
- Cook, E. R., și Kairiukstis, L. A. (1992). *Methods of dendrochronology : applications in the environmental sciences*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Coteș, P. (1973). *Geomorfologia României*. București: Editura Tehnică.
- Cox, D. R., și Snell, E. J. (1989). *Analysis of binary data* (Vol. 32). CRC Press.
- Dayton, C. M. (1992). Logistic regression analysis. *Stat*, 474-574.
- Douglas, A. E. (1921). Dating our prehistoric ruins. *Natural History*, 21(1), 27-30.
- Dragu, G., Dragomirescu, Ș., Oancea, D., Velcea, V. A., și Caloianu, N. (1987). *Geografia României. Vol. 3: Carpații Românești și Depresiunea Transilvaniei*. București: Editura Academiei Republicii Socialiste România.
- Du, S., și Yamamoto, F. (2007). An overview of the biology of reaction wood formation. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49(2), 131-143.
- Fritts, H. C. (1976). *Tree Rings and Climate*. London: Academic Press.
- Goodwin, N. R., Coops, N. C., Wulder, M. A., Gillanders, S., Schroeder, T. A., și Nelson, T. (2008). Estimation of insect infestation dynamics using a temporal sequence of Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 112(9), 3680-3689.
- Healey, S. P., Cohen, W. B., Zhiqiang, Y., și Krankina, O. N. (2005). Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. *Remote Sensing of Environment*, 97(3), 301-310.

- Hosmer Jr, D. W., Lemeshow, S., și Sturdivant, R. X. (2013). *Applied logistic regression* (Vol. 398). John Wiley și Sons.
- Iancu, S. (1970). *Muntii Parâng: studiu geomorfologic*. Cluj-Napoca: Teza de doctorat: Universitatea Babeș-Bolyai.
- IBM. (2011). *IBM SPSS statistics for windows, version 22.0*. New York: IBM Corp Armonk.
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., și Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS geostatistical analyst* (Vol. 300). Redlands: ESRI.
- Kauth, R. J., și Thomas, G. S. (1976). The tasselled cap--a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. *LARS Symposia* , 159.
- Kennedy, R. E., Yang, Z., și Cohen, W. B. (2010). Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr—Temporal segmentation algorithms. *Sensing of Environment*, 114(2), 2897-2910.
- Keylock, C. J. (2003). The North Atlantic oscillation and snow avalanching in Iceland. *Geophysical Research Letters*, 30(5).
- Kogelnig-Mayer, B., Stoffel, M., Schneuwly-Bollschweiler, M., Hübl, J., și Rudolf-Miklau, F. (2011). Possibilities and limitations of dendrogeomorphic time-series reconstructions on sites influenced by debris flows and frequent snow avalanche activity. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 43(4), 649-658.
- López García, M. J., și Caselles , V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data. *Geocarto International*, 6(1), 31-37.
- Luckman, B. H. (2010). Dendrogeomorphology and Snow Avalanche Research. În M. Stoffel, M. Bollschweiler, D. R. Butler, și B. H. Luckman (Ed.), *Tree Rings and Natural Hazards* (pg. 27-34). Springer Netherlands.
- Martonne, E. (1907). *Recherches sur l' évolution morphologique des Alpes de Transylvanie : (Karpates Méridionales)*. Paris: Librairie Ch. Delagrave.
- Masek, J. G., Vermote, E. F., Saleous, N. E., Wolfe, R., Hall, F. G., Huemmrich, K. F., Gao, F., Kutler, J., și Lim, T. (2006). A Landsat Surface Reflectance Dataset for North America, 1990–2000. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 3(1), 68-72.
- McClung, D., și Schaerer, P. (2006). *The Avalanche Handbook* (ed. 3rd). Seattle: The Mountaineers Books.
- Meseșan, F., Gavrilă, I. G., și Pop, O. T. (2018a). Calculating snow-avalanche return period from tree-ring data. *Natural Hazards*. doi:<https://doi.org/10.1007/s11069-018-3457-y>

- Meseșan, F., Man, T. C., Pop, O. T., și Gavrilă, I. G. (2018b). Reconstructing snow avalanche extent using remote sensing and dendrogeomorphology in Parâng Mountains. *Cold regions science and technology*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2018.10.002>
- Nagelkerke, N. J. (1991). A note on a general definition of the coefficient of determination. *Biometrika*, 78(3), 691-692.
- Nagy, N. E., Franceschi, V. R., Solheim, H., Krekling, T., și Christiansen, E. (2000). Wound-induced traumatic resin duct development in stems of Norway spruce (Pinaceae): anatomy and cytochemical traits. *American Journal of Botany*, 87(3), 302-313.
- Pop, O. T., Gavrilă, I. G., Roșian, G., Meseșan, F., Decaulne, A., Holobâcă, I. H., și Anghel, T. (2016). A century-long snow avalanche chronology reconstructed from tree-rings in Parâng Mountains (Southern Carpathians, Romania). *Quaternary International*, 415, 230-240.
- Pop, O. T., Munteanu, A., Meseșan, F., Gavrilă, I. G., Timofte, C., și Holobâcă, I. H. (2018). Tree ring-based reconstruction of high-magnitude snow avalanches in Piatra Craiului Mountains (Southern Carpathians, Romania). *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 100(2), 99-115.
- Pop, O., Buimagă-Iarinca, S., Stoffel, M., și Anghel, T. (2012). Réponse des épicéas (*Picea abies* (L.) Karst.) à l'accumulation des sédiments dans le bassin de rétention Dumitreleul (Massif du Călimani, Roumanie). *Arbres et Dynamiques*, 71-88.
- QGIS Development Team. (2016). QGIS geographic information system V. 2.18.
- Reardon, B. A., Pederson, G. T., Caruso, C. J., și Fagre, D. B. (2008). Spatial reconstructions and comparisons of historic snow avalanche frequency and extent using tree rings in Glacier National Park, Montana, USA. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 40(1), 148-160.
- RINNTECH. (2016). *RINNTECH - Technology for tree and wood analysis - LINTAB*. Preluat pe 03 23, 2018, de pe <http://www.rinntech.de/content/view/16/47/lang,english/index.html>
- Rock, B. N., Williams, D. L., și Vogelmann, J. E. (1985). Field and airborne spectral characterization of suspected acid deposition damage in red spruce (*Picea rubens*) from Vermont. *Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium*, 71-81.
- Săndulache, C. (2009). *Hazarde și riscuri naturale în Munții Parâng*. București: Teză de doctorat: Facultatea de Geografie, Universitatea din București.
- Shroder, J. F. (1978). Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah. *Quaternary Research*, 9(2), 168-185.



- Simea, I. M. (2012). *Avalanșele din Munții Rodnei*. Cluj-Napoca: Teză de doctorat, Facultatea de Geografie, Universitatea Babeș Bolyai.
- Stoffel, M., și Bollschweiler, M. (2008). Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 187–202.
- Stoffel, M., și Bollschweiler, M. (2009). What Tree Rings Can Tell About Earth-Surface Processes: Teaching the Principles of Dendrogeomorphology. *Geography Compass*, 3(3), 1013-1037.
- Stoffel, M., și Corona, C. (2014). Dendroecological dating of geomorphic disturbance in trees. *Tree-Ring Research*, 70(1), 3-20.
- Stoffel, M., Butler, D. R., și Corona, C. (2013). Mass movements and tree rings: A guide to dendrogeomorphic field sampling and dating. *Geomorphology*, 200, 106-120.
- Wenk, C. (1999). Applying an edit distance to the matching of tree ring sequences in dendrochronology. În M. Crochemore, și M. Paterson (Ed.), *Combinatorial Pattern Matching* (pg. 223-242). Berlin Heidelberg: Springer.