

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC Nr. 4

Contract nr. **19SEE/30.06.2014**

Denumirea Proiectului: Integrarea datelor de teledetecție, din modelare și in-situ pentru evaluarea parametrilor stratului de zăpadă și a hazardelor asociate în perspectiva schimbărilor climatice (SnowBall).

Perioada acoperită: 1.01.2017 - 30.04.2017 **Etapă (nr.):** IV **Data prezentării:** **31.05.2017**

Elaborat de:

Contractor: Administratia Nationala de Meteorologie

Reprezentant autorizat: **Poziție:** Director General
Nume și prenume: Dr. MATEESCU Elena
Semnatura:

Director Economic: Nume și prenume: Ec. MATEESCU Margareta
Semnatura:

Director Proiect: Nume și prenume: Dr. STĂNCĂLIE Gheorghe
Semnatura:
Telefon: +40 21 318 32 40
Fax: +40 21 316 31 43
Email: gheorghe.stancalie@meteoromania.ro

Declarăm, pe proprie răspundere, că datele furnizate prin prezentul Raport de activitate sunt reale și că toate cheltuielile s-au efectuat, atât din resursele de la bugetul Programului cât și, după caz, din cofinanțare privată, în mod exclusiv pentru realizarea și în conformitate cu prevederile contractului nr. 19SEE/30.06.2014 finanțat prin Programul “Cercetare în Sectoare Prioritare”.

Toate cheltuielile sunt înregistrate separat în contabilitate, iar Contractorul va pune oricând la dispoziția Autorității Contractante documentele primare de înregistrare.

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC Nr. 4

ETAPA DE EXECUȚIE NR. 4

TITLU PROIECT: Integrarea datelor de teledetecție, din modelare și in-situ pentru evaluarea parametrilor stratului de zăpadă și a hazardelor asociate în perspectiva schimbărilor climatice (SnowBall).

CUPRINS

1. Obiective generale	4
2. Obiectivele etapei de execuție	4
3. Rezumatul etapei	6
4. Descrierea științifică și tehnică	10
5. Anexe	47
6. Concluzii	51
7. Bibliografie	55
Lista de Acronime	58

1. OBIECTIVE GENERALE

Obiectivul general al proiectului:

Explorarea și dezvoltarea unei metodologii în sprijinul dezvoltării unui viitor serviciu care să ofere autorităților naționale, dar și publicului larg, informații consistente în timp cvasi real, pentru supravegherea caracteristicilor spațio-temporale stratului de zăpadă și a hazardelor asociate (inundații provocate de topirea bruscă a zăpezii și avalanșe), în condițiile climatului prezent și viitor, pe baza datelor de observare măsurate in-situ și a celor furnizate de sateliți.

Pentru a îndeplini obiectivul general, SnowBall a identificat șase obiectivele cheie ale proiectului. Aceste obiective cheie și sub-obiectivele aferente sunt marcate direct, pe sarcini asumate, în fiecare dintre pachetele de lucru.

Obiectivele proiectului:

- Îmbunătățirea rezoluției spațiale și temporale a măsurătorilor parametrilor de zăpadă, in-situ (WP2).
- Dezvoltarea de algoritmi și punerea în aplicare a unui sistem prototip de monitorizare pentru zăpadă prin combinarea datelor: Sentinel-1/-3 prin satelit, de la stațiile de date meteorologice și de modelare hidrologică pentru estimarea parametrilor de zăpadă (WP3).
- Evaluarea impactului schimbărilor climatice asupra resurselor legate de zăpadă și pericole (WP4).
- Definirea și testarea unei metodologie de încredere pentru componenta ciclului hidrogeologic de infiltrare din topire a zăpezilor (WP5).
- Dezvoltarea și implementarea unei proceduri de asimilare de date pentru ajustarea stratului de zăpadă legat de parametrii de stare în cadrul modulului de prognoză hidrologică (WP6).
- Dezvoltarea metodelor de detectare avalanșă, modelare, și de evaluare a riscurilor (WP7).

2. OBIECTIVELE ETAPEI DE EXECUȚIE

WP1 Management:

Activitatea 1.1. Managementul Proiectului

WP2 Măsurarea in-situ a parametrilor stratului de zăpadă

Activitatea 2.2. Observarea și măsurarea parametrilor stratului de zăpadă (grad de realizare 100%);

Activitatea 2.4. Elaborarea de produse folosind baza de date spațiale (grad de realizare 100%).

WP3 Integrarea datelor de teledetecție, din modelare și in-situ pentru evaluarea parametrilor stratului de zăpadă

Activitatea 3.2. Algoritmul și produsul multi-sensor/multi-temporal de zăpadă umedă - MWS (grad de realizare 100%);

Activitatea 3.3. Noul modul al modelului multistrat pentru zăpadă în NOAH (grad de realizare 100%).

WP4 Impactul schimbărilor climatice asupra hazardelor legate de zăpadă

Activitatea 4.1. Variabilitatea și schimbările climatice ale stratului de zăpadă și impactul asociat (grad de realizare 100%);

Activitatea 4.2. Variabilitatea și schimbările din domeniul inundațiilor rapide produse cu contribuția topirii zăpezii asociat (grad de realizare 100%);

Activitatea 4.3. Variabilitate și schimbări în statistica avalanșelor (grad de realizare 100%).

WP5 Modelarea realimentării acviferelor din topirea zăpezii

Activitatea 5.2. Modelarea acviferelor (grad de realizare 100%).

Activitatea 5.3. Modele de corespondență și scenarii climatice (grad de realizare 100%).

WP7 Registrul avalanșelor și hărțile de hazard

Activitatea 7.2. Algoritm de detectare a schimbării pe baza imaginilor Sentinel-1 și Sentinel 2 (grad de realizare 100%);

Activitatea 7.3. Simularea avalanșelor (grad de realizare 100%).

WP8 Promovare și Diseminare

Activitatea 8.1. Site-ul web al proiectului (grad de realizare 100%);

Activitatea 8.3. Acțiuni de diseminare și instruire (grad de realizare 100%).

3. REZUMATUL ETAPEI

WP1 Management

Activitatea 1.1. Managementul Proiectului

Activitatea de management a proiectului a fost asigurată de Administrația Națională de Meteorologie din România ca promotor al proiectului, desfășurându-se pe tot parcursul perioadei ianuarie - aprilie 2017, cuprinzând activitățile de cercetare, administrative și financiare, de comunicare cu Autoritatea Națională în cadrul Ministerului Cercetării și Inovării precum și de exploatare a rezultatelor obținute.

În data de 6 februarie 2017 a avut loc o ședință de lucru via Skype cu partenerii proiectului. Agenda întâlnirii a cuprins în principal pregătirea Rapoartelor anuale pentru 2016 și 2017 precum și a Raportului final al proiectului, conform cu Planul de Management al proiectului și a Actului Adițional nr. 6 din 01.11.2016.

Workshop-ul final al proiectului SnowBall a fost organizat conform Planului de realizare al proiectului (Pachetul de lucru 8: Promovare și Diseminare) și a avut în București, la Hotel Marshal Garden, în data de 27 aprilie 2017. La workshop-ul final au participat reprezentanți ai utilizatorilor rezultatelor proiectului de la: Ministerul Cercetării și Inovării, Ministerului Mediului, Ministerul Apelor și Pădurilor, Inspectoratul general pentru Situații de Urgență, Administrația Națională „Apele Române”, Agenția Spațială Romană, Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară București, Institutul de Geografie al Academiei Române, Facultatea de Geografie din București, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, Facultatea de Automatizări și Calculatoare, Departamentul Calculatoare, Compania Națională de Administrare a Infrastructurii Rutiere, Direcția Topografică Militară, etc. A fost subliniată în mod deosebit implementarea în cadrul Administrației Naționale de Meteorologie a sistemului prototip de monitorizare a zăpezii, care combină datele zilnice furnizate de sateliții Sentinel-1, Sentinel-2 și Sentinel-3, cu observații in-situ de la stațiile meteorologice și cu cele mai moderne modelări climatice ale stratului de zăpadă.

A 3-a Întâlnire Anuală (2017) a proiectului SnowBall a avut loc București, la Hotel Marshal Garden, în data de 28 aprilie 2017. A participat reprezentanții instituțiilor partenere pentru implementarea proiectului din România și Norvegia. Agendă seminarului final este prezentată în Anexa 2.

Au fost prezentate rapoarte succinte privind stadiul final de implementare a bugetului și execuția bugetară pentru perioada 2016-2017. În timpul întâlnirii s-au purtat discuții legate de elaborarea Rapoartelor anuale tehnico-științifice și financiare 2016 și 2017, precum și Raportului final al proiectului. O atenție deosebită a fost acordată indicatorilor planificați/realizați ai proiectului precum și aspectelor legate de activitățile de diseminare. Participanții instituțiilor partenere au discutat pentru identificarea unor noi domenii de aplicații, potențiali noi utilizatori și oportunități de obținere a unor contracte pentru valorificarea rezultatelor obținute în cadrul proiectului SnowBall.

WP2 Măsurarea in-situ a parametrilor stratului de zăpadă

Activitatea 2.2. Observarea și măsurarea parametrilor stratului de zăpadă

Seturi de date privind reflectanța spectrală de zăpadă

În anul 2017, colectarea spectrală a datelor a continuat cu două campanii de măsuratori la Sinaia (Vârful cu Dor - Valea Dorului) și Babele (Babele - Pestera), cu peste 100 de spectre de zăpadă de înaltă calitate măsurate în domeniul vizibil și infraroșu cu spectro-radiometru portabil StellarNet DSR.

Metodologia de măsurare a conținutului de apă lichidă în zăpadă (SLW) cu senzorul de constantă dielectrică

Stațiile de zăpadă automate au efectuat măsurători de permitivitate a zăpezii, ale adâncimii zăpezii, și temperaturii zăpezii în timpul iernii 2016-2017. Permitivitatea dielectrică a zăpezii a fost utilizată cu succes pentru a calcula conținutul de apă lichidă de zăpadă folosind ecuațiile Denoth și Topp.

Activitatea 2.4. – Elaborarea de produse folosind baza de date spațiale

Etapa aceasta a constat în actualizarea seturilor de date grdate zilnice, la rezoluția spațială de 1000 × 1000 m, pentru perioada 01 octombrie 2005 – 30 aprilie 2017, a următorilor parametri:

temperatura aerului (minimă, medie, maximă), precipitațiile atmosferice, grosimea stratului de zăpadă, echivalentul de apă al stratului de zăpadă.

WP3 Integrarea datelor de teledetecție, din modelare și in-situ pentru evaluarea parametrilor stratului de zăpadă:

Activitatea 3.2. – Algoritmul și produsul Multi-sensor / multi-temporal de zăpadă umedă – MWS

Scopul activității în această perioadă a fost testarea și validarea utilizării datelor obținute de la senzorul SLSTR, imbarcat la bordul noului satelit Sentinel-3A. Au fost necesare adaptări ale algoritmilor utilizați pentru acest senzor în comparație cu cei dezvoltați anterior pentru MODIS. Noul algoritm de zăpadă umedă multi-sensor / multi-temporală (MWS) și cele două versiuni de produse bazate pe Sentinel-1 și MODIS, respectiv Sentinel-1 și SLSTR au oferit mai multe date și experiență în sprijinul îmbunătățirii și perfecționării algoritmului, bazat pe date auxiliare.

Calitatea produselor a fost studiată și evaluată pe ambele domenii, România, respectiv sudul Norvegiei. Comportamentul general al produsului ar putea fi evaluat în mod rezonabil în raport cu evoluția temporală a temperaturii aerului măsurată de rețelele naționale de stații meteorologice. Nouă stații meteorologice operate de Institutul Meteorologic Norvegian (MET Norvegia) au fost alese pentru validarea produselor în Norvegia. Paisprezece de stații meteorologice operate de Administrația Națională de Meteorologie (ANM) au fost alese pentru România.

Activitatea 3.3. Noul modul al modelului multistrat pentru zăpadă în NOAH

Metoda de fuziune a datelor pentru estimarea echivalentului de apă al zăpezii ca produs grid cu rezoluție spațială de 1 km la nivel național, implementată într-o primă versiune în perioada anterioară de raportare, a fost aplicată experimental în perioada ianuarie - martie 2017, pentru testare, corectare și îmbunătățirea algoritmilor și fluxului de lucru al procesării datelor.

Rezultatele au fost de asemenea comparate cu o metodă de interpolare de referință, respectiv cu metoda IDW, calculată folosind observațiile de echivalent de apă din stratului de zăpadă, disponibile din rețelele naționale de stații de monitorizare.

Principala îmbunătățire a algoritmilor pentru controlul automat al calității datelor și a interpolării datelor care se utilizează în cadrul metodologiei de fuziune a datelor, a fost realizată luând în considerare influența expunerii versanților și gradul de acoperire cu vegetație asupra evoluției stratului de zăpadă, care este foarte important, în special în perioada de topire a stratului de zăpadă. Această configurație de interdependență s-a bazat pe rezultatele cercetărilor anterioare care au fost realizate folosind datele din bazinele reprezentative din România, iar implementarea s-a făcut folosind abordarea logică fuzzy, pentru a putea integra această dependență într-un mod robust în metoda de fuziune a datelor.

WP4 Impactul schimbărilor climatice asupra hazardelor legate de zăpadă:

Activitatea 4.1. Variabilitatea și schimbările climatice ale stratului de zăpadă și impactul asociat

Principalele activități în anul 2017 au fost sintetizarea rezultatelor impactului schimbării climatice asupra resurselor de zăpadă (ex. echivalentul în apă al zăpezii, contribuția zăpezii în acvifer) și asupra hazardelor asociate (ex. viituri rapide cu contribuția apei rezultate din topirea zăpezii, statistica avalanșelor).

Activitatea 4.2. – Variabilitatea și schimbările din domeniul inundațiilor rapide produse cu contribuția topirii zăpezii asociat

În cadrul Activității 4.2 s-a realizat completarea analizei variabilității și schimbării în statistica debitelor maxime ce conduc la inundații rapide, cu contribuție din zăpada topită, pentru sub-bazinele râului Ialomița. Rezultatele modelului hidrologic CONSUL indică, la fel ca în cazul râului Argeș, că mediile multianuale ale debitelor maxime din intervalul noiembrie-aprilie au tendința să crească în perioada 2021-2050, comparativ cu perioada 1981-2010, atât în cazul scenariului cel mai optimist (RCP 2.6), cât și în al celui mai pesimist (RCP 8.5). De asemenea, pentru bazinele mai mari, s-a

constatat că aceste creșteri sunt sistematic mai mari și ele, în cazul scenariului pesimist, comparativ cu cel optimist, indicând modul în care semnalul schimbării climatice trece peste zgomot (în cazul nostru, variabilitatea climatică). Am analizat și statistica unificată pentru toate sub-bazinele râurilor Argeș și Ialomița și am constatat validitatea concluziilor menționate mai sus.

Activitatea 4.3. Variabilitate și schimbări în statistica avalanșelor

Principalele activități în anul 2017 au constat în sintetizarea rezultatelor impactului schimbărilor climatice asupra hazardurilor (e.g. inundații rapide datorate creșterii debitului maxim, statistica avalanșelor).

WP5 Modelarea realimentării acviferelor din topirea zăpezii:

Activitatea 5.2. Modelarea acviferelor

În anul 2017 în cadrul activității 5.2 Modelarea acviferelor a fost calibrată metodologia de calcul, precum și extrapolarea pentru scenariile climatice. Topirea zăpezii este o componentă majoră a ciclului hidrologic aflată în stransă legătură cu realimentarea acviferelor și a apelor de suprafață. Acviferele acționează ca niște rezervoare naturale ce pot fi folosite ca surse de alimentare cu apă potabilă sau/și pentru irigații. Estimarea topirii zăpezii este extrem de importantă și pentru prognozele de inundații, în modelarea hidrologică a proceselor bazinelor hidrografice (scurgerile de suprafață, supraexploatare, transportul sedimentelor, transportul de nutrienți, adâncimea de sol înghețat), în proiecte generale de design (autostrăzi, podete, canalizare, etc...), în proiecte privind siguranța și recreerea (avertismente de avalanșă, condiții de schi și condițiile de drum prognozate). (Voight, S., 2003).

Activitatea 5.3. Modele de corespondență și scenarii climatice

Activitatea 5.3. Modele de corespondență și scenarii climatice a constatat în reprezentarea proiecțiilor climatice în modelarea modului de infiltrație al apei în structurile acvifere. Scenariile climatice reprezintă modalități alternative, posibile în care viitorul se poate desfășura. Scenariile climatice, au evoluat de la reprezentări stilizate ale creșterilor anuale procentuale ale concentrațiilor medii globale ale GES până la reprezentări avansate ale GES care afectează clima bazate pe ipoteze socio-economice și tehnologice detaliate. Scenariile climatice bazate pe estimarea emisiilor sunt folosite pentru a explora influențele antropogenice ce ar putea contribui la schimbările climatice viitoare, având în vedere incertitudinile factorilor cum ar fi creșterea populației, dezvoltarea economică și dezvoltarea de noi tehnologii. RCP-urile reprezintă cea mai recentă generație de scenarii care oferă informații despre modelele climatice. Progresele științifice cât și interesul crescând în explorarea diferitelor abordări pentru atingerea unor obiective specifice privind schimbările climatice (cum ar fi limitarea schimbării la 2°C) și creșterea interesului pentru o abordare "de gestionare a riscurilor" care combină reducerea emisiilor și adaptarea pentru a reduce daunele provocate de schimbările climatice au dictat de asemenea necesitatea unor noi scenarii. (van Vuuren D. P. et al. 2011).

WP7 Registrul avalanșelor și hărțile de hazard:

Activitatea 7.2. – Algoritm de detectare a schimbării pe baza imaginilor Sentinel-1 și Sentinel 2

S-a finalizat activitatea 7.2 referitoare la schimbările stratului de zăpadă induse de avalanșe pe baza imaginilor HR SAR și optice, fiind analizate imagini din arhiva Sentinel pentru lunile de iarnă din 2017 în arealul test din M. Făgăraș.

Activitatea 7.3. – Simularea avalanșelor

În această etapă s-a continuat și finalizat activitatea legată de simularea traiectoriilor avalanșelor pe diverse tipuri de condiții legate de parametri de zăpadă (diverse valori de grosime a stratului de zăpadă) și diverse scenarii de frecvență și magnitudine a avalanșelor. S-a finalizat identificarea arealelor potențiale de desprindere a depozitelor de zăpadă pe baza parametrilor morfometrici derivați din modelul altitudinii terenului.

S-a finalizat harta de hazard la avalanșe pe baza integrării datelor rezultate din analiza topografică-statistică și a celor rezultate din simulare pentru arealul central al M. Făgăraș.

WP8 Promovare și Diseminare:

Activitatea 8.1. Situl web al proiectului

Site-ul web al proiectului (<http://snowball.meteoromania.ro>), a fost actualizat în permanență. Portalul SnowBall pune la dispoziție infrastructura de comunicare și diseminare.

Activitatea 8.3. Acțiuni de diseminare și instruire

Acțiunile de diseminare și instruire s-au desfășurat în conformitate cu strategia de diseminare, inclusă în planul de Publicitate al proiectului: conștientizarea comunității de utilizatori privind oportunitățile oferite de proiectul Snowball; comunicarea rezultatelor obținute în cadrul proiectului; pregătirea materialelor suport pentru produsele create în proiect (documentații, flyere, postere, etc); asigurarea vizibilității proiectului la nivel național și internațional.

Membrii echipelor de cercetare din cadrul consorțiului proiectului Snowball au participat cu prezentări orale și postere la manifestări științifice importante pentru subiectele abordate în proiect. De asemenea, au fost elaborate articole pentru publicare în reviste internaționale și naționale relevante pentru obiectivele proiectului. La finalul proiectului, în data de 27 aprilie 2017 în București, la Hotel Marshal Garden, a fost organizată conferința finală dedicată prezentării rezultatelor obținute în cadrul proiectului. A fost prezentată și distribuită cartea intitulată "Remote sensing, model and in-situ data fusion for snowpack parameters and related hazards in a climate change perspective" ("Integrarea datelor de teledetecție, din modelare și in-situ pentru evaluarea parametrilor stratului de zăpadă și a hazardelor asociate în perspectiva schimbărilor climatice"), coordonator Gheorghe Stăncălie, editor Anișoara Irimescu, ISBN 978-606-23-0733-2, Ed. Printech, 163 pagini.

Al treilea newsletter-e (format electronic) a fost elaborat și încărcat pe pagina web a proiectului și distribuit pe către lista de utilizatori finali ai proiectului SnowBall.

4. DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ

4.1. WP1 Management

4.1.1. Activitatea 1.1 Managementul Proiectului

Activitatea de management a proiectului a fost asigurată de Administrația Națională de Meteorologie din România ca promotor al proiectului, desfășurându-se pe tot parcursul perioadei ianuarie – aprilie 2017, cuprinzând activitățile de cercetare, administrative și financiare, de comunicare cu Autoritatea Națională în cadrul ministerului Cercetării și Inovării (MCI) precum și de exploatare a rezultatelor obținute. În vederea asigurării îndeplinirii obiectivelor proiectului au avut loc întâlniri ale grupurilor de lucru, precum și o strânsă comunicare prin internet între parteneri.

În data de 6 februarie 2017 a avut loc o ședința de lucru via Skype cu partenerii proiectului.

În tabelul 4.1.1 se prezintă participanții la Întâlnirea de lucru.

Tabelul 4.1.1: Lista participanților la sedinta de lucru via Skype din 6.02.2017

Nume	Instituție	E-mail address
Gheorghe Stăncălie	Director de proiect Administrația Națională de Meteorologie București	gheorghe.stancalie@meteoromania.ro
Andrei Diamandi	Administrația Națională de Meteorologie București	diamandi@meteoromania.ro
Roxana Bojariu	Administrația Națională de Meteorologie București	bojariu@meteoromania.ro
Narcisa Milian	Administrația Națională de Meteorologie București	narcisa.milian@gmail.com
Anișoara Irimescu	Administrația Națională de Meteorologie București	anisoara.irimescu@meteoromania.ro
Denis Mihăilescu	Administrația Națională de Meteorologie București	denis.mihailescu@meteoromania.ro
Arnt-Borre Salberg	Norwegian Computing Center, Oslo – P1	arnt-borre.salberg@nr.no
Rodica Mic	Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor, București – P3	Rodica.mic@hidro.ro
Ciprian Corbuș	Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor, București – P3	ciprian.corbus@hidro.ro
Dragoș Găitănanu	Universitatea Tehnică din București /CCIAS – P2	dragos.gaitanaru@gmail.com
Florina Ardelean	Universitatea de Vest din Timișoara, Departamentul de Geografie – P4	florina.ardelean@e-uvv.ro

Agendă întâlnirii a cuprins:

- Pregătirea Rapoartelor anuale pentru 2016 și 2017 precum și a Raportului final al proiectului, conform cu Planul de Management al proiectului și a Actului Adițional nr. 6 din 01.11.2016;
- Pregătirea Întâlnirii anuale 2017 și a workshop-ului final și stabilirea planurilor amânunțite de activitate asociate;
- Activități administrative și de organizare;
- Raportările financiare;
- Deliverabilele proiectului;
- Indicatorii proiectului;

- Activitatea de diseminare a rezultatelor proiectului: articol blog, leaflet-uri, broșuri, lucrări științifice pentru publicare în reviste cu factor de impact, lucrări pentru prezentare în cadrul conferințelor/sesiunilor științifice.

S-a decis elaborarea unei cărți de 120 – 130 pagini, care să cuprindă principalele rezultate obținute în cadrul proiectului, care să se adreseze în principal utilizatorilor din domeniul meteorologiei, climatologiei, hidrologiei apelor de suprafață și subterane, gospodăririi apelor, managementului situațiilor de urgență (inundații, avalanșe), turism, media.

În perioada 20 – 30 martie 2017 a fost discutată prin e-mail cu partenerii din proiect lista actualizată și conținutul materialelor promoționale: Broșura proiectului – versiunea 2 / limba română; Pliantul proiectului – limba română; Newsletter 2, limba română; Newsletter 3, limba română; Broșura proiectului – versiunea 2 / limba engleză; Pliantul proiectului – limba engleză; Newsletter 2, limba engleză; Newsletter 3, limba engleză; Articol de blog.

În data de 10 mai 2017 au fost transmise Autorității contractante, link-urile de unde pot fi descărcate materialele promoționale realizate în cadrul proiectului SnowBall (majoritatea fiind postate pe pagina de web a proiectului: <http://snowball.meteoromania.ro/gallery-ro/gallery-ro>).

Workshop-ul final al proiectului SnowBall a fost organizat conform Planului de realizare al proiectului (Pachetul de lucru 8: Promovare și Diseminare) și a avut loc în București, la Hotel Marshal Garden, în data de 27 aprilie 2017. Agenda seminarului final este prezentată în Anexa 1.

La workshop-ul final au participat reprezentanți ai utilizatorilor rezultatelor proiectului de la: Ministerul Cercetării și Inovării, Ministerul Mediului, Ministerul Apelor și Pădurilor, Inspectoratul general pentru Situații de Urgență, Administrația Națională „Apele Române”, Agenția Spațială Română, Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară București, Institutul de Geografie al Academiei Române, Facultatea de Geografie din București, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, Facultatea de Automatizări și Calculatoare, Departamentul Calculatoare, Compania Națională de Administrare a Infrastructurii Rutiere, Direcția Topografică Militară, etc.

De asemenea au participat reprezentanți ai instituțiilor partenere în proiect: Administrația Națională de Meteorologie, Norwegian Computing Center Oslo, Universitatea Tehnică de Construcții – Centrul de Cercetare Ingineria Apelor Subterane București, Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor București și Universitatea de Vest – Departamentul de Geografie, Timișoara.

În cadrul seminarului au fost prezentate și discutate principalele realizări ale proiectului.

Scopul principal al proiectului a fost acela de a dezvolta un nou serviciu care să ofere autorităților naționale, dar și publicului larg, informații consistente în timp cvasi real, pentru supravegherea caracteristicilor spatio-temporale stratului de zăpadă și a hazardelor asociate (inundații provocate de topirea bruscă a zăpezii și avalanșe), în condițiile climatului prezent și viitor, pe baza datelor de observare măsurate in-situ și a celor furnizate de sateliți.

A fost subliniată în mod deosebit implementarea în cadrul Administrației Naționale de Meteorologie a sistemului prototip de monitorizare a zăpezii, care combină datele zilnice furnizate de sateliții Sentinel-1, Sentinel-2 și Sentinel-3, cu observații in-situ de la stațiile meteorologice și cu cele mai moderne modelări climatice ale stratului de zăpadă.

Reprezentanții diferitelor organisme și instituții au apreciat aplicabilitatea imediată în activități operaționale și de cercetare a rezultatelor prezentate precum: modelarea hidrologică, avertizarea asupra producerii viiturilor rapide prin topirea zăpezii și avertizarea producerii avalanșelor. Un interes deosebit a fost reprezentat și de posibilitățile de evaluare a impactului zăpezii în condițiile climatice actuale și în cele viitoare asupra statisticilor viiturilor rapide produse cu contribuția topirii zăpezii, statisticile avalanșelor și, respectiv, ale apelor subterane.

A 3-a Întâlnire Anuală (2017) a proiectului SnowBall a avut loc București, la Hotel Marshal Garden, în data de 28 aprilie 2017. Au participat reprezentanții instituțiilor partenere pentru implementarea proiectului din România și Norvegia. Agenda seminarului final este prezentată în Anexa 2.

Au fost prezentate rapoarte succinte privind stadiul final de implementare a bugetului și execuția bugetară pentru perioada 2016-2017.

În timpul întâlnirii s-au purtat discuții legate de elaborarea Raportelor anuale tehnico-științifice și financiare 2016 și 2017, precum și Raportului final al proiectului. O atenție deosebită a fost acordată

indicatorilor planificați/realizați ai proiectului precum și aspectelor legate de activitățile de diseminare.

Participanții instituțiilor partenere au discutat pentru identificarea unor noi domenii de aplicații, potențiali noi utilizatori și oportunități de obținere a unor contracte pentru valorificarea rezultatelor obținute în cadrul proiectului SnowBall.

Folosind experiența dobândită în timpul implementării proiectului și excelențele relații de colaborare stabilite între cercetătorii români și norvegieni, o atenție deosebită a fost acordată pregătirii unor noi proiecte, în cadrul programelor de cercetare-dezvoltare ce vor demara în viitorul apropiat (SEE, ESA, H2020).

Responsabilii de activități și-au stabilit echipele de lucru pentru realizarea obiectivelor propuse. De asemenea au fost nominalizați responsabilii livrabililor pentru perioada raportată (tabelul 4.1.2).

Tabelul 4.1.2: Lista livrabililor pentru perioada raportată

LISTA LIVRABILELOR - 2017					
Nr. livr.	Nume Livrabil	Nr. WP	Conducator WP	Data livrării	Responsabil
1	D1.2. Rapoarte anuale de proiect	1	CO	În fiecare an	Gheorghe Stăncălie
2	D2.4 Șirurile de date SD și SWE (de la AWS) – Versiunea 2	2	CO	33	Vasile Crăciunescu
3	D2.6 Seturile de date de reflectanță spectrală a zăpezii – Versiunea 2	2	CO	33	Andrei Diamandi
4	D2.10 Seturile de date ale parametrilor stratului de zăpadă – Versiunea 2	2	CO	33	Vasile Crăciunescu
5	D2.14 Seturi de date meteorologice și hidrologice in-situ și istorice legate de zăpadă – Versiunea 2	2	CO	33	Vasile Crăciunescu
6	D2.16 Cartarea produselor derivate din baza de date spațiale – Versiunea 2	2	CO	33	Alexandru Dumitrescu
7	D3.7 Produse-prototip gridate SWE, generate prin utilizarea metodologiei de fuziune – Versiunea 2	3	P3	34	Marius Mătreăț
8	D4.4 Evaluarea impactului schimbărilor climatice (1981-2010 vs. 2021-2050) asupra scurgerii maxime din perioada de trecere de la iarnă la primăvară în partea superioară a bazinelor râurilor Argeș-lalomița	4	P3	31	Roxana Bojariu Rodica Mic Ciprian Corbuș
9	D4.5. Raport public al impactului schimbărilor climatice asupra resurselor legate de zăpadă (contribuția zăpezii la acvifere) și a hazardelor	4	P2	34	Roxana Bojariu Radu Gogu
10	D4.6. Hărți detaliate SIG ale modificării scurgerii apei în condiții climatice prezente și viitoare în perioada de trecere de la iarnă la primăvară și debitul maxim, statistica avalanșelor și rezerva	4	CO	34	Roxana Bojariu

	de apă din acvifere în zona de interes				
11	D5.3 Resursele de apă subterană în contextul schimbărilor climatice	5	P2	31	Radu Gogu
12	D7.3 Hărțile de hazard al avalanșelor	7	P4	34	Mircea Voiculescu
13	D8.6. Produse pentru vizibilitate (bannere, postere etc.)	8	CO	la fiecare sesiune de diseminare	Denis Mihăilescu
14	D8.7. Pachete de prezentare a proiectului la conferințe	8	CO	la fiecare sesiune de diseminare	Vasile Crăciunescu
15	D8.8. Raport al acțiunii de diseminare	8	CO	În fiecare an	Oana Nicola
16	D8.9. Newsletter al proiectului (e-zine) - format digital	8	CO	În fiecare an	Vasile Crăciunescu
17	D8.5. Raportul global asupra proiectului	8	CO	34	Gheorghe Stăncălie

4.2.WP2 Măsurarea in-situ a parametrilor stratului de zăpadă

4.2.1. Activitatea 2.2. Observarea și măsurarea parametrilor stratului de zăpadă

În 2017, colectarea de date spectrale a continuat cu două campanii de câmp în Sinaia (Babeș - Pestera) și Babele (Babele - Pestera), cu mai mult de 100 de spectre noi de zăpadă în vizibil și infraroșu colectate cu ajutorul dispozitivului portabil DSR (StellarNet) Spectro-radiometru (figurile 4.2.2-4.2.3). În Figura 4.2.1, configurarea spectro-radiometrului DSR pentru obținerea de date spectrale este prezentată la unul din locurile de pe traseul de măsurare Babele-Pestera.

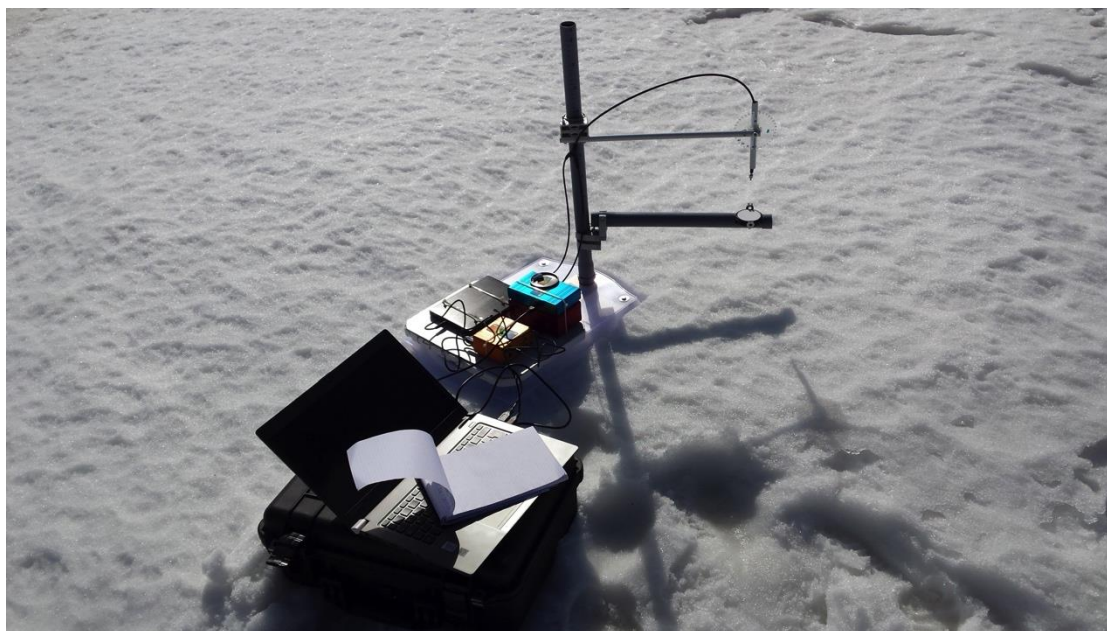


Figura 4.2.1: The spectro-radiometrul DSR pregătit pentru măsurarea spectrului zăpezii, Babele 2017.

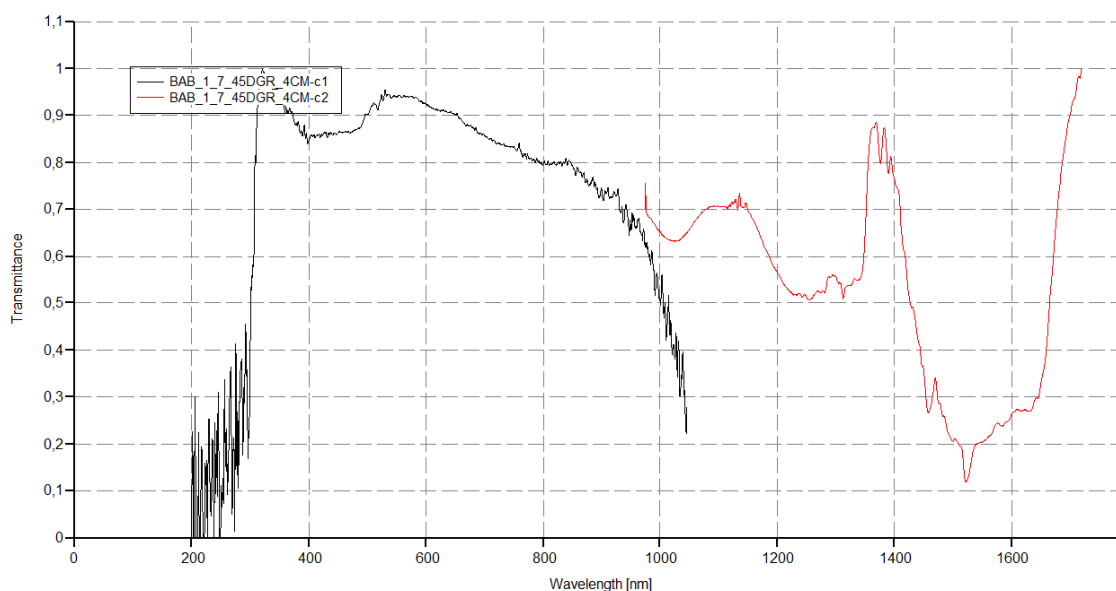


Figura 4.2.2: Spectrul de transmisie a zăpezii, Babele, 01/02/2017 11:34.

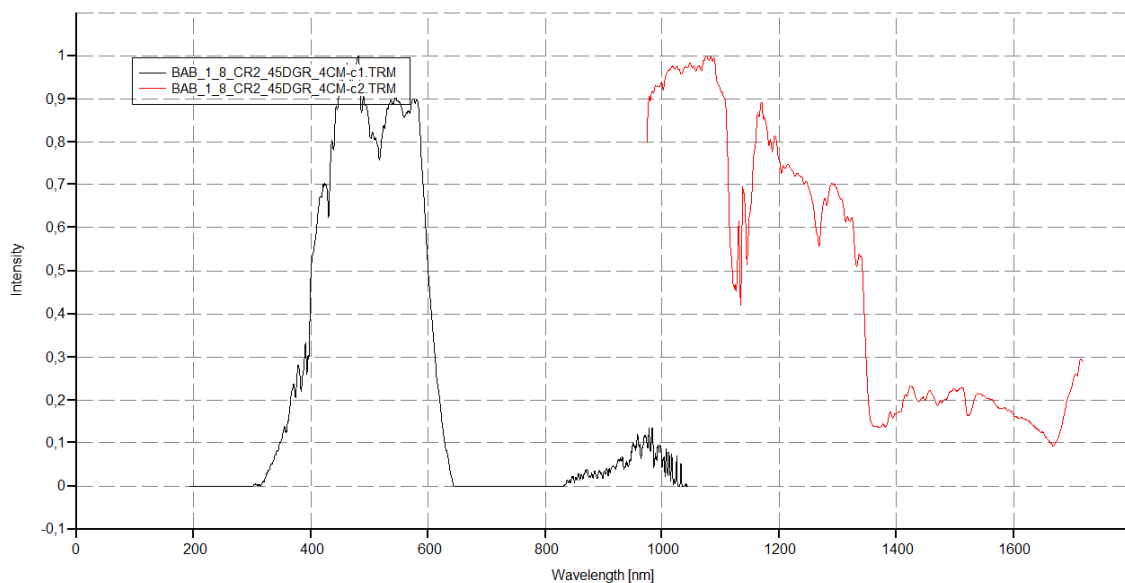


Figura 4.2.3: Spectrul de iradianță a zăpezii, Babele, 01/02/2017 11:50.

Se observa la spectrele de zăpadă prezentate în Figurile 4.2.2 – 4.2.3, minime la 1 μm și 1,5 μm , confirmând calitatea achiziției de date. Setul de date obținut până în prezent acoperă o gamă largă de condiții meteorologice și de zăpadă (unghiuri solare, unghiuri de vizualizare spectro-radiometru, temperatura aerului, iluminare etc.).

Metodologia de măsurare a conținutului de apă lichidă în zăpadă (SWC)

Senzorii Decagon 5TM au fost selectați pentru măsurători capacitive de umezeală a zăpezii în proiectul SnowBall. Sondele au fost amplasate la stațiile cal / val din Joseni și Târgu Secuiesc și la 7 stații meteorologice din zona de test a proiectului: Sinaia 1500, Varfu Omu, Predeal, Curtea de Argeș, Fundata, Balea Lac și Salvamont Cota 2000 (Valea Argeșului).

Conținutul de lichid de apă de zăpadă (SWE) va fi calculat din măsurătorile permitivității zăpezii folosind ecuația Denoth (1) și Topp (2):

$$\epsilon = 1 + 1.92 \rho + 0.44 \rho^2 + 0.187 \text{SWE}_{\text{Denoth}} + 0.0045 (\text{SWE}_{\text{Denoth}})^2 \quad (1)$$

$$\text{SWE}_{\text{Topp}} = 4.3 * 10^{-6} \epsilon^3 - 5.5 * 10^{-4} \epsilon^2 + 2.92 * 10^{-2} \epsilon - 5.3 * 10^{-2} \quad (2)$$

unde ϵ este partea reală a permitivității dielectrice de zăpadă măsurată cu senzorul Decagon 5TM, ρ este densitatea zăpezii iar $\text{SWE}_{\text{Denoth}}$ și SWE_{Topp} conținutul de apă volumetrică.

Un exemplu de calcul al conținutului de apă lichidă în zăpadă cu formulele Denoth și Topp este prezentat în Figura 4.2.4. Graficul Denoth SWC urmează foarte bine SWC calculat cu formula lui Topp.

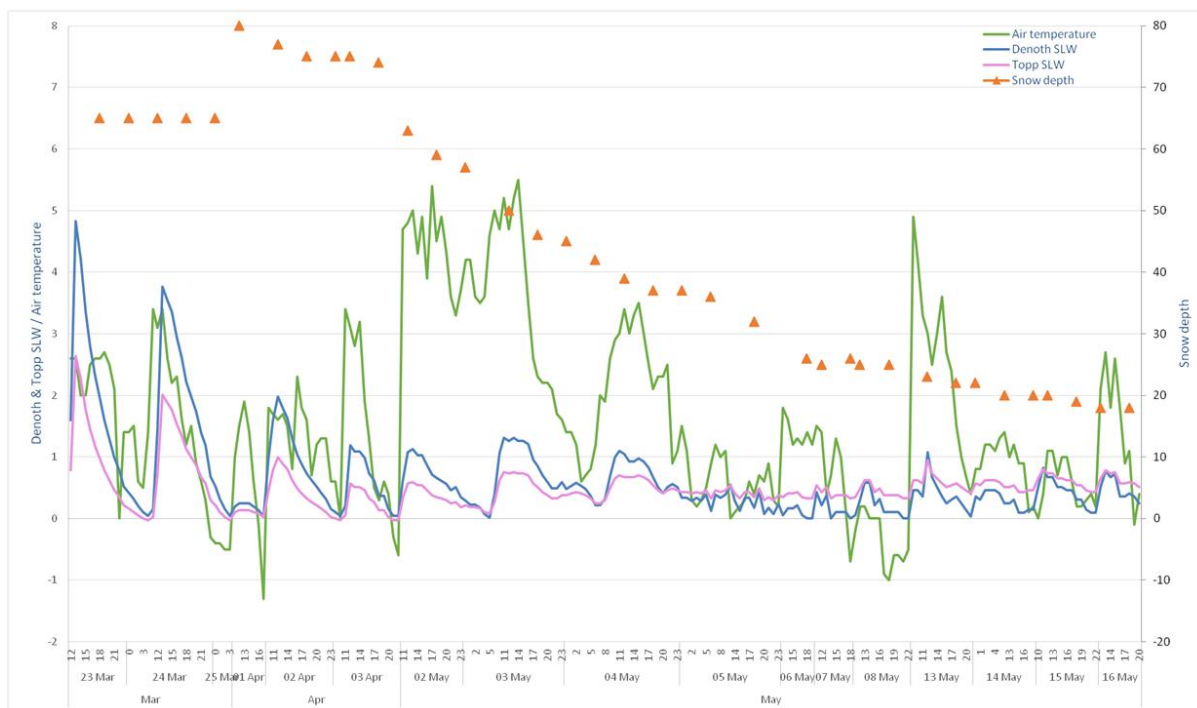


Figura 4.2.4: Variația diurnă a SWC Denoth și SWC Topp, a temperaturii și grosimii zăpezii, Martie-Mai 2017 la stația Vf.Omu.

Mai multe detalii despre seturile de date de reflectanță obținute în timpul campaniilor de teren sunt prezentate în deliverabilul D2.6: „Seturile de date de reflectanță spectrală a zăpezii – Versiunea 2”.

4.2.2. Activitatea 2.4. Elaborarea de produse folosind baza de date spațiale

Interpolarea spațială a datelor de la stațiile meteorologice a constat în trei etape:

- (1) Interpolarea spațială la o rezoluție spațială de 1000×1000 m a valorilor medii multianuale (2005-2015) corespunzătoare fiecărei luni, calculate din datele extrase din baza de date climatologică;
- (2) Calculul abaterilor zilnice/pentadice față de media lunară multianuală, pentru fiecare zi/pentadă și an din intervalul 2005-2017, și interpolarea spațială a acestora;
- (3) Obținerea seturilor de date spatio-temporale prin îmbinarea celor două suprafețe obținute în etapele 1 și 2.

Pentru temperatura aerului, anomaliile au fost considerate drept diferențele dintre valorile orare și mediile multianuale, iar în cazul precipitațiilor și stratului de zăpadă, s-a utilizat raportul dintre valorile orare și climatologie. Hărțile cu normalele climatologice (mediile multianuale) au fost realizate prin metoda de interpolare spațială Regression Kriging (RK). Pentru alegerea metodei optime de spațializare a abaterilor, au fost testate – prin aplicarea procedurii de validare încrucișată – trei metode de interpolare: multicuadratică (MQ), kriging normal (OK) și inversul distanței (IDW).

La realizarea climatologiei gridate s-au utilizat ca date principale valorile medii lunare multianuale ale parametrilor de interes. De asemenea, următoarele date auxiliare, derivate din Modelul Numeric Altimetric, au fost luate în calcul în procedura de spațializare: altitudinea, altitudinea medie pe o rază de 20 km, latitudinea, distanța față de Marea Neagră și distanța față de Marea Adriatică. Hărțile normalelor climatologice au fost obținute cu ajutorul metodei RK, metodă ce folosește una sau mai multe variabile cu o distribuție continuă în spațiu (modelul numeric altimetric, imagini satelitare etc.). Din cauza efectului de coliniaritate (variabile independente corelate între ele), predictorii derivați din MNA au fost filtrați cu ajutorul analizei componentelor principale (PCA). Filtrarea predictorilor prin PCA a fost realizată prin transformarea variabilelor inițiale într-un nou set de variabile independente (necorelate între ele) și de dimensiune mai mică.

Pentru fiecare lună au fost identificate mai întâi relațiile statistice dintre valorile de temperatură

minimă și variabilele auxiliare (predictorii PCA). Prin regresiei *stepwise* de tip retrograd, s-au selectat, pentru fiecare caz în parte (parametru/lună), predictorii semnificativi din punct de vedere statistic. Hărțile lunare cu mediile multianuale la rezoluția spațială de 1000×1000 m au fost obținute prin metoda RK, pentru parametrii de interes. Pentru alegerea procedurii optime de interpolare a anomaliilor zilnice față de mediile multianuale, au fost testate trei metode: distanța inversă ponderată (IDW), multicuadratică (MQ) și kriging normal (OK).

Validare

Pentru alegerea metodei optime de interpolare a abaterilor, s-a aplicat procedura de **validare încrucișată**. Aceasta presupune eliminarea pe rând a unei valori din mulțimea valorilor observate și determinarea valorii punctului exclus pe baza celorlalte date observate. Diferența dintre datele estimate **P** și cele măsurate **O** reprezintă eroarea experimentală ε :

$$\varepsilon_i = P(s_i) - O(s_i)$$

Cuantificarea diferențelor dintre estimări și datele observate s-a realizat cu ajutorul indicatorilor de măsurare a erorilor :

- eroarea medie (ME) reprezintă mediile diferențelor dintre valorile estimate și cele măsurate

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_{s_i} - O_{s_i})$$

- eroarea medie absolută (MAE) reprezintă mediile diferențelor absolute dintre valorile estimate și cele măsurate:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_{s_i} - O_{s_i}|$$

- eroarea pătratică medie (RMSE) este senzitivă la prezența erorilor mari, procesul de ridicare la pătrat atribuind ponderi disproporționate reziduurilor:

$$RMSE = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_{s_i} - O_{s_i})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Diagrama de tip box-plot furnizează informații privind tendința centrală și forma distribuției șirului de date, rezultate prin rezumarea celor 5 valori ce definesc o distribuție: valoarea minimă, prima quartilă, mediana, a treia quartilă și valoarea maximă. Mediana este marcat pe diagramă prin punctul negru, cele două quartile delimitând dimensiunea dreptunghiului albastru. Valorile aberante, cerculețele albastre, sunt delimitate de pragul **3xD** (**D** reprezentând distanța dintre prima și a treia quartilă), reprezentată pe diagramă prin lungimea liniei albastre punctate.

Diagrama de tip Taylor a fost de asemenea utilizată analiza calitativă a rezultatelor metodelor de interpolare (Taylor 2001). Utilizând această metodă, similaritatea dintre 2 seturi de date (observat vs. estimat) este cuantificată prin calcularea coeficientului de corelație Pearson, erorii pătratice medii (RMSE) și a deviației standard.

Temperatura minimă a aerului

Rezultatele validării încrucișate, obținute în urma aplicării celor trei metode de interpolare, sunt sintetizate în diagrama de tip box-plot. Indiferent de criteriul de cuantificare a erorilor (ME, MAE, RMSE), se constată că estimările metodelor de interpolare sunt foarte asemănătoare, deosebirea realizându-se în special după criteriul ME, care scoate în evidență rezultatele mai apropiate de valorile măsurate obținute de metoda OK.

Având în vedere că ambele metode de validare a metodelor de interpolare scot în evidență rezultatele bune obținute de metoda MQ, s-a decis ca această metodă să fie aplicată în interpolarea spațială a anomaliilor. Prin însumarea hărților reprezentând anomaliile zilnice ale temperaturilor minime cu hărțile reprezentând normalele climatologice s-au obținut hărțile zilnice de temperatură minimă a aerului la o rezoluție spațială de $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$.

Din datele gridate zilnice privind temperatura minimă a aerului, a fost calculată temperatura minimă lunară înregistrată în intervalul octombrie 2005 – aprilie 2017 (Figura 4.2.5). Cele mai mici temperaturi s-au înregistrat în luna februarie și ianuarie, când acestea au fost mai mici de -30°C în depresiunile intramontane din estul Transilvaniei, unde frecvent în sezonul rece se produce fenomenul de inversiune termică.

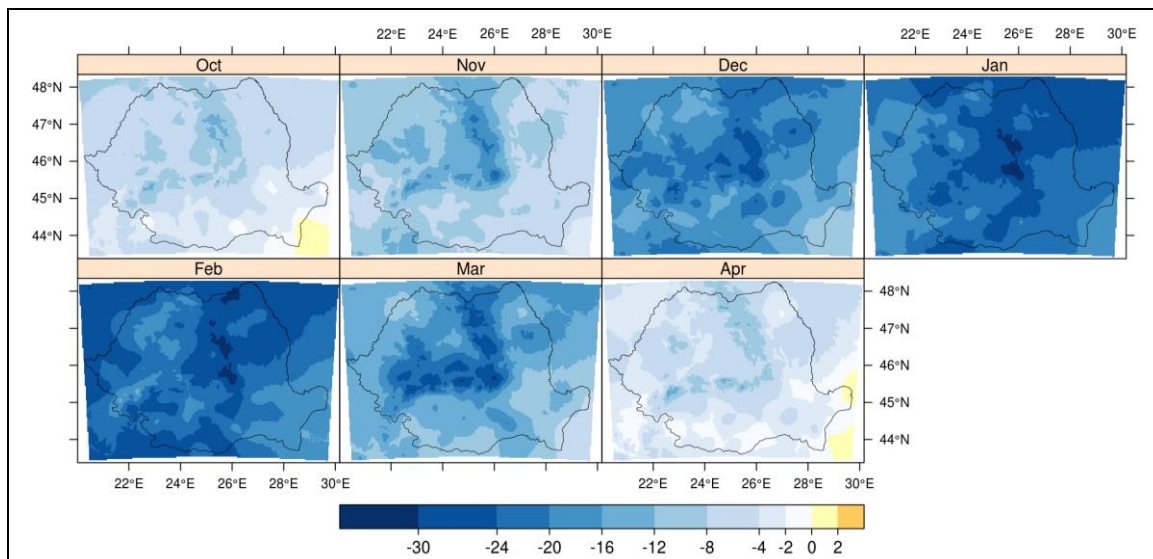


Figura 4.2.5: Temperaturi ($^{\circ}\text{C}$) minime lunare ale aerului înregistrate în perioada 2005-2017.

Temperatura maximă a aerului

Și în acest caz s-a decis ca metoda MQ să fie utilizată pentru realizarea hărților cu anomalii zilnice. Hărțile cu distribuția teritorială a temperaturilor maxime ale aerului, obținute din seturile de date gridate zilnice, sunt prezentate în Figura 4.2.6. Valorile cele mai mari ale temperaturilor maxime ale aerului sunt de peste 30°C , acestea înregistrându-se în lunile octombrie și aprilie în zonele joase din Câmpia Română și Câmpia de Vest. În toate cazurile analizate, temperaturile maxime lunare sunt mai mari de 0°C .

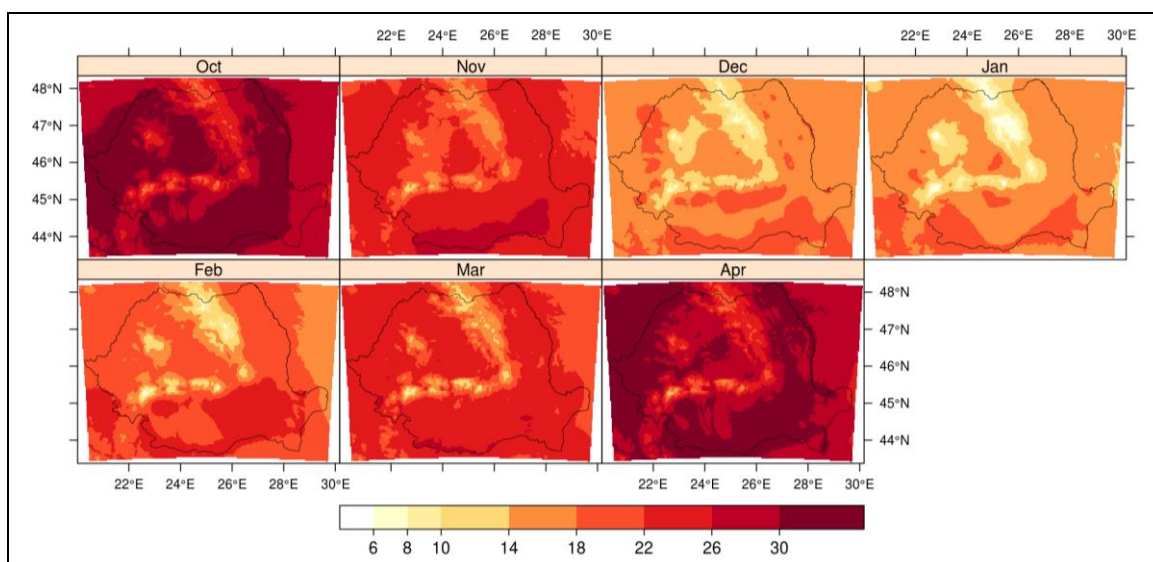


Figura 4.2.6: Temperaturi ($^{\circ}\text{C}$) maxime ale aerului lunare înregistrate în perioada 2005-2017.

Grosimea stratului de zăpadă

Grosimea maximă lunară a stratului de zăpadă a fost calculată din datele gridate zilnice de grosime a stratului de zăpadă, pentru fiecare punct de grilă (Figura 4.2.7). Valorile cele mai mari ale acestui

parametru corespund zonelor montane înalte (peste 200 cm începând cu luna ianuarie), acestea persistând, datorită temperaturilor medii negative, până în luna aprilie. De asemenea, strat considerabil de zăpadă se regăsește și în regiunile extra carpatice (mai mari de 50 cm), consecință a episoadelor de viscol specifice primelor două luni din an.

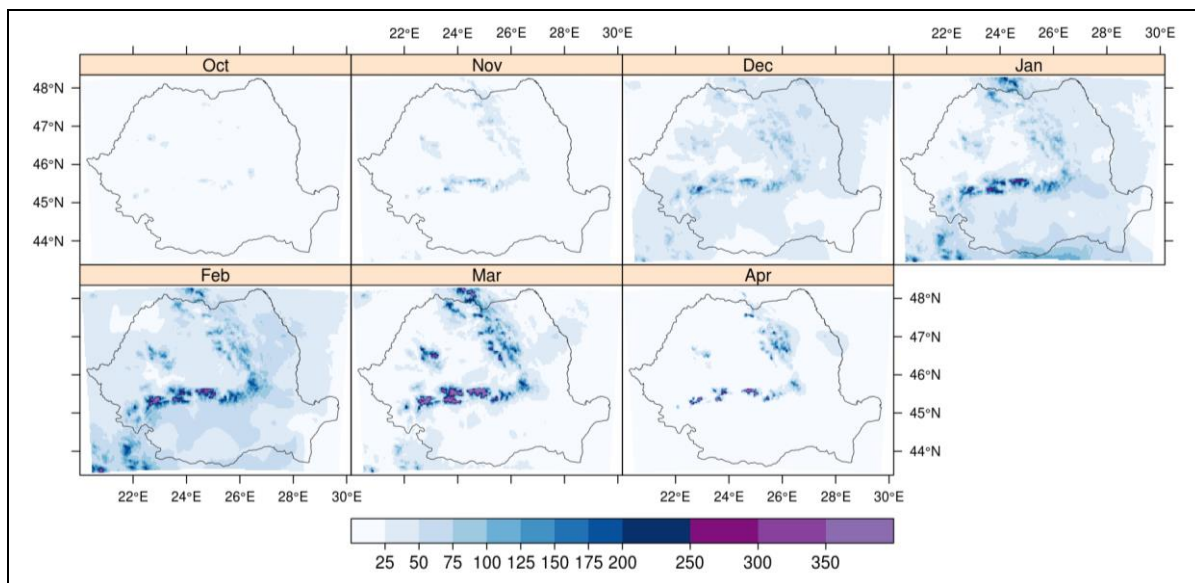


Figura 4.2.7: Grosimea maximă (cm) a stratului de zăpadă (2005-2017).

Echivalentul în apă al stratului de zăpadă

Distribuția spațio-temporală a valorilor maxime ale echivalentului în apă al stratului de zăpadă, calculate din datele zilnice gridate, este aproximativ identică cu cea a stratului de zăpadă, valorile cele mai mari persistând până în luna aprilie în zonele montane înalte (Figura 4.2.8).

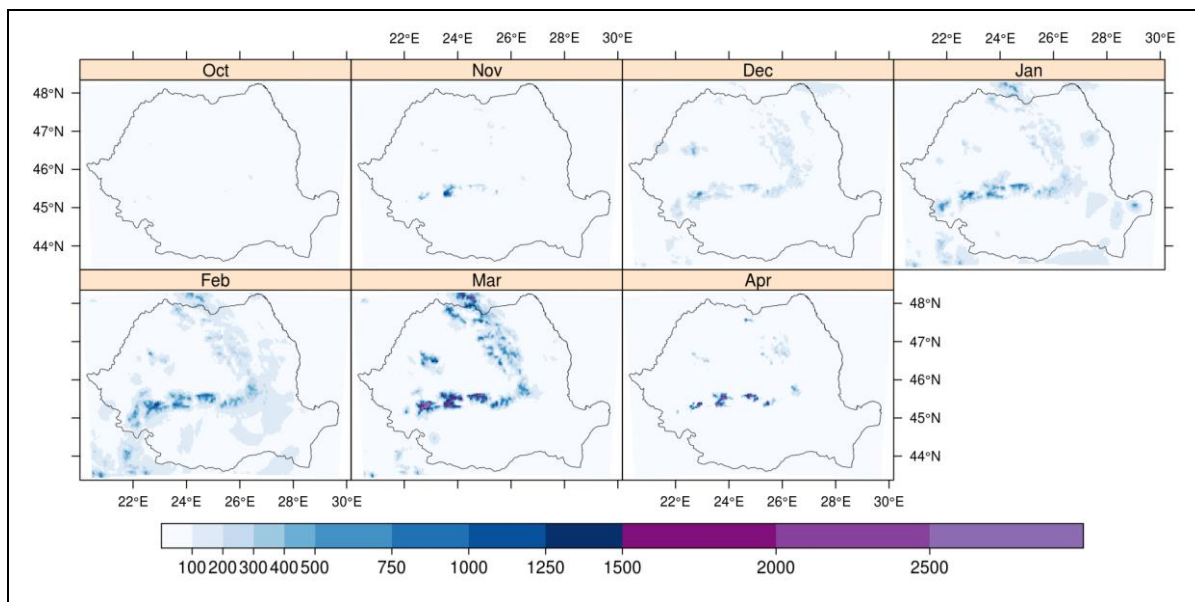


Figura 4.2.8: Echivalentul maxim în apă (cm) al stratului de zăpadă (2005-2017).

Mai multe detalii despre produsele elaborate se găsesc în livrabilul D2.16: „Cartarea produselor derivate din baza de date spațiale – Versiunea 2”.

4.3. WP3 Integrarea datelor de teledetecție, din modelare și in-situ pentru evaluarea parametrilor stratului de zăpadă

4.3.1. Activitatea 3.2. Algoritmul și produsul multi-sensor/multi-temporal de zăpadă umedă – MWS

Obiectivul inițial al acestei activități a fost acela de a dezvolta un algoritm multi-temporal multi-sensor pentru umiditatea zăpezii, utilizând date de la Sentinel-1 și Sentinel-3. Întrucât data lansării Sentinel-3 a fost amânată, a trebuit să aplicăm planul de contingență și să utilizăm date satelitare Terra MODIS în primii doi ani ai proiectului. Sentinel-3A a fost, până la urmă, lansat cu succes pe data de 16 februarie 2016. Faza de punere în funcțiune s-a încheiat în vara acelui an, iar în toamna anului 2016, Sentinel-3 funcționa la capacitate maximă. De la mijlocul lunii noiembrie 2016, utilizatorii satelitului beneficiază de date.

Odată cu disponibilizarea datelor SLSTR de la Sentinel-3, am putut începe testarea și adaptarea finală a algoritmilor și software-ului pentru acest senzor. Iarna 2016/2017, bogată în zăpadă în România, a creat situația ideală pentru validarea extinsă, atât a zăpezii din zonele joase, cât și a aceleia din munți. De asemenea, amplasamentele destinate calibrării/validării au fost acoperite cu suficientă zăpadă și au furnizat date importante pentru activitatea dedicată algoritmului final și validării.

Sentinel-3 SLSTR

Sentinel-3A are în primul rând misiunea de a sprijini serviciile legate de mediul marin, având capacitatea de a servi și numeroase zone terestre, atmosferice și din criosferă, destinate aplicațiilor specifice. Radiometrul pentru Temperatura Suprafeței Mării și Uscatului (SLSTR) se bazează pe achizițiile făcute anterior cu Radiometrul pentru Scanare Avansată pe Traiectorie al ENVISAT (AATSR). SLSTR utilizează o tehnică de vizualizare duală și funcționează în opt benzi de lungime de undă, oferind o acoperire mai bună decât AATSR, datorită lățimii mai mari a suprafeței (1675 km pentru observații în geometrie nadirala). Senzorul are trei benzi în domeniile vizibil și infraroșu apropiat (555 nm, 659 nm și 865 nm), trei benzi în infraroșu mijlociu (1.38 μ m, 1.61 μ m și 2.25 μ m) și trei benzi în infraroșu termic (3.74 μ m, 10.85 μ m și 12 μ m). Rezoluția spațială este de 500 m la lungimi de undă din vizibil și infraroșu și de 1 km la lungimi de undă termice.

Calibrarea datelor SLSTR Sentinel-3 pentru componenta optică a MWS

Dimensiunea granulelor de zăpadă a fost estimată în algoritmul original OWS (optic-zăpadă umedă), din date MODIS, utilizând benzile 2 (841 nm-876 nm) și 7 (2105 nm-2155 nm). Banda 3 SLSTR (855 nm -875 nm) corespunde benzii 2 MODIS. În orice caz, în ceea ce privește SLSTR, nu există o bandă corespunzătoare benzii 7 MODIS. Banda 7 cuprinde o bandă de absorbție, ceea ce o face insensibilă la dimensiunea granulelor de zăpadă. Această bandă este folosită împreună cu bandă 2 într-un indice al dimensiunilor granulelor de zăpadă. O bandă cu caracteristici similare celor ale benzii 7 MODIS este banda 5 SLSTR (1550 nm -1670 nm). Pentru limitarea impactului schimbării benzii de la MODIS la SLSTR, am determinat o regresie liniară între indexul original și noul index al dimensiunii granulelor de zăpadă, pentru a obține o performanță similară celei inițiale.

O regresie inițială a fost realizată având ca bază data de 9 ianuarie 2017 (Figură 4.3.1).

A fost aplicată o regresie liniară pentru toți pixelii din interiorul măștii digitizate manual (Figura 4.3.1, dreapta) care au avut observații valide SGS (Snow Grain Size) în ambele imagini (adică excluzând acoperirea cu nori, acoperirea cu apă, acoperirea cu păduri sau acoperirea urbană). Distribuția gradului de împrăștiere a punctelor analizate reprezentate în Figura 4.3.2, prezintă o tendință liniară.

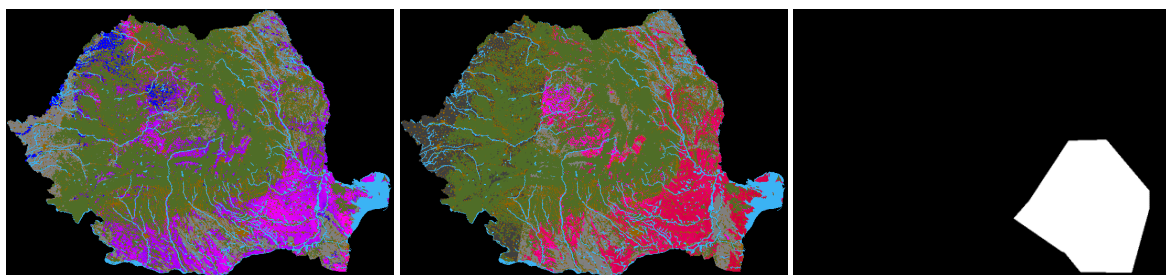


Figura 4.3.1. Stânga: SGS estimat din MODIS, presupus a fi corect pentru scopul de a calibra estimările SLSTR. Mijloc: SGS estimat din SLSTR prin simpla înlocuire a benzilor 2 și 7 MODIS cu benzile 3 și 5 SLSTR. Dreapta: Masca digitizată a suprafeței acoperite cu zăpadă, utilizată pentru regresia inițială.

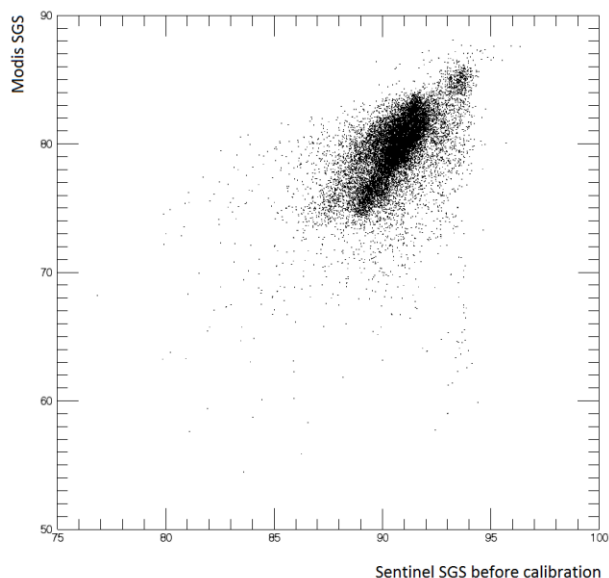


Figura 4.3.2: Gradul de împrăștiere a punctelor analizate pentru regresia inițială SGS.

Pe baza calibrării inițiale a SGS pentru SLSTR, a fost estimată OWS pentru întreaga serie temporală 17 noiembrie 2016 – 28 martie 2017. Prin inspectarea vizuală a rezultatelor OWS, au fost alese 10 date pentru o nouă regresie, inclusiv diverse clase OWS care apar la diferite altitudini și în diferite arii geografice.

Rafinarea algoritmului multi-senzor multi-temporal pentru umiditatea zăpezii

Algoritmul multi-senzor multi-temporal pentru umiditatea zăpezii se bazează pe fuziunea produselor SWS (SAR – zăpadă umedă) – OWS (optic-zăpadă umedă). SAR în bandă C al Sentinel-1 poate fi utilizat pentru detectarea zăpezii umede, deoarece retroîmprăștierea scade în mod semnificativ. Totuși, cu SAR în bandă C este greu de determinat cât de umedă este zăpada. De asemenea, poate fi greu de diferențiat terenul fără zăpadă, de stratul de zăpadă uscată. Pe de altă parte, senzorii optici SLSTR ai Sentinel-3, monitorizând temperatura și dimensiunea granulelor de zăpadă, pot fi utilizați pentru estimarea gradului de umiditate. În orice caz, datele optice sunt limitate de stratul de nori. Anterior, în cursul proiectului SnowBall, am dezvoltat o abordare care vizează fuziunea acestor două produse într-un produs multi-temporal multi-senzor pentru umiditatea zăpezii (vezi Raportul Anual Tehnico-Științific 2016).

Metoda utilizează un Model Markov Ascuns (HMM) pentru a descrie diferitele stări metamorfice prin care trece zăpadă în cursul sezonului de topire și posibilele tranziții între aceste stări. Stările luate în considerare sunt zăpadă „uscată”, zăpadă „jilavă”, zăpadă „umedă”, zăpadă „foarte umedă”, „zăpadă îmbibată cu apă” și „strat de zăpadă temporar”. Acest model este combinat cu produsele disponibile optice și SAR referitoare la umiditatea zăpezii și sunt utilizate pentru estimarea stării zăpezii pentru fiecare pixel cu rezoluția de 1 km. Algoritmul Viterbi este utilizat pentru generarea succesiunii celei mai probabile stări a zăpezii, în funcție de observații. Rezultatul acestei metode îl reprezintă produse

zilnice multi-senzor de umiditate a zăpezii, furnizând cea mai corectă estimare pentru fiecare pixel din imagine, cu frecvență zilnică.

Din experiența acumulată prin analiza datelor din anii anteriori de derulare a proiectului SnowBall, am concluzionat că “zăpada îmbibată cu apă” apare foarte rar. Aceasta a condus la un număr redus de date disponibile pentru realizarea statisticilor necesare pregătirii procedurii de clasificare a zăpezii. De aceea, prin extinderea proporției de apă lichidă din zăpadă în situația existenței unui strat de zăpadă foarte umedă, am inclus starea “zapada îmbibată” în starea “zăpadă foarte umedă”.

Mai mult, s-au făcut unele schimbări în tranzițiile permise. Stările de zăpadă umedă pot trece acum direct în starea de “petice de zăpadă” (Figura 4.3.3). Acest lucru este mai aproape de informațiile obținute din datele observate in-situ.

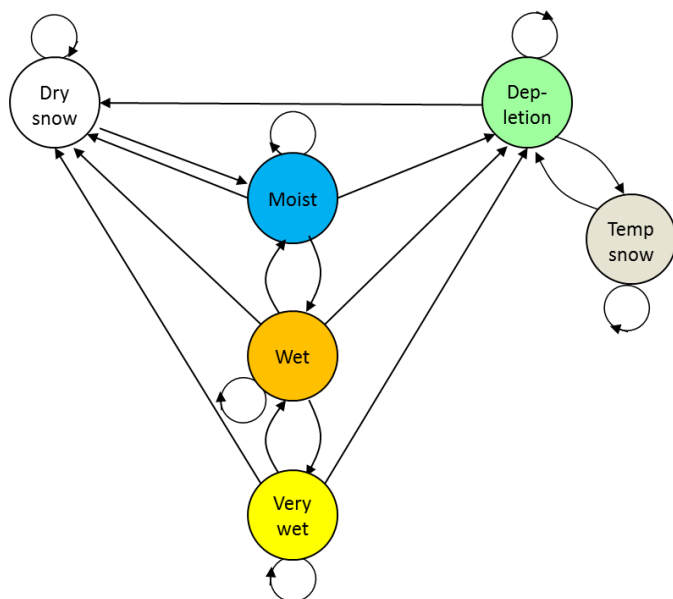


Figura 4.3.3: Stările zăpezii și tranzițiile permise în Modelul Markov.

Pregătirea Lanțului Markov Ascuns (HMM) a fost îmbunătățită prin utilizarea de date anterioare din Norvegia și din România. Intenția este de a realiza estimări ale probabilității de producere a fiecărei stări a zăpezii și a stărilor de tranziție, pe unitate de timp și în cursul sezonului de topire (cu frecvență zilnică). Pentru Norvegia, am utilizat un șir zilnic de date de 15 ani (2000-2015), pentru o suprafață de 1 km acoperită cu zăpadă, un produs realizat pe baza unui model care a cuprins o combinație de date de la stații meteorologice și prognoze numerice ale vremii, combinație care a avut drept rezultat un produs la scară națională, disponibil pe portalul web seNorge (Saloranta 2012). Anterior, diferite probabilități de tranziție au fost modelate dintr-o singură "probabilitate de umiditate" estimată. Cu toate acestea, setul de date permite antrenarea directă a fiecărei tranziții a stărilor individuale.

Setul de date a fost utilizat și pentru aplicarea procedurii de „instruire” a modelului pentru estimarea probabilităților de tranziție a temperaturii aerului. Pentru România, s-a estimat climatologia a 10 ani de observații (2005-2015), cu reanaliza grosimii zăpezii și a temperaturii aerului într-o grilă cu o rezoluție de 1 km (Dumitrescu et al. 2015).

Rezultatele validării

Sunt prezentate rezultatele validării algoritmului în amplasamentele test din Norvegia și din România. Validarea se bazează pe date din sezonul de iarnă 2016-2017. Au fost incluse în studiu produse bazate atât pe MODIS cât și pe Sentinel-3 SLSTR, pentru a stabili compatibilitatea celor două versiuni ale produselor.

Norvegia

În continuare, pentru sezonul de iarnă din anul 2017 este prezentată validarea cu datele de temperatură aerului măsurate la stațiile meteorologice pentru produsele de zăpadă umedă (MWS) pentru sudul Norvegiei. Au fost utilizate nouă stații meteorologice operate de Institutul Meteorologic Norvegian (MET Norvegia) acest studiu. Locațiile și denumirile stațiilor sunt indicate în Figura 4.3.4.



Figura 4.3.4: Locațiile stațiilor meteorologice (cercuri). Imaginea de fundal de la senzorul MODIS.

Tabelul 4.3.1 listează temperatura medie de la stațiile meteorologice pentru zilele în care au fost disponibile imagini satelitare.

Tabelul 4.3.1: Temperatură medie (în grade Celsius) pentru stațiile meteorologice MET Norvegia utilizate în acest studiu.

Data	Beitostølen	Dombås	Filefjell	Finse	Hjerkin	Juvasshøe	Møsstrand	Sirdal	Skåbu
13 Februarie	-2.2	-4.2	-4.3	-3.7	-1.7	0.9	-4.7	-8.5	-1.7
25 Martie	2.9	5.5	2.1	-4.4	3.5	-2.0	2.7	2.5	3.5
26 Martie	5.5	6.5	4.4	2.8	5.2	0.7	5.6	4.6	5.9
29 Martie	-3.7	-3.5	-3.4	-1.8	-6.8	-8.0	0.6	2.7	4.2
30 Aprilie	-1.9	1.3	-3.1	-5.1	-2.1	-7.2	-1.8	3.4	-0.9

Iarna 2016 - 2017 a început destul de târziu din cauza vremii calde neobișnuit de calde de la sfârșitul anului 2016 și începutul anului 2017. Acumularea semnificativă de zăpadă a început foarte târziu, între decembrie 2016 și februarie 2017, în funcție de altitudine și de climatul regional. Din februarie, temperaturile au scăzut până la sfârșitul perioadei proiectului. Două perioade de vreme blândă distinctă, cu topire a zăpezii, la înălțimi mari, au avut loc la sfârșitul lunii martie și începutul lunii aprilie (25 martie - 2 aprilie) și începând cu 29 aprilie.

Figura 4.3.5 prezintă hărțile MWS pentru 13 februarie 2017. Se observă că hărțile care utilizează Terra MODIS și Sentinel-3 SLSTR sunt aproape identice. Ambele versiuni ale hărții ilustrează prezența zăpezii uscate, cu excepția câtorva zone. Datele de la stațiile meteorologice din Tabelul 4.3.1 indică temperaturi de îngheț pentru toate locațiile, cu excepția Juvasshøe. Această stație este situată la cea mai înaltă altitudine, respectiv 1844 m.a.s.l, indicând aer o temperatură moderată a aerului. O privire mai atentă asupra hărții arată câțiva pixeli împrăstiați de zăpadă umedă. Cu toate acestea, cea mai mare densitate de pixeli de zăpadă umedă este la est de Oslo, în câmpurile agricole. Zonele agricole sunt o sursă cunoscută de zgomot în hărțile SWS, iar o verificare a hărții SWS corespunzătoare pentru această zi și pentru zilele anterioare confirmă această problemă. Hărțile OWS corespunzătoare nu prezintă deloc zăpadă umedă.

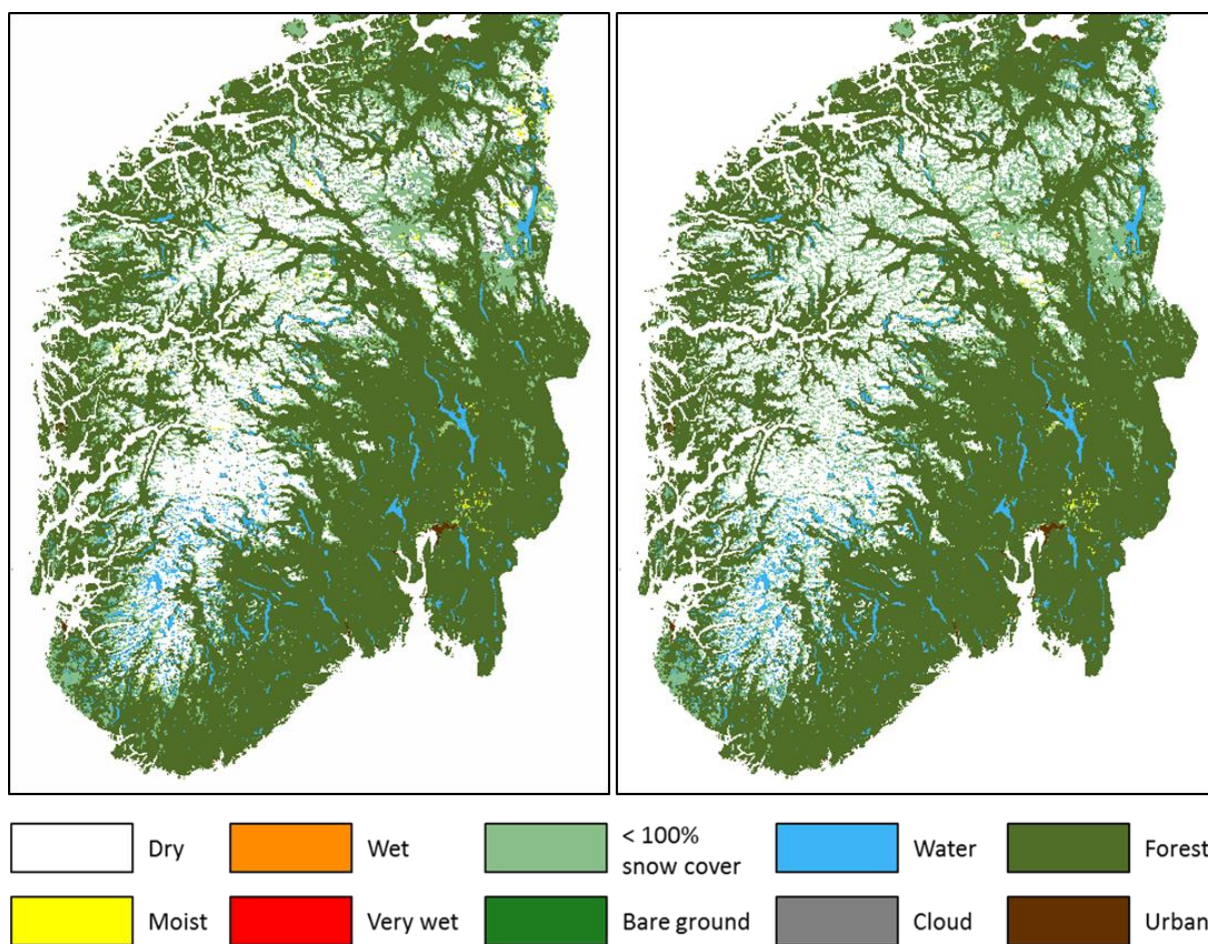


Figura 4.3.5: Hărți MWS pentru sudul Norvegiei bazate pe Terra MODIS (stânga) and Sentinel-3 SLSTR (dreapta) pentru 13 Februarie 2017.

Figura 4.3.6 prezintă hărțile MWS pentru 25 martie 2017, la debutul unei perioade de câteva zile de vreme blândă, observându-se prezența zăpezii umede la altitudini mari în munți, atunci când vremea a fost cea mai caldă. Modelul general este similar în versiunile de hărți, Terra MODIS și Sentinel-3 SLSTR. În partea sudică, pe platoul muntelui Hardangervidda, se află zăpadă umedă, prezentă de asemenea și la altitudini mai joase din jurul Hardangervidda. Există zăpadă umedă în zonele joase ale Munților Scandinavi, în regiunea de sud-vest a Norvegiei. Versiunea bazată pe SLSTR prezintă zăpadă jilavă în zonele în care versiunea bazată pe MODIS prezintă zăpadă umedă, cu excepția zonei de nord-est. Diferența dintre timpul de achiziție a fost de 7 minute în această zi, deci nu explică diferențele dintre hărți. Cu toate acestea, diferențele pot apărea datorită faptului că apa lichidă conținută de zăpadă era aproape de zona de tranziție dintre cele două clase. Cele mai înalte stații meteorologice, Juvasshø și Finse (1203 m.a.s.l.), prezintă temperaturi negative care confirmă apariția zăpezii uscate în munții înalți. Altfel, toate stațiile prezintă temperaturi pozitive.

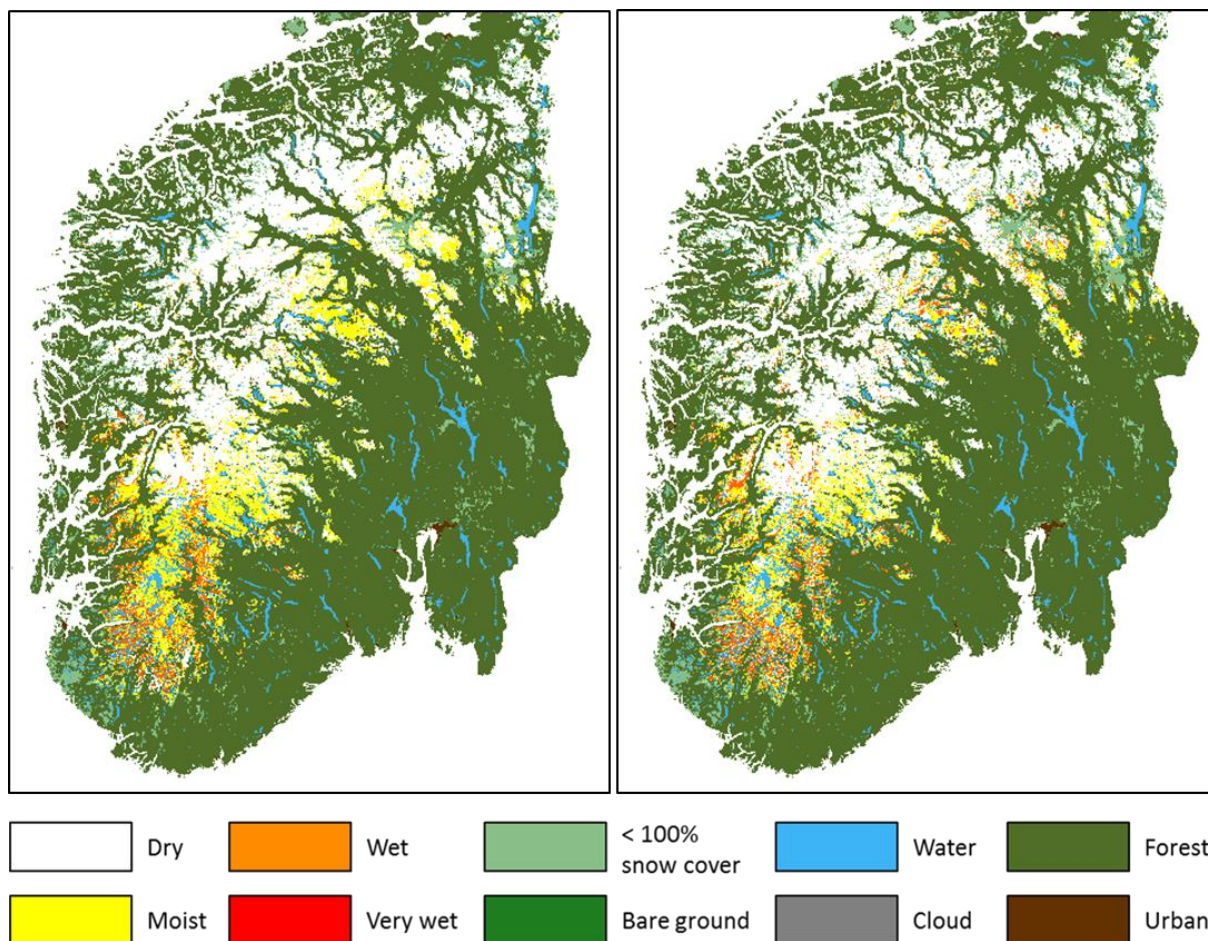


Figura 4.3.6: Hărți MWS maps pentru sudul Norvegiei bazate pe Terra MODIS (stânga) and Sentinel-3 SLSTR (dreapta) pentru 25 Martie 2017.

Figura 4.3.7 prezintă hărțile MWS pentru 26 martie 2017, în ziua următoare a hărților illustrate în figura 4.3.6. Vremea blândă a influențat aproape toți munții din sudul Norvegiei, cu excepția unor zone din nord-est și a unei regiuni din nordul Hardangervidda. În acest caz, versiunea MODIS tinde să indice zone cu zăpadă mai umedă decât în versiunea SLSTR. Cu toate acestea, modelul general este similar în ambele hărți. Toate stațiile meteorologice prezintă temperaturi pozitive ale aerului. Temperaturile cele mai scăzute sunt la Juvasshø (0,7°C) și Finse (2,8°C). Pentru regiunea Jotunheimen, unde se află Juvasshø, hărțile de zăpadă indică zăpada uscată la altitudini mai mari de 2000 m.a.s.l. Acest lucru este în concordanță cu temperatura măsurată la Juvasshø, 1844 m.a.s.l. Regiunea la sud de Finse, Hardangervidda, prezintă, de asemenea, zăpadă uscată în ambele hărți. Surprinzător, aceasta se află în zona de tranziție dintre zăpada umedă din sud și zăpada jilavă din nord. Cea mai mare parte a munților din Hardangervidda se află la nord de această zonă de zăpadă uscată, deci este posibil ca topografia locală să contribuie la blocarea transferului maselor de aer între nord și sud, și să protejeze zona de zăpadă uscată.

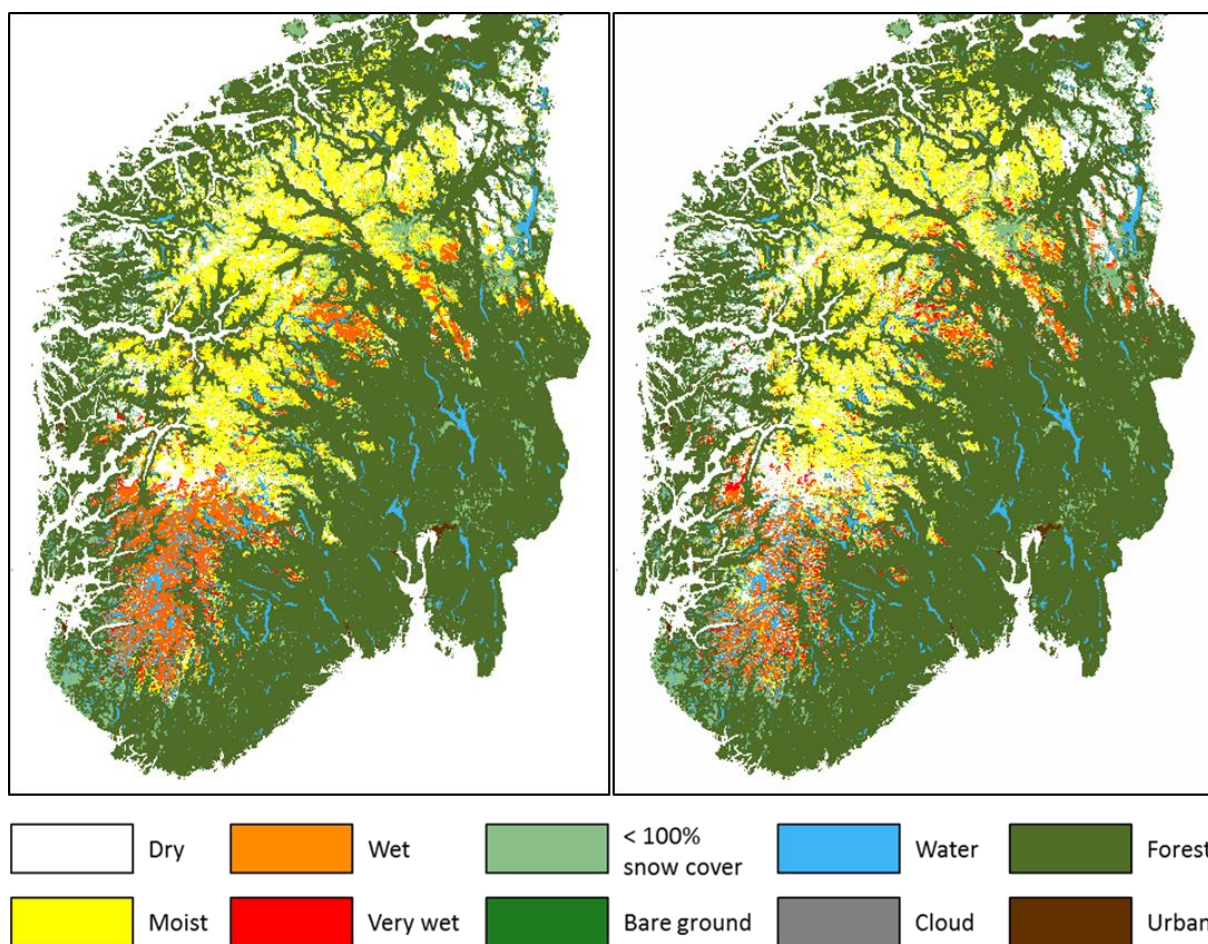


Figura 4.3.7: Hărți MWS maps pentru sudul Norvegiei bazate pe Terra MODIS (stânga) and Sentinel-3 SLSTR (dreapta) pentru 26 Martie 2017.

Figura 4.3.8 prezintă hărți MWS pentru data de 29 martie 2017. Perioada de vreme blândă se diminuează, iar în cele mai înalte părți ale munților se observă prezența zăpezii uscate. În continuare există zăpadă umedă la altitudini joase, în mai multe regiuni. Cu toate acestea, părți ale celor două hărți de zăpadă sunt destul de diferite. Există o regiune de zăpadă umedă în partea de nord a Hardangervidda, în versiunea în care se utilizează MODIS, în timp ce aceeași regiune este indicată ca zăpadă uscată în versiunea în care se utilizează SLSTR. Există, de asemenea, mai multă zăpadă umedă în partea de nord, la altitudini mai mici. Verificând hărțile OWS, observăm că cea mai mare parte din sudul Norvegiei era noroasă în acea zi. Nu există nici o hartă SWS în această zi (fără observație SAR), deci hărțile MWS se bazează în întregime pe model folosind datele din zilele precedente. Zilele anterioare au avut condiții de cer parțial noros, cu mai mulți nori în harta SLSTR. Zăpada umedă a fost observată cu senzorul MODIS în ziua precedentă, în nordul Hardangervidda. Această regiune a fost însă parțial noroasă în observațiile SLSTR. Zăpada umedă din regiunile montane cu altitudini reduse din nord este mai greu de explicat. Regiunile sunt parțial observate cu SLSTR, care arată zăpadă uscată. Datele măsurate de stațiile meteo indică temperaturi negative, cu excepția a trei stații. Møsstrand arată 0.6°C, iar ambele hărți arată zăpadă umedă pentru această regiune. În regiunile din jurul stațiilor meteorologice Sirdal (cu o temperatură a aerului de 2,7°C) și Skåbu (cu o temperatură a aerului de 4,2°C) hărțile arată în mod corect zăpadă umedă. Toate stațiile care prezintă temperaturi negative corespund zăpezii uscate în ambele versiuni ale hărților MWS. Aceasta indică faptul că hărțile descriu destul de bine starea actuală a zăpezii, în ciuda regiunilor de anomalii prezentate ca diferențe între hărți.

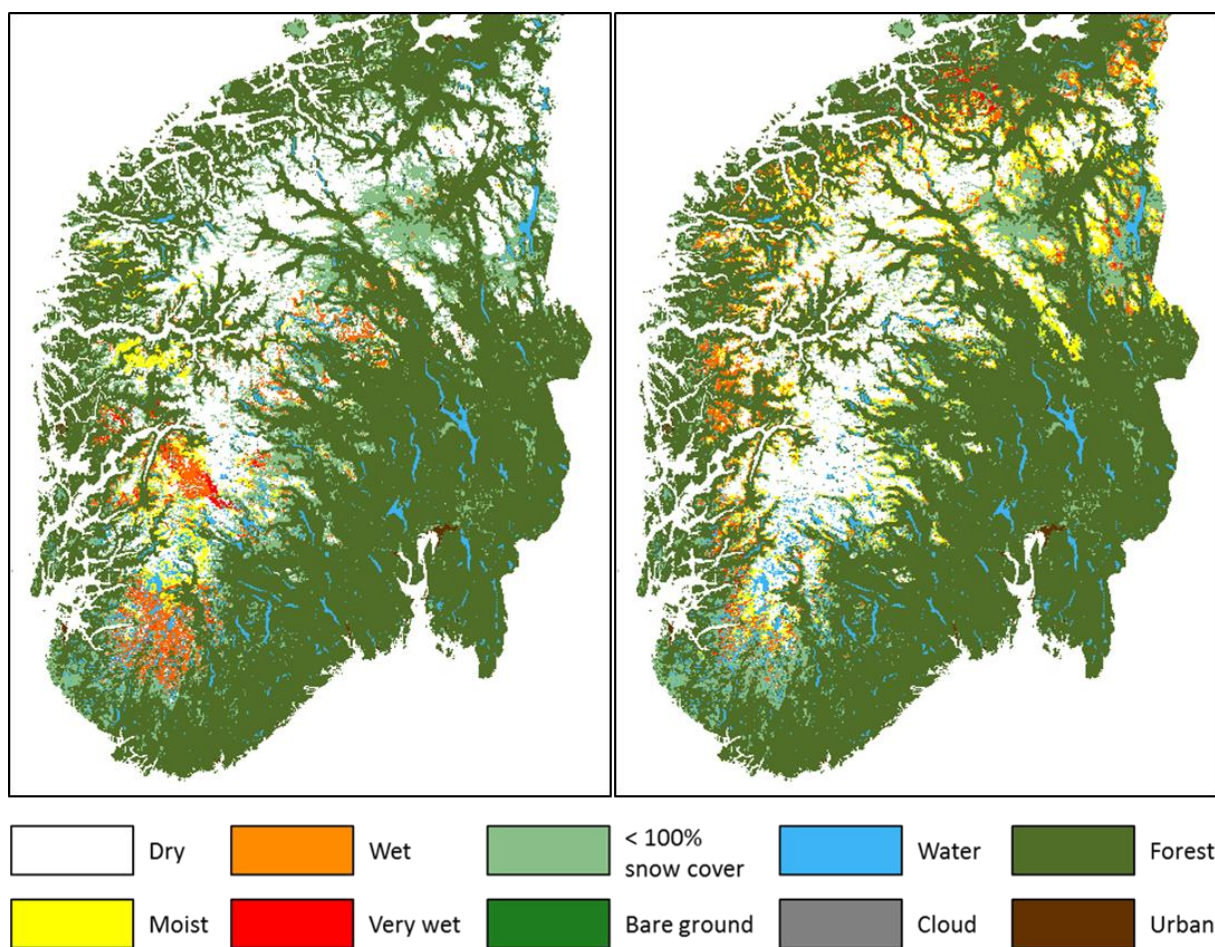


Figura 4.3.8: Hărți MWS pentru sudul Norvegiei bazate pe Terra MODIS (stânga) and Sentinel-3 SLSTR (dreapta) pentru 29 Martie 2017.

Figura 4.3.9 prezintă hărți MWS pentru 30 aprilie 2017, punctul de plecare al topirii de primavară a zăpezii. Observăm faptul că hărțile de la Terra MODIS și Sentinel-3 SLSTR sunt destul de asemănătoare. Situația este caracteristică pentru vreme caldă și pentru o situație termică adiabatică. Toate stațiile, cu excepția a două stații meteorologice, prezintă temperaturi negative. Sirdal (3,4°C) și Dombås (1,3°C) sunt situate într-o zonă umedă-foarte-umedă în ambele hărți de zăpadă. Beitostølen (-1,9°C) este aproape de zona de tranziție dintre zăpada umedă și uscată. Skåbu (-0,9°C) și Møsstrand (-1,8°C) prezintă zăpadă umedă în ambele hărți, ambele stații fiind aproape de zonele de tranziție între zăpadă umedă și uscată. Stațiile rămase sunt situate la altitudini mari, cu temperaturi negative și care se află în regiuni mai întinse cu zăpadă uscată.

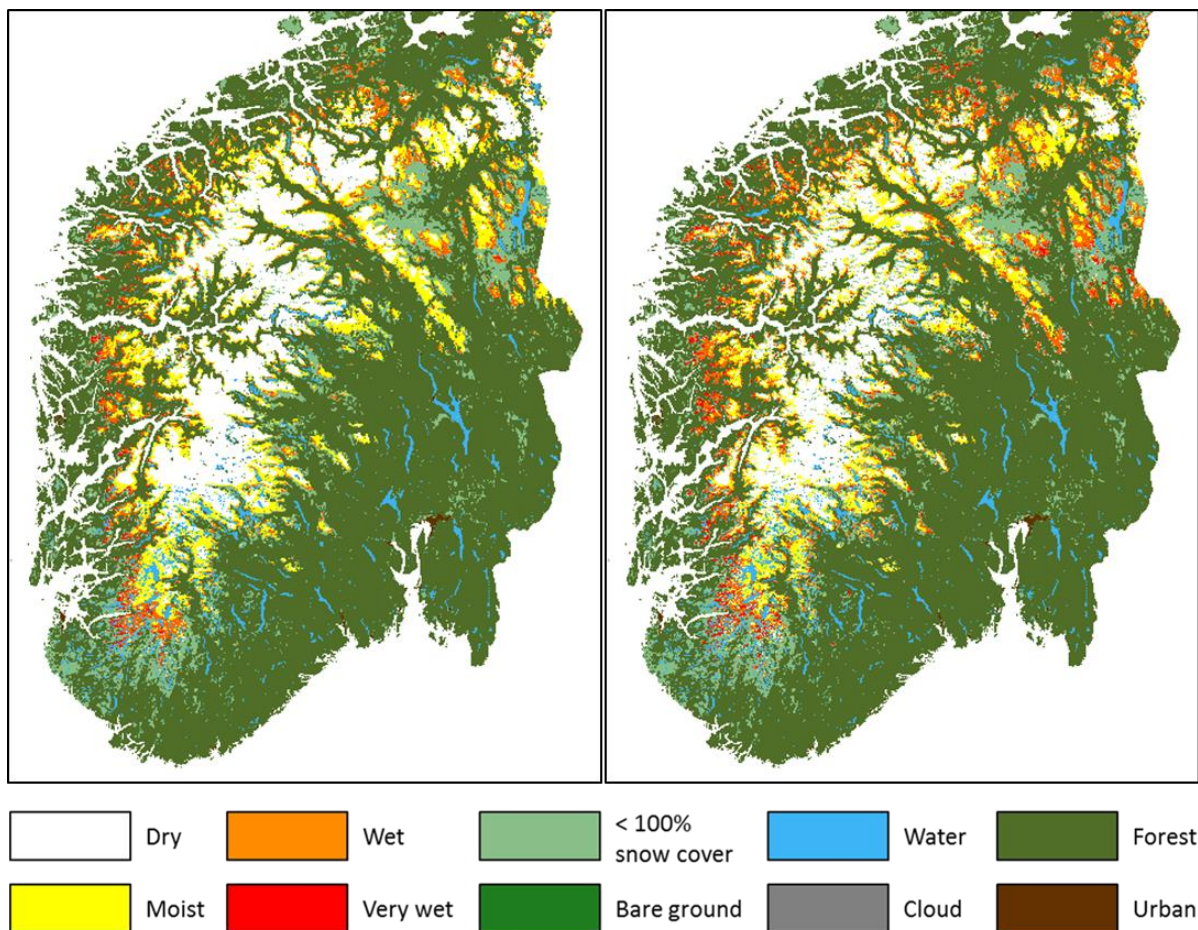


Figura 4.3.9: Hărți MWS maps pentru sudul Norvegiei bazate pe Terra MODIS (stânga) and Sentinel-3 SLSTR (dreapta) pentru 30 Aprilie 2017.

Romania

În continuare se prezintă analiza validării produselor de umiditatea zăpezii din date multi-senzor (MWS) pentru România, pentru sezonul de iarnă 2016-2017. În acest studiu s-au folosit datele măsurate la stații meteorologice din rețeaua națională, pentru următorii parametri: temperatura aerului, grosimea zăpezii și gradul de acoperire cu zăpadă. Distribuția și numele stațiilor meteorologice sunt prezentate în Figura 4.3.10.

În unele cazuri, deoarece stațiile meteorologice sunt situate foarte aproape de zona urbană (în special stațiile meteorologice situate în zonele joase) sau foarte aproape de zonele forestiere (stațiile meteorologice situate în munți), au fost considerați pixelii din jur, pentru a clasifica umiditatea zăpezii.

Pentru cazurile analizate, hărțile de la Terra MODIS și Sentinel-3 SLSTR sunt destul de asemănătoare. Excepție fac cazurile în care imaginile Modis sau Sentinel-3 sunt acoperite cu nori.

Mai jos sunt prezentate analize ale unor cazuri pentru România, pe baza produselor MWS obținute din datele Sentinel-3 SLSTR și Sentinel-1.



Figura 4.3.10: Rețeaua națională de stații meteorologice.

Primul caz prezentat este situația din 27 decembrie 2016 (Figura 4.3.11), unde se poate observa că umiditatea zăpezii variază de la "uscată" la "foarte umedă". Comparând produsul MWS cu produsul OWS din aceeași zi, se poate observa că pe harta OWS o suprafață însemnată este acoperită de nori, cu excepția pixelilor reprezentând zăpadă umedă, umedă și foarte umedă, iar unii pixeli reprezentând zăpadă uscată la est de Munții Carpați. Acesta este primul episod de topire a zăpezii înregistrat în România, foarte bine observat în centrul și în parțial în sud-estul României. Clasificarea este bine corelată cu condițiile climatice care indică absența stratului de zăpadă și temperaturile ale aerului pozitive.

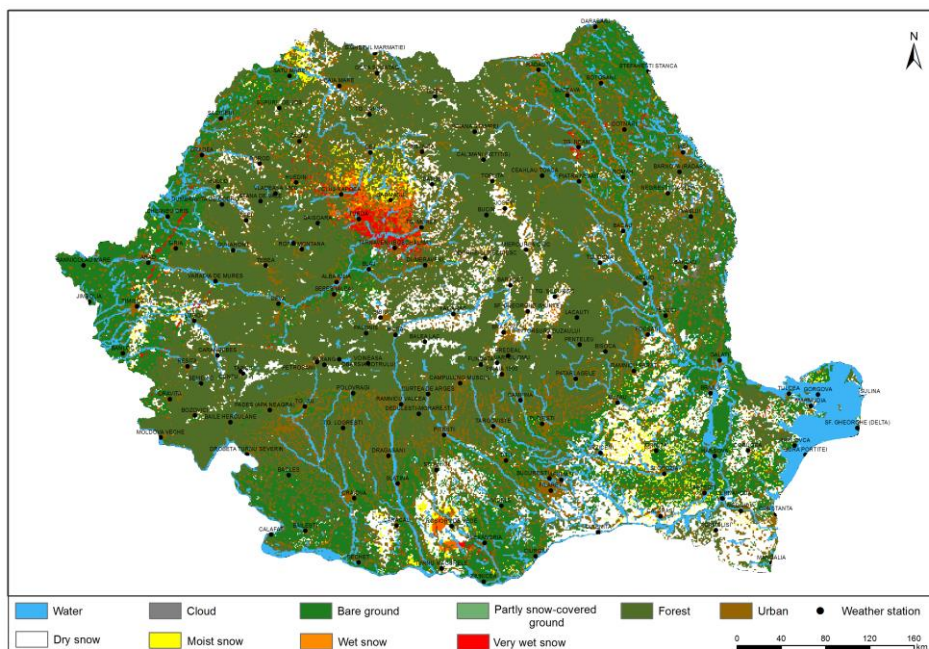


Figure 4.3.11: Multi-sensor snow wetness based on Sentinel-3 and Sentinel-1 for 27 December 2016.

Începând cu a doua decadă a lunii ianuarie 2017, s-au înregistrat ninsori semnificative, care s-au materializat în acumulări considerabile de zăpadă în aproape toate regiunile țării (Figura 4.3.12).

Majoritatea pixelilor sunt clasificați ca zăpadă "uscată" care este în corelație cu evoluția temperaturii zilnice a aerului. Deși în unele cazuri (în special la stațiile meteorologice situate în zonele joase), temperatura are valori pozitive în a doua parte a zilei, zăpada apare uscată pe hartă (Bailești, Bechet, Blaj, București, Călărași, Craiova, Tragoviste, Titu, Tg. Neamț, Turnu Măgurele, Tecuci, Zimnicea). O posibilă explicație ar putea fi diferența de timp dintre achiziționarea imaginii satelitare optice (dimineața) și achiziționarea imaginii satelitare SAR (după-amiaza). Este posibil ca răcirea din timpul nopții și din cursul zilei precedente să fi contribuit ca zăpada să reziste la topire pentru o anumită perioadă de timp, chiar în condițiile în care temperaturile aerului deveniseră pozitive.

Majoritatea pixelilor clasificați ca "jilav", "umed" și "foarte umed" se află în regiunea Dobrogea și în partea de vest a țării. Există o situație interesantă în cazul zonei din vecinătatea stației meteorologice Corugea: zăpada pare a fi "umedă", deși temperatura aerului a înregistrat valori negative toată ziua.

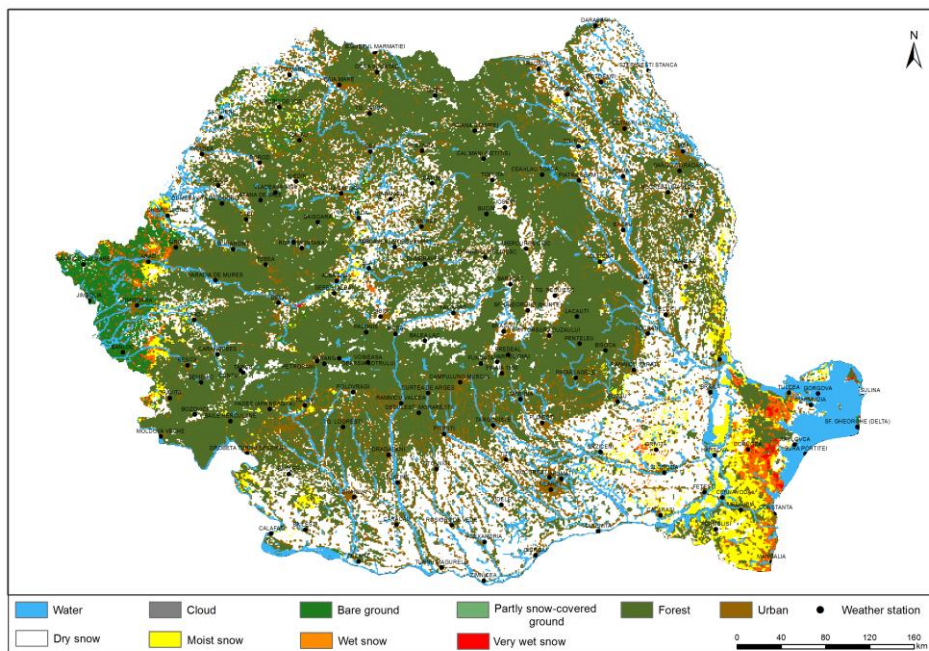


Figure 4.3.12: Multi-sensor snow wetness based on Sentinel-3 and Sentinel-1 for 15 January 2017.

Figura 4.3.13 prezintă produsul MWS din 4 februarie 2017. Este cea de-a doua perioadă de topire a zăpezii și se poate observa că pixelii clasificați ca zăpadă "foarte umedă" sunt concentrați în partea de sud-est a țării. De asemenea, pixelii reprezentând zăpada "umedă" pot fi găsiți în Oltenia și în sudul României. Acesta este rezultatul perioadei de topire de la sfârșitul lunii ianuarie și începutul lunii februarie 2017. Rezultatele evidențiate pe hartă sunt corelate cu condițiile climatice, cu câteva excepții:

- Stațiile meteorologice Radauti, Sarmasu, Stefanesti Stanca, Suceava, Tg. Neamt sunt situate în zone urbane, astfel încât pentru a clasifica gradul de umiditate al zăpezii a trebuit să se țină cont de pixelii din jur. Pe harta MWS acești pixeli sunt clasificați ca zăpadă "uscată". Stațiile meteorologice indică valori pozitive ale temperaturii aerului, iar stratul de zăpadă este în petice. În acest context, pixelii corespunzători acestor stații meteorologice au fost clasificat drept "suprafață parțial acoperită cu zăpadă";
- La stațiile meteorologice Tarnaveni, Joseni și Miercurea Ciuc, harta MWS arată zăpadă "uscată". Parametrii meteorologici indică: dimineața, o grosime a stratului de zăpadă de doar câțiva centimetri, iar după ce temperatura crește, zăpada s-a topit, lăsând doar petice de zăpadă. Diferența dintre timpul de achiziție al datelor satelitare (senzori optici și radar) explică aceste discrepanțe;
- În cazul stațiilor meteorologice Holod și Sacuieni, zăpada pe harta MWS sunt uscată, în timp ce observațiile meteorologice indică lipsa zăpezii. În această situație pixelii corespunzători au fost clasificați ca "teren fără zăpadă".

În aceleași cazuri (nordul României și partea central-sudică), zăpada "uscată" este prezentă chiar dacă temperatura aerului are valori pozitive. Situația poate fi explicată prin temperaturile negative foarte scăzute din zilele anterioare care au permis zăpezii să reziste la topire.

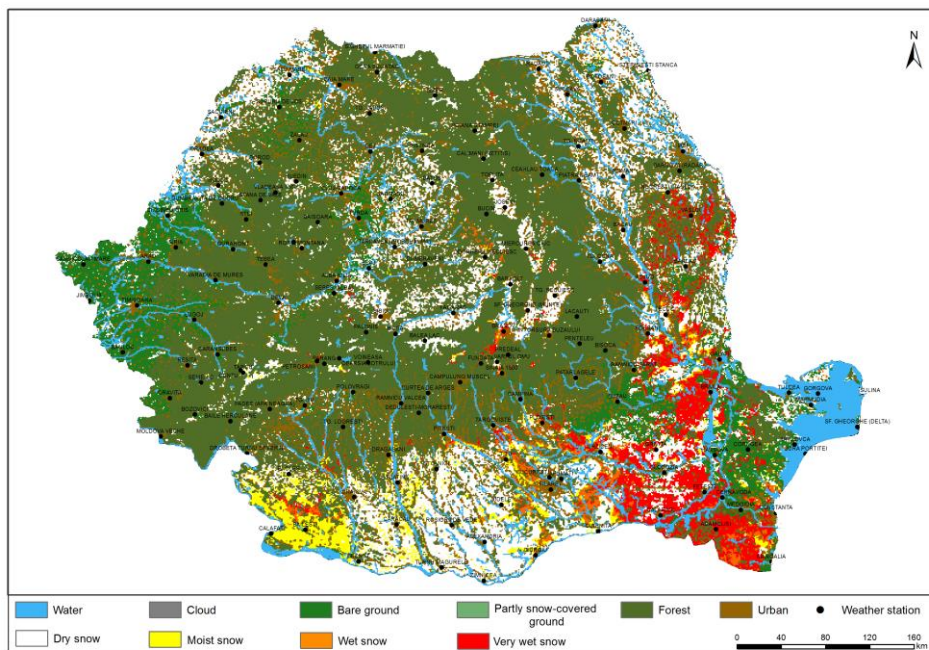


Figure 4.3.13: Multi-sensor snow wetness based on Sentinel-3 and Sentinel-1 for 4 February 2017.

Mai multe detalii despre rezultatele validării produsului MWS obținut din date satelitare sunt prezentate în deliverabilul D3.4bis: „*Produse-prototip MWS pentru avertizările de producere a inundațiilor și avalanșelor – Versiunea 2*”.

4.3.2. Activitatea 3.3. Noul modul al modelului multistrat pentru zăpadă în NOAH

În această etapă, a fost testată, ajustată și îmbunătățită în continuare prima versiune a metodologiei de estimare a echivalentului în apă din stratul de zăpadă printr-o abordare de tip fuziune de date, utilizând simulările modelului cu parametrii distribuiți NOAH, observațiile de la sol și produsele satelitare (a fost elaborat **livrabilul D3.7**).

În cadrul metodologiei, sunt analizate și comparate diferitele tipuri de date și informații, utilizând o serie de algoritmi de validare cros-validare automată, iar echivalentul de apă din stratul de zăpadă este estimat în format grid, la rezoluția spațială de 1 km, prin pași succesivi de interpolări și ajustări, în funcție de gradul de incertitudine asociat diferitelor tipuri de date.

Algoritmii de control automat al calității și interpolării care sunt utilizați pentru implementarea metodologiei de fuziune a datelor au fost îmbunătățiți luând în considerare influența expunerii pe versanți și a gradului de acoperire cu vegetație asupra evoluției stratului de zăpadă, care este un factor important, în special în perioada de topire a stratului de zăpadă.

Această interdependență se bazează în principal pe rezultatele cercetărilor anterioare efectuate în cadrul Institutului Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor, utilizând datele din bazinele reprezentative. Relațiile derivate din datele reprezentative ale bazinelor au fost transformate într-o reprezentare adecvată prin seturi fuzzy, utilizând abordarea cu logică fuzzy, pentru a putea integra această dependență într-un mod robust în metodologia de fuziune a datelor.

Metoda de fuziune a datelor pentru estimarea echivalentului de apă al zăpezii ca produs grid cu rezoluție spațială de 1 km la nivel național, implementată într-o primă versiune în perioada anterioară de raportare, a fost aplicată experimental în perioada ianuarie - martie 2017, pentru testare, corectare și îmbunătățirea algoritmilor și fluxului de lucru al procesării datelor.

Rezultatele au fost de asemenea comparate cu o metodă de interpolare de referință, respectiv cu metoda IDW, calculată folosind observațiile echivalentului în apă al stratului de zăpadă, disponibile din rețelele naționale de stații de monitorizare (Figurile 4.3.14 și 4.3.15).

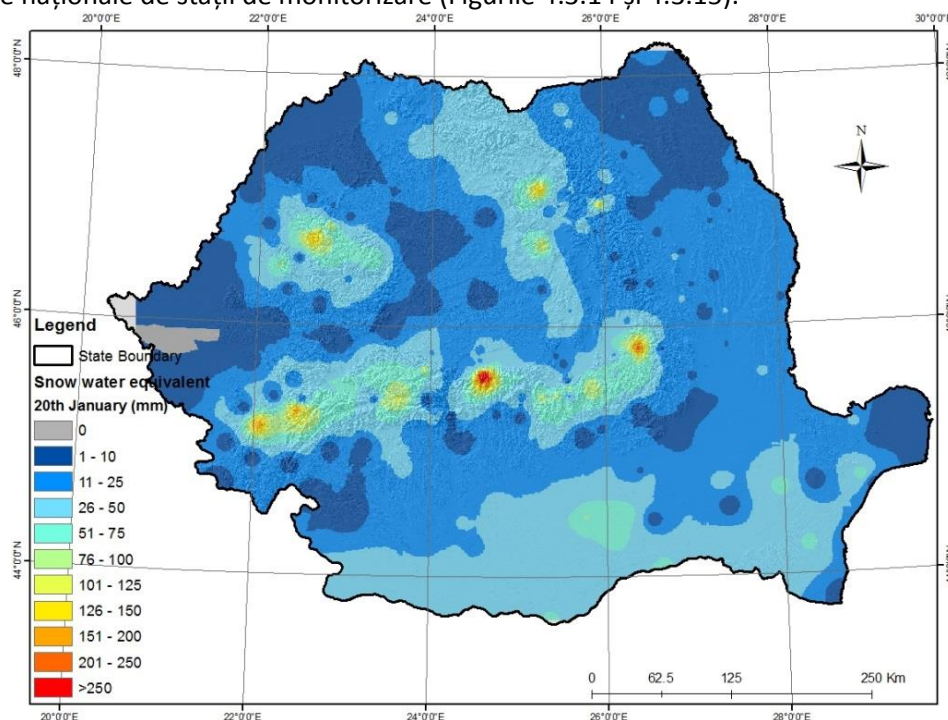


Figura 4.3.14: Estimarea SWE folosind metoda IDW – 20 ianuarie 2017

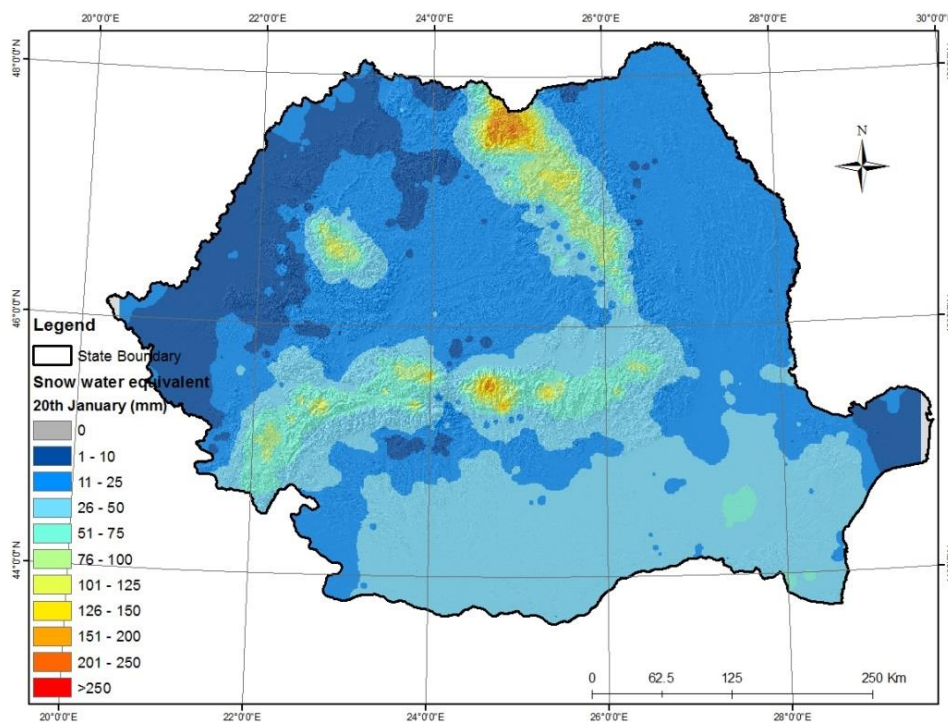


Figura 4.3.15: Estimarea SWE folosind metoda de fuziune a datelor – 20 ianuarie 2017

Mai multe rezultate sunt disponibile în livrabilul D3.7: "Produse-prototip gridate SWE, generate prin utilizarea metodologiei de fuziune – Versiunea 2".

4.4.WP4 Impactul schimbărilor climatice asupra hazardelor legate de zăpadă

4.4.1. Activitatea 4.1. Variabilitatea și schimbările climatice ale stratului de zăpadă și impactul asociat

Principalele activități în anul 2017 pentru Activitatea 4.1 au fost sintetizarea rezultatelor impactului schimbării climatice asupra resurselor (e.g. contribuția zăpezii în acvifer) (Figurile 4.4.1 și 4.4.2).

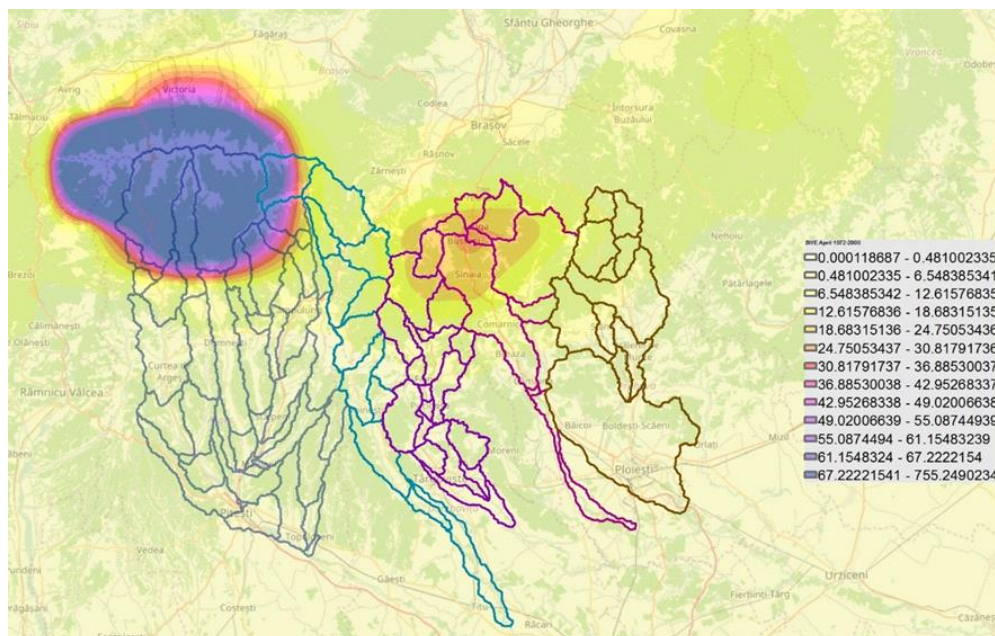


Figura 4.4.1: Echivalentul în apă al zăpezii (în mm) pentru lunile aprilie ale intervalului de timp 1981-2010, simulate de modelul climatic regional RCA4. Liniile colorate delimitează sub-bazinele râurilor Argeș și Ialomița.

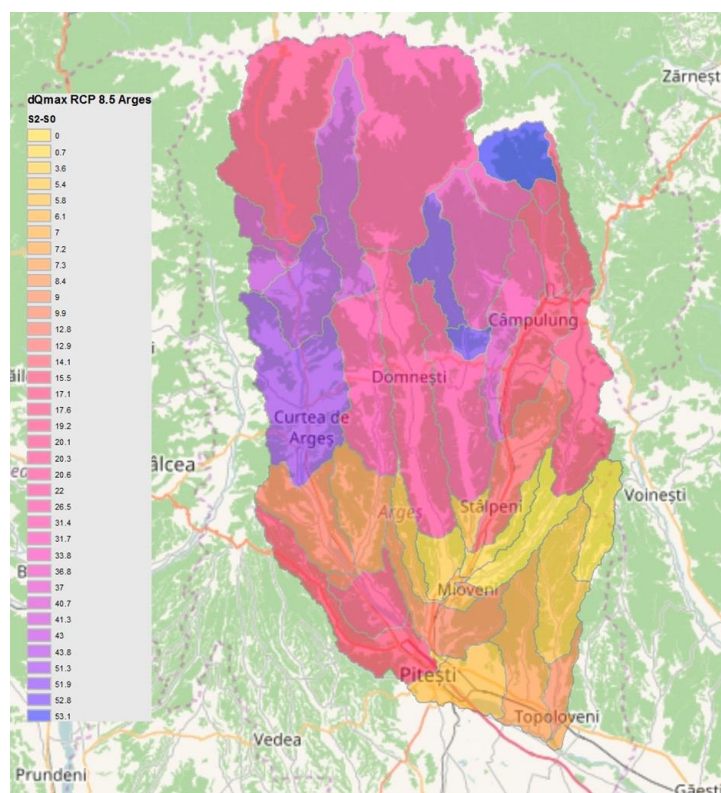


Figura 4.4.2: Schimbări în debitele maxime (în %) în sub-bazinele râurilor Argeș și Ialomița în intervalul de timp 2021-2050 vs. 1981-2010 în condițiile scenariului climatic pesimist RCP 8.5. Zonele colorate în albastru și violet indică sub-bazine cu creșteri mai mari ale debitelor maxime.

Mai multe rezultate sunt disponibile în livrabilul D4.5: "Raport public al impactului schimbărilor climatice asupra resurselor legate de zăpadă (contribuția zăpezii la acvifere) și a hazardelor".

4.4.2. Activitatea 4.2. Variabilitatea și schimbările din domeniul inundațiilor rapide produse cu contribuția topirii zăpezii asociat

Pentru Activitatea 4.2 s-a realizat completarea analizei variabilității și schimbării climatice în statistica inundațiilor rapide cu contribuție din zăpada topită pentru sub-bazinele râului Ialomița.

În această etapă am continuat activitățile de cercetare legate de variabilitatea și schimbarea în statistica inundațiilor rapide cu contribuție din zăpada topită pentru sub-bazinele râului Ialomița, aplicând modelul hidrologic CONSUL la arealele din zona montană pentru a identifica mai multe detalii ale statisticilor inundațiilor rapide datorate modificărilor în debitele maxime (Corbus et al., 2011). Rezultatele modelului hidrologic arată, la fel ca în cazul râului Argeș, că valorile multianuale ale debitelor maxime din intervalul noiembrie-aprilie au tendința să crească în perioada 2021-2050, comparativ cu perioada 1981-2010, atât în cazul scenariului cel mai optimist (RCP 2.6), cât și în al celui mai pesimist (RCP 8.5). De asemenea, în pentru bazinele mai mari, s-a constatat că aceste creșteri sunt sistematic mai mari și ele, în cazul scenariului pesimist, comparativ cu cel optimist, indicând modul în care semnalul schimbării climatice trece peste zgomot (în cazul nostru, variabilitatea climatică) (Figura 4.4.3). Totuși, când sunt luate în considerație evenimente foarte rare (cele cu probabilitate mai mică de 2%), între cele două scenarii nu par a fi diferențe semnificative, ceea ce poate fi legat de perioadele de timp relativ mici folosite (câte 30 de ani). Am analizat și statistica unificată pentru toate sub-bazinele râurilor Argeș și Ialomița și am constatat validitatea concluziilor menționate mai sus.

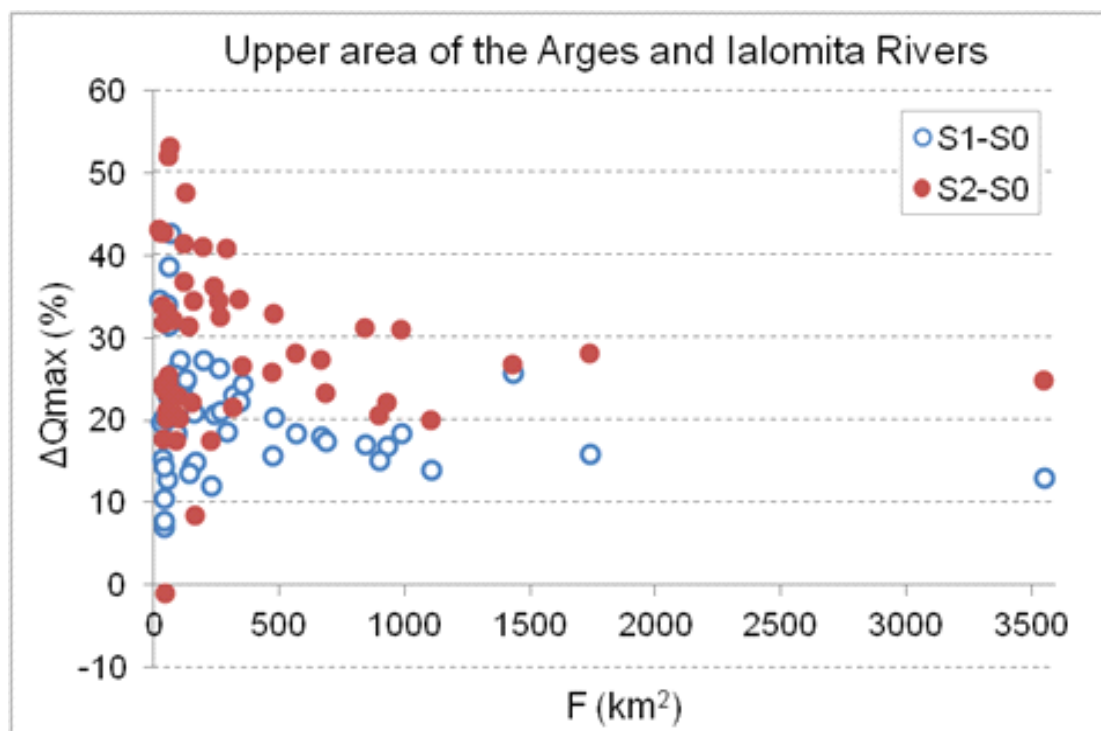


Figura 4.4.3: Schimbarea relativă medie (%) a debitului maxim din perioada noiembrie-aprilie, pentru scenariile S1 și S2 comparativ cu scenariul S0, la stațiile hidrometrice din zona superioară a râurilor Argeș și Ialomița, în funcție de suprafața sub-bazinelor. Scenariile S1 (RCP 2.6) și S2 (RCP8.5) acoperă intervalul de timp 2021-2050. Scenariul S0 acoperă perioada istorică 1981-2010.

Mai multe rezultate sunt disponibile în livrabilul D4.4: "Evaluarea impactului schimbărilor climatice (1981-2010 vs. 2021-2050) asupra scurgerii maxime din perioada de trecere de la iarnă la primăvară în partea superioară a bazinelor râurilor Argeș-Ialomița".

4.5.WP5 Modelarea realimentării acviferelor din topirea zăpezii

4.5.1. Activitatea 5.2. Modelarea acviferelor

Modelarea scurgerii de suprafață rezultată din topirii zăpezii într-un bazin de munte este percepută ca fiind dificilă din cauza complexității simulării, dar și din cauza dificultăților în specificarea parametrilor modelului și absenței unei teorii care explică mecanismul scurgerii de suprafață rezultată din topirii zăpezii. Este încă controversat modul de a încorpora modificările de temperatură în modelul de topire a zăpezilor, dar și scurgerea dintr-un bazin muntos.

Două abordări sunt folosite pentru a cuantifica fenomenul de topire al zăpezii (USDA, 2004):

- Empirică- ce utilizează metode tip indice de temperatura (Temperature index models), cu un număr limitat de parametri. Cea mai comună metodă din această abordare o reprezintă metoda „grade - zi”, în care temperatura aerului este folosită pentru a indexa toate fluxurile de energie.
- Fizică-bazată pe proces, care necesită o descriere mai detaliată a echilibrului masic sau energetic

Metodele de temperatură-index sunt utilizate în mod obișnuit, sub auspiciile că modelele bazate pe proces necesită prea multe date de intrare.

Pentru a testa această afirmație, am folosit un model fizic, bazat pe proces pentru a simula topirea zăpezii utilizând ca date de intrare temperatura aerului, umiditatea relativă a aerului, viteza vântului și nebulozitatea.

Pentru estimarea infiltrațiilor din topirea zăpezii se poate utiliza programul Hydrus 1D, program bazat pe metoda elementului finit. Hydrus nu lucrează cu grosimea stratului de zăpadă ci cu echivalentul de apă din zăpadă (SWE). Pentru a permite evaluarea acumulării stratului zăpadă este necesară introducerea temperaturii aerului, considerând ca și condiții la limita superioară condițiile atmosferice. Programul Hydrus utilizat pentru estimarea evoluției stratului de zăpadă utilizează modulul de curgere care rezolvă numeric ecuația Richards pentru debite de apă în zone saturate – nesaturate și modulul de transfer al caldurii rezolvând ecuația de convecție – dispersie.

Dacă problema directă reprezintă un model de simulare în care se calculează sarcinile hidraulice, problema inversă constă în determinarea parametrilor solului pentru care eroarea de modelare între valorile calculate și cele observate să fie minimă.

4.5.2. Activitatea 5.3. Modele de corespondență și scenarii climatice

Modul în care schimbările climatice influențează ratele de topire în timpul dezghețului de primăvară din Munții Bucegi, zona Padina a fost evaluat pentru scenariile RCP 2.6 și 8.5 în termeni de evoluție a grosimii zăpezii, a ratei de topire a zăpezii pentru perioada 2015-2050 și a evoluției echivalentului mediu de apă din zăpadă (SWE).

Infiltrațiile asociate cu topirea zăpezii nu depind doar de proprietățile solului, dar și de mulți alți factori precum echivalentul de apă a stratului de zăpadă, rata topirii zăpezii, proprietățile de transport și de stocare a apei din stratul de zăpadă dar și de tipul de sol: înghețat sau neînghețat.

Scurgerile rezultate în urma topirii zăpezii pot avea loc pe diverse căi: (Dingman, S. L 2002)

- I. În funcție de rata de topire a zăpezii și de capacitatea de infiltrare a solului
În cazul în care rata de topire este scăzută și capacitatea de infiltrare a solului nu va fi depășită, întreaga cantitate se infiltrează
În cazul în care avem perioade de topire rapidă și capacitatea de infiltrare a solului va fi depășită, întreaga cantitate rezultată se va scurge la suprafața solului
- II. În funcție de tipul de sol (înghețat sau neînghețat)

1. Sol neînghețat

Dacă solul nu este înghețat, acviferul se află la adâncime și solul de deasupra este nesaturat atunci întreaga cantitate se infiltrează fiind guvernată de legile de curgere în zona nesaturată. Astfel curgerea poate să aibă loc în regim permanent sau în regim nepermanent.

2. Sol înghețat

Dacă solul este înghețat infiltrația este limitată (rata de infiltrație este mai mică decât rata de topire) și apare o zonă saturată la baza stratului de zăpadă din care apa se poate scurge la suprafață către apele de suprafață.

În cazul solului înghețat acesta devine impermeabil și limitează sever infiltrarea apei topite din zăpadă. Infiltrațiile în solurile înghețate reprezintă un fenomen complex ce implică transportul de masă și de căldură într-un mediu poros.

S-a stabilit în urma a numeroase studii de caz că există o proporționalitate inversă între infiltrații și conținutul total de apă (apă+gheață) al solului înghețat în momentul dezghețului în Alaska (Kane and Stein, 1983), și în Canada (Granger et al., 1984; Gray et al., 1985). De asemenea prezența gheții în sol reduce porozitatea eficace cât și conductivitatea hidraulică a solului (Gray și Granger, 1987).

Granger et al (1984) au arătat, de asemenea că, umiditatea solului în primii 0 - 30 cm este importantă, deoarece la această adâncime se găsește în perioada topirii zăpezii cea mai mare parte a apei infiltrate.

În urma unor observații in-situ, Gray et al. (1985) au propus o clasificare a solurilor înghețate a terenurilor Canadiene în funcție de capacitatea de infiltrație:

- a) Capacitate nelimitată pentru solurile ce conțin pori largi, conectate la suprafața și plini de aer (e.g. fisuri) ce permit o infiltrare totală/aproximativ totalul de apă din topirea zăpezii.
- b) Capacitate limitată: ce depinde în principal de echivalentul de apă din stratul de zăpadă cât și de conținutul de apă/gheață în primii 30 cm din sol în timpul topirii.
- c) Capacitate restricționată: unde infiltrațiile sunt împiedicate de o lentilă de gheață localizată deasupra solului sau la o adâncime mică. În această categorie, infiltrațiile sunt neglijabile iar apa ce rezultă din topire zăpezii este în total redirecționată către scurgeri de suprafață și evaporație.

Mai multe rezultate sunt disponibile în livrabilul D5.3: *"Resursele de apă subterană în contextul schimbărilor climatice"*.

4.6. WP7 Registrul avalanșelor și hărțile de hazard

4.6.1. *Activitatea 7.2. – Algoritm de detectare a schimbării pe baza imaginilor Sentinel-1 și Sentinel 2*

În arhiva de imagini Sentinel-2 au fost găsite 56 de imagini pentru perioada 1 ianuarie – 1 mai 2017. Datorită gradului mare de acoperire cu nori, doar o singură imagine a fost utilizabilă, cea din 29 ianuarie 2017. Deoarece utilizarea imaginilor Sentinel-2 pentru detectarea avalanșelor mici și medii, specifice Carpaților, s-a dovedit a fi lipsită de succes, datorită rezoluției spațiale prea grosiere și a rezoluției spectrale relativ limitate a benzii 8 (NIR), s-a încercat detectarea modificărilor cauzate de producerea avalanșelor. În cazul arealului nostru de studiu, singurele areale în care s-ar putea detecta astfel de schimbări ar fi arealele împădurite, ca urmare a distrugerii copacilor de către avalanșe. Astfel, a fost necesară realizarea unei imagini de referință, cu care vor fi comparate imaginile nou achiziționate. Imaginea din 29 ianuarie 2017 a fost utilizată pentru a realiza imaginea de referință cu arealele împădurite. S-a utilizat această imagine și nu una de vară pentru că stratul de zăpadă acoperă vegetația ierboasă și pe cea de arbuști, astfel încât pădurea se poate delimita cu precizie mai mare (Figura 4.6.1).



Figura 4.6.1: Extinderea mare a stratului de zăpadă evidențiază foarte clar limita superioară a pădurii pe imaginea Sentinel-2 din 29 ianuarie 2017 (în stânga) în timp ce pe imaginea din 4 aprilie 2016 (în dreapta), topirea stratului de zăpadă a dus la apariția vegetației arbustive și ierboase, fapt care face dificilă delimitarea pădurii.

S-a optat pentru realizarea unui algoritm de detectare a pădurii într-un mediu de analiză orientată – obiect, datorită rezultatelor mai bune obținute decât în cazul metodelor de clasificare per pixel (Blaschke, 2010).

Astfel, s-a realizat în softul eCognition, segmentarea imaginii urmată de clasificarea acesteia pe baza valorilor medii NDVI, a abaterii standard a valorilor NDVI și a strălucirii (Brightness) (Figura 4.6.2). Obiectele clasificate ca pădure au fost validate cu ajutorul aerofotogramelor. Imaginea rezultată constituie imaginea de referință care v-a fi comparată cu imaginile noi pentru a putea detecta eventualele modificări ale limitei superioare a pădurii, modificări ce ar putea fi puse pe seama activității avalanșelor

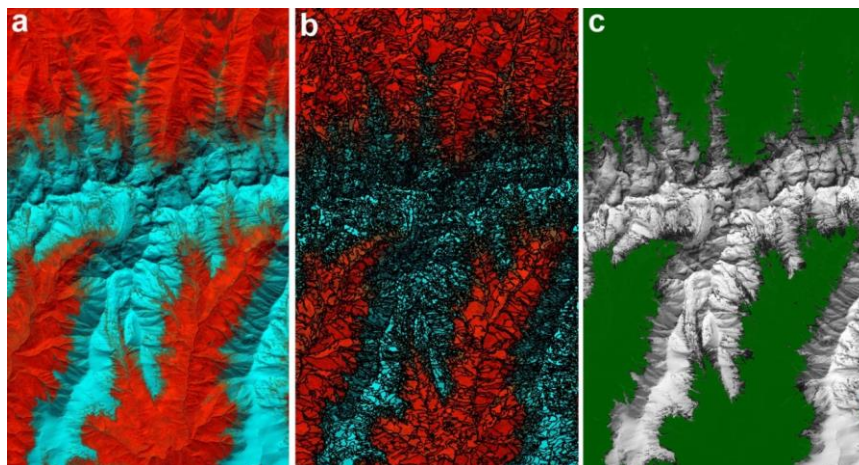


Figura 4.6.2: Detectarea arealelor ocupate de pădure în soft-ul eCognition: a. imaginea originală (combinație Green, red și NIR); b. obiectele obținute în urma segmentării imaginii; c. suprafețele ocupate de pădure.

4.6.2. Activitatea 7.3. Simularea avalanșelor

4.6.2.1. Analiza evenimentelor de tip avalanșă documentate pentru arealul central din Munții Făgăraș, cu impact asupra mediului natural, a infrastructurii, inclusiv cele cu pierderi de vieți

Dezvoltarea infrastructurii pentru sporturile de iarnă în zonele montane din România, precum și numărul tot mai mare de turiști, schiori, alpiști, au determinat și o monitorizare mai detaliată a stratului de zăpadă în relație cu schimbarea climatului, dar și cu evaluarea hazardului asociat.

În România, în ultimii 10 ani, mai mult de 500 de avalanșe cauzând 7 decese, acestea fiind înregistrate pentru Carpații Meridionali, iar dintre acestea, aproape 300 de avalanșe au fost identificate în M. Făgăraș.

Pentru perioada 1963-2015 în intervalul noiembrie-iunie, în același areal de studiu au fost consemnate 27 de accidente, totalizând 76 de decese și 50 de persoane rănite, majoritatea localizate în domeniul alpin și fiind cauzate de victime, în condiții topografice și de strat de zăpadă favorabile. M. Făgăraș reprezintă unul din cele mai afectate areale montane din Carpații Românești, atât în domeniul forestier, cât și în cel alpin (Voiculescu and Ardelean, 2012; Voiculescu et al., 2011).

În prezent, rețeaua de stații de monitorizare in-situ a zăpezii (cuprinzând cele 4 stații la altitudini de peste 2000 m și 19 la altitudini de 1000-2000m) nu poate oferi informațiile necesare în contextul hazardului la avalanșe, astfel că imaginile satelitare și tehnicile GIS reprezintă soluția care să suplinească lipsa datelor in-situ. Astfel, pentru a realiza o analiză și cartare a hazardului la avalanșe, existența unor baze de date cu evenimente documentate, precum și date asupra factorilor declanșatori, suprafața afectată de depozitele dislocate, realizarea observațiilor continue sunt elemente foarte importante (Bourova et al., 2016). Pentru monitorizarea hazardului la avalanșe, o categorie importantă parametri se referă la caracteristicile stratului de zăpadă. Produsele derivate din imagini satelitare pentru monitorizarea parametrilor stratului de zăpadă (acoperirea cu strat de zăpadă, umezeala zăpezii, culoarele de avalanșă) oferă o imagine de ansamblu a zonelor montane înalte, aceste informații fiind greu de obținut prin alte tipuri de mijloace. De asemenea, produsele derivate din date obținute din imagini satelitare (hărți, grafice, buletine, rapoarte) reprezintă unelte importante pentru serviciile de salvamont și pentru cele de decizie și intervenție în cazul pagubelor produse de evenimente.

Avalanșele cartate pe imaginea satelitară GeoEye-1 și pe aerofotograma realizată din dronă reprezintă o bază de date spațială foarte importantă care a fost exploatată în vederea extragerii informațiilor cantitative dar și calitative privind morfologia, distribuția spațială, frecvența acestora.

Detectarea a peste 1400 de avalanșe pe cele două imagini (deci produse în doar două perioade distincte) demonstrează faptul că avalanșele reprezintă hazardul cel mai important din sezonul rece în etajul alpin și subalpin al Carpaților.

Morfometria avalanșelor demonstrează o anumită particularitate pentru Carpați (Tabel 4.6.1). Astfel, majoritatea avalanșelor sunt de dimensiuni mici și medii, de sub 1000 m lungime. Acest fapt reprezintă o constrângere impusă de fapt de dimensiunea versanților.

Tabel 4.6.1 Caracteristici ale avalanșelor din baza de date

Dimensiuni avalanșe	GeoEye-1 11 aprilie 2012	Imagine dronă 12 aprilie 2016
Lungime medie(m)	178	159
Lungime min. (m)	12	12
Lungime max. (m)	1165	789
Lățime medie. (m)	26	32
Lățime min. (m)	2.5	2.5
Lățime max. (m)	254	244
Suprafață medie (m ²)	2166	2743
Suprafață min. (m ²)	29	23

Suprafață max. (m ²)	29037	55395
Coeficient de elongație mediu (elongation ratio)	0.85	0.78
Coeficient de elongație min.	0.37	0.09
Coeficient de elongație max.	0.96	0.95

Lățimea medie a avalanșelor este de asemenea redusă, de numai 26 m. Cele mai multe avalanșe (69,7%) au însă lățimi de sub 26 m, fapt care demonstrează de asemenea o constrângere geomorfologică, majoritatea avalanșelor producându-se în lungul unor culoare de avalanșă înguste. Coeficientul de elongație (E) a fost calculat după formula:

$$E = 1 - S / L$$

unde: S este lățimea iar L este lungimea poligonului rectangular cu cea mai mica suprafață în care se înscrie poligonul ce reprezintă avalanșa. Pentru determinarea acestor variabile s-a utilizat funcția *minimum bounding box*. Valorile medii ale coeficientului de elongație demonstrează că avalanșele sunt în marea lor majoritate aproape rectilinii (Figura 4.6.3).

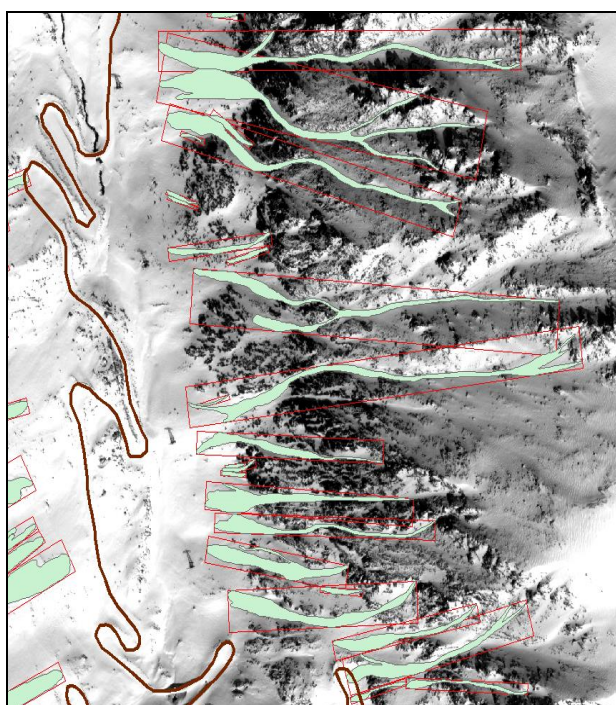


Figura 4.6.3: Avalanșe cu coeficient de elongație de peste 0,8 produse pe culoare de avalanșă în vecinătatea Transfăgărășanului (valea Bâlea).

În același timp a fost generată o bază de date referitoare la recurența avalanșelor pe anumite traiectorii, astfel că în contextul analizei hazardului arealele în care s-au produs avalanșe aproximativ pe aceleași traiectorii au primit un punctaj mai mare în acord cu numărul revenirilor, chiar dacă extinderea depozitelor nu este aceeași (Figura 4.6.4).

Deoarece evenimentele de mare magnitudine sunt importante în evaluare hazardului la avalanșe, din evenimentele consemnate în statistici pentru zona centrală a M. Făgăraș au fost selectate câteva avalanșe cu impact mare asupra mediului și/sau cu victime, petrecute în anii 2005, 2008, 2009, 2012, 2013 și 2016, la care se adaugă cele din 1974 și 1977 din perioada construirii șoselei de altitudine Transfăgărășan și s-a făcut o analiză a impactului acestor evenimente asupra pădurii și infrastructurii de transport.

Aceste avalanșe, pe baza reconstituirii extinderii spațiale, deși nu sunt de dimensiunile celor din Alpi, au afectat în mare parte porțiuni ale șoselei de altitudine și alte drumuri de tip forestier, precum și porțiuni din domeniul forestier, atât foioase, cât și conifere, îndeosebi pe versantul sudic. În acest sens pot fi menționate evenimentul din 2009, zona Paltinu-Călțun pe versant sudic (Figura 4.6.5).

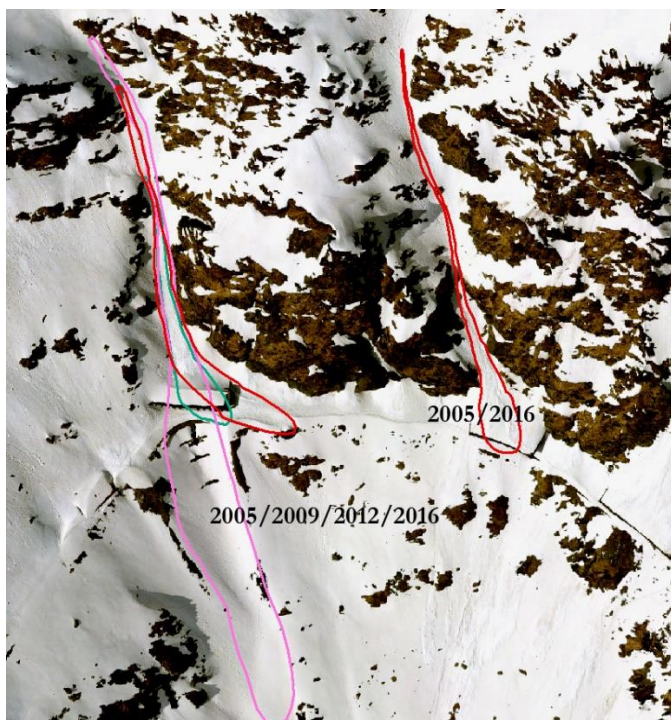


Figura 4.6.4: Avalanșe cartate pe versantul sudic în zona șoselei Transfăgărășan, cu indicarea recurenței pe anumite traiectorii.



Figura 4.6.5: Avalanșă în zona Paltinu-Călțun pe versantul sudic, eveniment din 2009 (stânga) și detaliu cu distrugerile asupra pădurii (dreapta).

4.6.2.2. Evaluarea hazardului la avalanșe și harta de hazard

Evaluarea hazardului la avalanșe este o abordare complexă ce implică o multitudine de factori și de obicei se raportează la evenimente de referință trecute cu o mare perioadă de revenire (Eckert et al., 2012). Hazardul la avalanșe a fost definit în mod tradițional în relație cu perioada de revenire și presiunea exercitată asupra mediului de către depozitele dislocate, iar metodologia se bazează pe ierarhizarea arealului potențial afectat de hazardul la avalanșe în trei clase – mare, mediu, mic (Salm et al., 1990).

Există două tipuri de abordări în evaluarea hazardului – modelul topografic-statistic și modelul dinamic (Jamieson et al., 2008). În prezent, pentru M. Alpi zonarea claselor de hazard se bazează pe simularea dinamicii avalanșelor (Jamieson et al., 2008), aceasta fiind dependentă de existența și calitatea datelor de input (McClung and Schaerer, 2006).

În România o serie de studii au analizat hazardul la avalanșe pe suprafețe mici, fiind bazate pe analiză multicriterială (Simea, 2012; Voiculescu et al., 2011), fără a considera recurența evenimentelor trecute și simularea potențialelor traiectorii în diverse scenarii de magnitudine.

Metodologia aplicată pentru arealul central al M. Făgăraș reprezintă o combinație de factori topografici, analiză statistică și modele dinamice pentru generarea arealelor potențial încadrabile în hazardul la avalanșă. Această abordare a mai fost utilizată în areale similare cu Carpații Meridionali (Blahut et al., 2017; Chrustek et al., 2013).

Specificul zonelor de desprindere a avalanșelor

Cele mai multe avalanșe se declanșează din partea superioară a versanților, din imediata apropiere a creștelor. Zonele de desprindere sunt reprezentate de partea superioară a unor forme care sunt culoare de avalanșă în timpul iernii și organisme torențiale în perioada lipsită de zăpadă. Altitudinea acestora este de peste 1700 m astfel încât sunt modelate de procese de îngheț – dezgheț, eroziune fluvială și deflație. Se caracterizează prin pante de peste 40 de grade și printr-o puternică fragmentare a reliefului. Zona de desprindere nu este una punctuală, ci avalanșa pornește din mai multe puncte localizate de regulă la partea superioară a unor ogașe.

Zonele cu potențial ridicat de acumulare a zăpezii și care devin instabile în condiții de precipitații solide în cantități mari în intervale scurte de timp, se pot constitui în areale de desprindere a depozitelor de zăpadă (potential release areas) și pot genera avalanșe. Astfel, aceste areale pot fi delimitate manual de către experți pe baza datelor preexistente legate de culoarele de avalanșă și statisticile existente, dar această abordare necesită mult timp dacă se aplică pe suprafețe mari. O serie de cercetări în direcția automatizării procesului de identificare a arealelor potențiale de acumulare și desprindere a depozitelor de zăpadă au fost realizate în ultimii ani pentru o serie de areale montane frecvent afectate de avalanșe (Bühler et al., 2013; Chrustek et al., 2013; Gruber, 2001; Gruber and Bartelt, 2007; Maggioni, 2005).

Astfel, pentru zona centrală din vecinătatea șoselei Transfăgărășan, pe baza datelor existente au fost selectate câteva areale de desprindere a depozitelor de zăpadă în condiții favorabile, care pot fi utilizate în simularea potențialelor traiectorii ale avalanșelor (Figura 4.6.6).

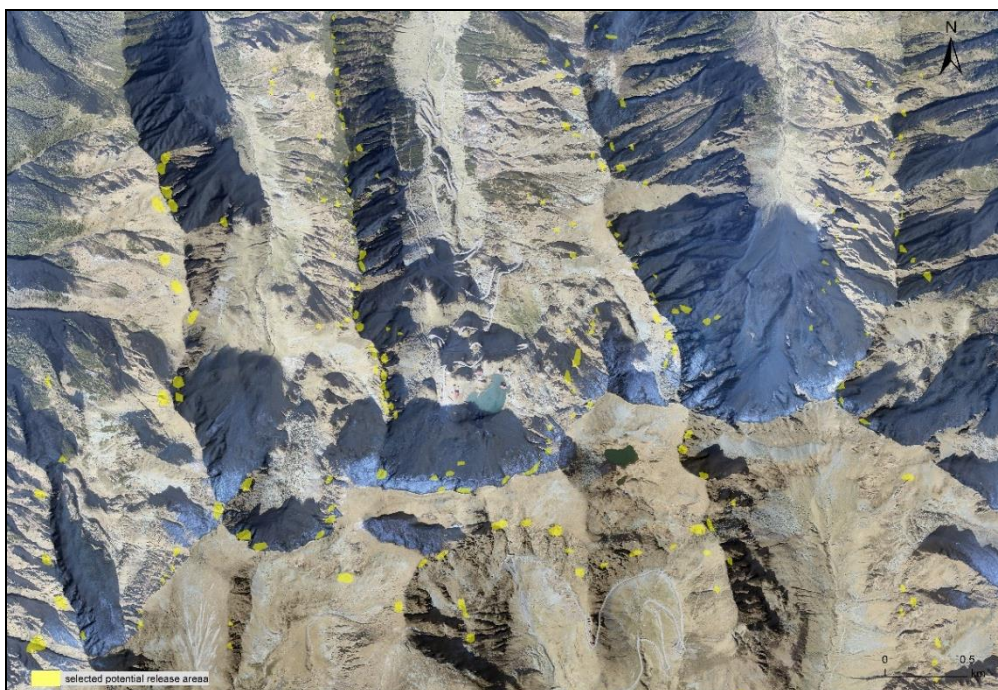


Figura 4.6.6: Exemplu de localizare a unor areale potențiale de tip release areas în vecinătatea șoselei Transfăgărășan

Simularea traiectoriilor avalanșelor

Pentru simularea potențialelor traiectorii ale avalanșelor din arealul menționat, s-a utilizat RAMMS (Rapid Mass Movement Simulation), care este un model numeric bidimensional de simulare a deplasării materialelor (avalanșe, debris, căderi de pietre, alunecări) de la zona de start la zona de acumulare, putând genera și simuări dinamice 3D.

Parametri de frecare (MuXi) ca variabile de intrare au fost calculați pe baza procedurii automate implementate în model, aceasta clasificând suprafața topografică din puncte de vedere al altitudinii, pantei și curburii în plan în câteva clase de tipul teren plan, versanți drepecți, areale de tip ravenă, culoar avalanșă care constrâng deplasarea depozitelor de zăpadă, respectiv zone forestiere sau de tip alpin-subalpin. Din punct de vedere al parametrilor globali necesari simulării traiectoriilor avalanșelor, au fost folosite date derivate din alte studii (Voiculescu et al., 2016), astfel fiind folosite pentru perioada de revenire valorile de 10 și 30 de ani, iar tipul avalanșelor d.p.d.v. dimensional fiind mici și medii (valori rezultate din calculele realizate pe datele din baza de date spațială cu avalanșe), conform clasificării internaționale (Greene et al., 2010). Pentru grosimea stratului de zăpadă în arealele de desprindere (fracture height) s-au folosit în simulare valori între 0.5 - 2 m (din analiza statistică a datelor de la stația meteorologică Bălea). Simulările extensiunii avalanșelor și grosimea acestora pentru valori mari ale fracturii în zona de desprindere au arătat că în majoritatea cazurilor din acest scenariu, vor fi afectate porțiuni extinse de șosea, iar pe versantul sudic și suprafețe forestiere.

Evaluarea hazardului și încadrarea claselor de hazard

Structura procesului de analiză și evaluare a hazardului în M. Făgăraș a urmărit câteva etape:

- Realizarea inventarului avalanșelor pentru arealul de interes;
- Analiza evenimentelor trecute consemnate în statistici;
- Analiza morfometrică a culoarelor de avalanșă;
- Analiza parametrilor zăpezii din arealul test;
- Identificarea potențialelor areale de desprindere;
- Simularea traiectoriilor avalanșelor, a extinderii spațiale, grosimii și presiunii asupra mediului a depozitelor de zăpadă dislocate;

- Separarea claselor de hazard la avalanșă pe combinării datelor legate de culoarele de avalanșă, frecvenței avalanșelor și a celor rezultate din simulare.

Pentru arealul central al M. Făgăraș, din harta distribuției spațiale a categoriilor de hazard (Figura 4.6.7) se poate constata că o mare parte din versanții abrupti din vecinătatea șoselei Transfăgărășan se regăsesc în clasa de hazard mare și mediu, putând fi afectate porțiuni de drum și o mare parte din arealele forestiere din zona culoarelor de pe versantul sudic.

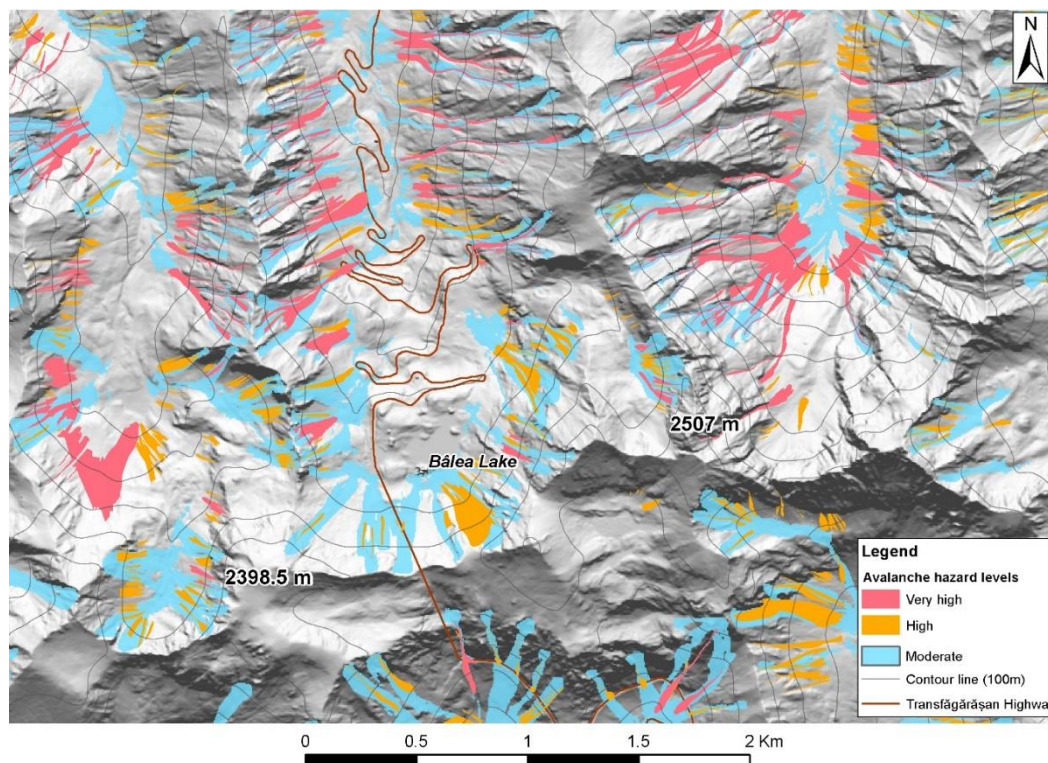


Figura 4.6.7: Harta distribuției claselor de hazard la avalanșă pentru arealul central al m: Făgăraș, în vecinătatea șoselei Transfăgărășan.

Mai multe rezultate sunt disponibile în livrabilul D7.3: "*Hărțile de hazard al avalanșelor*".

4.7.WP8 Promovare și Diseminare

4.7.1. Activitatea 8.1. Situl web al proiectului;

Site-ul web al proiectului (<http://snowball.meteoromania.ro>) a fost actualizat, fiind incluse informații cu privire la activitatea consorțiului SnowBall în etapa curentă: rezultatele obținute, întâlniri, diseminare, etc. (Figura 4.7.1). De asemenea, a fost realizată și versiunea în limba română a întregului site.



Figura 4.7.1 : Pagina web a proiectului SnowBall

4.7.2. Activitatea 8.3. Acțiuni de diseminare și instruire.

Acțiunile de diseminare și instruire s-au desfășurat în conformitate cu strategia de diseminare, inclusă în planul de Publicitate al proiectului: conștientizarea comunității de utilizatori privind oportunitățile oferite de proiectul Snowball; comunicarea rezultatelor obținute în cadrul proiectului; pregătirea materialelor suport pentru produsele create în proiect (documentații, flyere, postere, etc); asigurarea vizibilității proiectului la nivel național și internațional.

Următoarele principii sunt respectate în fiecare activitate de diseminare:

- Identitate vizuală consistentă;
- Logo-ul proiectului să fie vizibil;
- Menționarea partenerilor și a finanțatorilor;
- Toate materiale scrise vor include un paragraf standard de menționare a numelui proiectului, a indicativului și a finanțatorului.

Participarea la conferințe naționale și internaționale

Membrii echipelor de cercetare din cadrul consorțiului proiectului Snowball au participat cu prezentări orale și postere la manifestări științifice importante pentru subiectele abordate în proiect. De asemenea, au fost elaborate articole pentru publicare în reviste internaționale și naționale

relevante pentru obiectivele proiectului. La finalul proiectului, în data de 27 aprilie 2017 în București, la Hotel Marshal Garden, a fost organizată conferința finală dedicată prezentării rezultatelor obținute în cadrul proiectului. A fost prezentată și distribuită participanților cartea intitulată "Remote sensing, model and in-situ data fusion for snowpack parameters and related hazards in a climate change perspective" ("Integrarea datelor de teledetecție, din modelare și in-situ pentru evaluarea parametrilor stratului de zăpadă și a hazardelor asociate în perspectiva schimbărilor climatice"), coordonator Gheorghe Stăncălie, editor Anișoara Irimescu, ISBN 978-606-23-0733-2, Ed. Printech, 163 pagini.

Broșura proiectului

Broșura proiectului conține informații despre obiectivele și rezultatele proiectului, structurate într-o manieră atractivă și într-un limbaj non-tehnic, ușor de înțeles de către publicul larg. Versiunea finală a fost distribuită înainte de încheierea oficială a proiectului.

Newsletter

Al treilea newsletter-e (format electronic) a fost elaborat și încărcat pe site-ul proiectului și distribuit pe către lista de utilizatori finali ai proiectului SnowBall.

Mai multe rezultate sunt disponibile în livrabilele D8.6: "Produse pentru vizibilitate (bannere, postere etc.)", D8.7: „Pachete de prezentare a proiectului la conferințe”, D8.8: „Raport al acțiunii de diseminare”, D8.9: „Newsletter al proiectului (e-zine) - format digital”.

5. ANEXE

- **Anexa 1. Agenda workshop-ului final al proiectului SnowBall;**
- **Anexa 2. Agenda celei de- a 3-a Întâlnirii Anuale a proiectului SnowBall.**

SnowBall – Remote sensing, model and in-situ data fusion for snowpack parameters and related hazards in a climate change perspective

Final Workshop AGENDA

Date: 27 April 2017

Venue: Hotel Marshal Garden, Bucharest, Romania

8:30 – 9:00	Participant's registration
9:00 – 9:20	Welcome addresses Round Table - Introduction of Participants
SnowBall project results presentations	
9:20 – 9:40	Snowball project – outcomes and challenges Gheorghe Stăncălie
9:40 – 10:05	Measuring snow from space starts at the ground: from new station designs to collecting snow truth data Andrei Diamandi, Cătălin Dumitrache, Adrian Rădulescu, Oana Nicola, Eduard Luca, Robert Chirișescu, Narcisa Milian, Adrian Alin Pașol, Cristian Lucian Grecu, Anișoara Irimescu, Denis Mihăilescu Speaker: Andrei Diamandi
10:05 – 10:30	Satellite remote sensing of snow wetness in Romania and Norway Rune Solberg, Øystein Rudjord, Arnt-Børre Salberg, Øivind Due Trier, Gheorghe Stăncălie, Anișoara Irimescu, Andrei Diamandi, Vasile Crăciunescu Speaker: Rune Solberg
10:30 – 11:00	Coffee break
11:00 – 11:25	Climate change impact on snow-related processes Roxana Bojariu, Ciprian Corbuș, Rodica Mic, Marius Mătrează, Vasile Crăciunescu, Narcisa Milian, Alexandru Dumitrescu, Marius-Victor Bîrsan, Sorin-Ionuț Dascălu, Mădălina Gothard, Liliana Velea, Roxana Cică, Cristian Lucian Grecu, Adrian Alin Pașol, Speaker: Roxana Bojariu
11:25 – 11:50	Quantitative assessment of aquifer recharge from snowmelt Dragos Găitănar, Roxana Holban, Radu Gogu Speaker: Dragos Găitănar
11:50 – 12:15	Avalanche detection in very high resolution optical satellite images Arnt-Børre Salberg, Florina Ardelean, Marcel Török-Oance Speaker: Arnt-Børre Salberg
12:15 – 12:40	Improved snow water equivalent estimation methodology, for better hydrological warnings and forecasting Marius Mătrează, Simona Mătrează, Bogdan Agiu Speaker: Marius Mătrează

12:40 – 14:10	Lunch break
14:10 – 14:35	Change-detection based mapping of avalanches in Sentinel-1 images Arnt-Børre Salberg, Jarle H. Reksten, Florina Ardelean Speaker: Arnt-Børre Salberg
14:35 – 15:00	Snow avalanche inventory and hazard assessment in Fagaras Mountains Marcel Török-Oance, Florina Ardelean, Mircea Voiculescu, Narcisa Milian, Arnt-Børre Salberg Speaker: Marcel Török-Oance
15:00 – 15:25	River ice monitoring using remote sensing data. Case studies: Romania, winter season 2016-2017 Denis Mihăilescu, Vasile Crăciunescu, Gheorghe Stăncălie, Ștefan Constantinescu, Anișoara Irimescu, Claudiu Angearu Speakers: Denis Mihăilescu, Vasile Crăciunescu
15:25 – 16:00	Coffee break
16:00 – 16:35	Discussions between end-users / stakeholders and project partners
16:35 – 17:00	First day conclusions
18:30	Dinner at Hotel Marshal Garden

SnowBall – Remote sensing, model and in-situ data fusion for snowpack parameters and related hazards in a climate change perspective

3rd Annual project meeting AGENDA
Date: 28 April 2017
Venue: Hotel Marshal Garden, Bucharest, Romania

9:00 – 9:45	Discussions to identify additional potential application fields, customers and business opportunities based on the reactions to the project results dissemination activity.
9:45 – 10:30	Discussions about potential project proposals in the frame of future Program Calls.
10:30 – 11:00	Coffee break
11:00 – 11:45	Final project implementation stage and budgetary execution
11:45 – 12:30	Planned project indicators
12:30 – 14:00	Lunch break
14:00 – 15:30	Scientific and Financial Final Reporting
15:30 – 16:00	Coffee break
16:00 – 17:00	Dissemination aspects (web page, articles, reports etc.)
17:00 – 18:00	Final conclusions

6. CONCLUZII

Prezentul raport prezintă rezultatele obținute în cursul anului 2016 pentru implementarea obiectivelor proiectului SnowBall, conform cu planul de lucru, defalcat pe pachete de lucru, activități și livrabilele aferente.

WP1 Management

Activitatea 1.1. Managementul Proiectului

Activitatea de management a proiectului a fost asigurată de Administrația Națională de Meteorologie din România ca promotor al proiectului, desfășurându-se pe tot parcursul perioadei ianuarie – aprilie 2017, cuprinzând activitățile de cercetare, administrative și financiare, de comunicare cu Autoritatea Națională în cadrul Ministerului Cercetării și Inovării (MCI) precum și de exploatare a rezultatelor obținute. În vederea asigurării îndeplinirii obiectivelor proiectului au avut loc întâlniri ale grupurilor de lucru, precum și o strânsă comunicare prin internet între parteneri.

WP2 Măsurarea in-situ a parametrilor stratului de zăpadă

Activitatea 2.2. Observarea și măsurarea parametrilor stratului de zăpadă

Setul de date spectrale obținut până în prezent (mai mult de 100 de spectre) acoperă o gamă largă de condiții meteorologice și de zăpadă (unghiurile soarelui, unghiurile de vizualizare spectro-radiometru, temperatura aerului, iluminarea etc.). Examinarea în detaliu a spectrelor de zăpadă prezintă toate elementele cunoscute asociate cu caracteristicile spectrului de zăpadă pentru diferite condiții și, prin urmare, confirmă calitatea datelor achiziționate.

Variația diurnă a conținutului de apă lichidă de zăpadă, derivată din ecuațiile Denoth și Topp, arată o bună corelație cu temperatura aerului. Comparând Denoth și TopC SWC, ele sunt destul de similare, cu excepția unui offset. În absența unor măsurătorii de referință (de exemplu SWC măsurată fie cu un instrument Denoth, fie cu un Snow Fork, este dificil să se evalueze care dintre cele două ecuații se apropie cel mai mult de SWC real. Cu toate acestea, ambele calcule pot fi utilizate pentru a evalua starea de topire / înghețare a zăpezii, care este o informație utilă.

Activitatea 2.4. Elaborarea de produse folosind baza de date spațiale

Din datele zilnice gridate se pot calcula și alți parametri, precum: numărul de zile cu strat de zăpadă, prima zi și ultima zi cu strat de zăpadă, grosimea maximă a stratului de zăpadă, precipitații maxime căzute în 24 de ore etc. Pentru exemplificare, mai jos sunt prezentate hărțile cu grosimea maximă lunară a stratului de zăpadă calculată pentru fiecare punct de grilă din seriile de date zilnice. Cele mai mari valori ale acestui parametru corespund zonelor montane înalte (peste 200 cm începând cu luna ianuarie), acestea persistând, datorită temperaturilor medii negative, până în luna aprilie. De asemenea, un strat considerabil de zăpadă se găsește și în regiunile extra-carpătice (peste 50 cm), din cauza episoadelor de viscol specifice primelor două luni ale anului.

Pentru anumite zone, cu condiții climatice deosebite și care nu beneficiază de măsurători meteorologice, se recomandă realizarea de studii detaliate de variabilitate a parametrilor climatici, studii care să pună accentul pe caracterul local al fenomenelor meteorologice.

WP3 Integrarea datelor de teledetecție, din modelare și in-situ pentru evaluarea parametrilor stratului de zăpadă

Activitatea 3.2. Algoritmul și produsul multi-sensor/multi-temporal de zăpadă umedă - MWS

Hărțile de umiditate a zăpezii par, în general, corelate cu temperatura aerului. În majoritatea cazurilor, prezența zăpezii uscate corespunde temperaturilor aerului sub punctul de îngheț și clasele de zăpadă umedă, respectiv cu temperaturi ale aerului mai mari decât punctul de îngheț. Cele mai ridicate temperaturi corespund, de obicei, claselor de zăpadă umedă. Neconcordanțele pot fi explicate de trecerea de la condiții reci și uscate în timpul nopții la perioade scurte de temperaturi ale aerului peste 0°C în timpul zilei. Dacă temperaturile aerului de peste 0°C durează doar câteva ore,

suprafața de zăpadă nu este în mod implicit umedă. Un factor important în evoluția stării zăpezii atunci când temperatura aerului este mai mare decât cea de îngheț îl prezintă vântul. Viteza de topire crește odată cu viteza vântului pentru temperaturi ale aerului mai mari de 0°C.

În plus, hărțile MWS urmăresc topografia și climatul local. Tranzițiile temporale sunt similare în sensul că temperaturile în urcare conduc la creșterea umezelii. De asemenea, clasele urmează topografia (canonic): zăpadă umedă la altitudini mici și umiditate redusă la altitudini mari.

Includerea SAR îmbunătățește capacitatea de observație atunci când datele în domeniul optic sunt afectate de nori. SAR oferă mai puține informații decât senzorii optici (poate face diferența doar între zăpada uscată și cea umedă) și este influențat de zgomot, fapt care poate conduce la identificarea unor zone de zăpadă fals-umedă în zonele agricole. Aceasta problemă este bine cunoscută în comunitatea specialistilor SAR, dar nu pe deplin explicată. Zonele incendiate prezintă un coeficient de retrodifuzie ridicat atunci când solul este umed, aceasta putând însă fi prezent și sub un strat de zăpadă uscată. Cu toate acestea, câmpurile ar putea fi identificate drept zăpadă falsă, mai ales în timpul verii. Problema este complexă și posibil corelată cu modul de utilizare a datelor de referință.

Principalul avantaj al utilizării hărților MWS îl prezintă rezoluția temporală zilnică, independent de observațiile din acea zi. Schimbările meteorologice bruște nu vor fi incluse fără observații complementare, în caz contrar abordarea furnizează estimări utile privind condițiile actuale. Este important să subliniem faptul că modelul Markov utilizat în algoritmul de calcul nu este un model de prognoză, ci un model de fuziune a datelor. Prin urmare, hărțile de zăpadă din zilele cu puține/fără observații prezintă o mare incertitudine.

În concluzie, analiza noilor hărți de zăpadă umedă multi-senzor/multi-temporală a confirmat faptul că abordarea fuzionării observațiilor temporale optice și SAR pentru estimarea stării zilnice de umiditate a zăpezii a dat rezultate în general optime. Proiectul a atins scopul inițial de a dezvolta un algoritm de fuziune pentru datele optice și SAR, de a le adapta, valida și demonstra în cazul datelor optice Sentinel-1 SAR și Sentinel-3, utilizând capacitatea operațională de observare a Pământului stabilită prin programul Copernicus.

Activitatea 3.3. Noul modul al modelului multistrat pentru zăpadă în NOAH

Metoda de fuziune a datelor implementată pentru estimarea echivalentului de apă din stratul de zăpadă, reprezintă o abordare de ultimă generație, pentru a face față gradului ridicat de incertitudine al evoluției parametrilor stratului de zăpadă.

Este de așteptat ca utilizarea acestor estimări îmbunătățite ale echivalentului de apă din stratul de zăpadă, la o rezoluție spațială de 1 km, pentru actualizarea parametrilor stratului de zăpadă în principalele modele operative de prognoze hidrologice să contribuie în mod semnificativ la îmbunătățirea avertizărilor și prognozelor hidrologice în timpul perioadelor de iarnă și de primăvară. Din punct de vedere computațional, abordarea cu automate celulare este o opțiune foarte flexibilă, care va facilita încorporarea în viitor a unor reguli de interpolare mai complexe și a altor tipuri de date de intrare.

A fost finalizat livrabilul D3.7. "Produse-prototip gridate SWE, generate prin utilizarea metodologiei de fuziune – Versiunea 2".

WP4 Impactul schimbărilor climatice asupra hazardelor legate de zăpadă

Activitatea 4.1. Variabilitatea și schimbările climatice ale stratului de zăpadă și impactul asociat

Rezultatele principale în anul 2017 pentru Activitatea 4.1 au fost sintetizarea rezultatelor privind impactul schimbărilor climatice asupra resurselor legate de zăpadă.

Activitatea 4.2. Variabilitatea și schimbările din domeniul inundațiilor rapide produse cu contribuția topirii zăpezii asociat

Rezultatele modelului hidrologic CONSUL arată că mediile multianuale ale debitelor maxime din intervalul noiembrie-aprilie au tendința să crească în perioada 2021-2050, comparativ cu perioada 1981-2010, atât în cazul scenariului cel mai optimist (RCP 2.6), cât și în al celui mai pesimist (RCP 8.5)

pentru aria de interes hidrologic a proiectului. De asemenea, pentru bazinele mai mari, s-a constatat că aceste creșteri sunt sistematic mai mari și ele, în cazul scenariului pesimist, comparativ cu cel optimist, indicând modul în care semnalul schimbării climatice trece peste zgomot (în cazul nostru, variabilitatea climatică).

Activitatea 4.3. Variabilitate și schimbări în statistica avalanșelor

Principalele rezultate în anul 2017 pentru Activitatea 4.3 au fost sintetizarea rezultatelor impactului schimbării climatice asupra hazardurilor.

WP5 Modelarea realimentării acviferelor din topirea zăpezii

Activitatea 5.2. Modelarea acviferelor

Pentru a cuantifica cantitatea de apă rezultată din topirea zăpezii se folosesc două metode și anume: metoda echilibrului energetic ce constă în măsurarea sau estimarea fiecărui termen din ecuație (radiația solară netă cu unde scurte și unde lungi, căldura latentă prin sublimare și condensare, căldura sensibilă, căldură prin schimbarea de masă, căldura din sol și la nivelul solului între interfața sol – strat de zăpadă), ținându-se cont de asemenea și de gradul de acoperire al terenului (cu păduri, vegetație, clădiri, etc.) precum și de expunerea la vânt; și prin metoda „grade – zi” ce constă în indexarea tuturor fluxurilor de energie din stratul de zăpadă cu ajutorul temperaturii aerului.

Cunoașterea cantității de zăpadă căzută, a cantității de zăpadă acumulată pe sol, distribuția spațială de-a lungul zonei de interes, frecvența și volumul privind apa rezultată din topirea zăpezii precum și a factorilor și proceselor ce contribuie la procesul topirii zăpezii este esențială pentru a putea realiza modele de determinare a cantității de apă infiltrată în sol provenită din topirea zăpezii.

Activitatea 5.3. Modele de corespondență și scenarii climatice

S-au analizat șirurile temperaturii medii a aerului și a grosimii zăpezii pentru luna aprilie, în zona Padina, obținut în urma simulărilor folosind scenariile RCP 2.6 și RCP 8.5 și s-au pus în evidență următoarele schimbări față de anul 2005 considerat ca an de referință:

Față de temperatura medie a lunii aprilie a anului 2005 care a fost de $3.57^{\circ}\text{C} = 276.73\text{K}$, pentru luna aprilie a anului 2050, pentru scenariul RCP 2.6 valoarea medie a temperaturii a scăzut cu 77.4% ajungând la o valoare de $0.8^{\circ}\text{C} = 273.96\text{K}$ și a crescut cu 51.5% pentru scenariul RCP 8.5 atingând valoarea de $5.4^{\circ}\text{C} = 278.56\text{K}$.

Față de grosimea medie a grosimii zăpezii în luna aprilie a anului 2005 care a fost de 36.1 mm, pentru luna aprilie a anului 2050, pentru scenariul RCP 2.6 valoarea medie a grosimii zăpezii a crescut cu 18.4% ajungând la o valoare de 42.6 mm și a scăzut cu 40% pentru scenariul RCP 8.5 atingând valoarea de 21.6 mm.

Procesul de topire a zăpezii este determinat de fluxul net de energie al stratului de zăpadă. Pentru a simula topirea zăpezii pe baza unui model energetic s-au folosit ca date (zilnice) de intrare temperatura aerului, umiditatea relativă a aerului, viteza vântului, nebulozitatea și radiația netă. Modelul este construit în Microsoft Excel și utilizează formule adaptate din Dingman, L., 2002; Sung, C.T. B., 2015; Strasser, U., Marke, T., 2010; Walter, M.T. et al., 2005.

Pentru scenariul RCP 2.6 pentru luna aprilie a anului 2050 au fost puse în evidență următoarele (față de anul de referință 2005): o scădere a temperaturii cu aproximativ $2,7^{\circ}\text{C}$ până aproape de limita de îngheț $0,8^{\circ}\text{C}$, grosimea medie a grosimii zăpezii a crescut cu 18.4%, rata de topire a scăzut cu 52% iar cantitatea medie de SWE a scăzut cu 27%, iar infiltrația poate fi limitată de conținutul de gheață din sol, scăzând odată cu scăderea SWE.

Pentru scenariul RCP 8.5 pentru luna aprilie a anului 2050 au fost puse în evidență următoarele (față de anul de referință 2005): o creștere a temperaturii cu aproximativ $1,8^{\circ}\text{C}$, grosimea medie a grosimii zăpezii scăzut cu 40%, rata de topire a scăzut cu 45.5% iar cantitatea medie de SWE a scăzut cu 11%. Având în vedere temperaturile net pozitive, în cazul în care solul nu este saturat, întreaga cantitate, care scade odată cu scăderea SWE și a ratelor de topire, se va infiltra. Dacă solul este saturat

cantitatea de apă rezultată din topirea zăpezii se va scurge pe versant sub formă de scurgere de suprafață.

WP7 Registrul avalanșelor și hărțile de hazard

Activitatea 7.2. Algoritm de detectare a schimbării pe baza imaginilor Sentinel-1 și Sentinel 2

S-a finalizat activitatea de detectare a schimbărilor induse de producerea avalanșelor. S-a analizat arhiva cu imagini Sentinel-2 pe sezonul de iarnă 2017, fiind găsite foarte puține imagini optice cu grad mic de acoperire cu nori. S-a realizat un algoritm de detectare a pădurii într-un mediu de analiză orientată – obiect pentru identificarea modificărilor asupra arealelor forestiere.

Activitatea 7.3. Simularea avalanșelor

Simularea traiectoriilor avalanșelor reprezintă unul din pașii importanți ai analizei hazardului la avalanșe și are un rol important în separarea tipurilor de hazard și risc la avalanșe. Un factor important de care depinde direcția și extinderea spațială a simulărilor este existența inventarelor cu avalanșe trecute, delimitarea arealelor potențiale de desprindere a depozitelor de zăpadă. Zonele cu potențial ridicat de acumulare a zăpezii și care devin instabile în condiții de precipitații solide în cantități mari în intervale scurte de timp, se pot constitui în areale de desprindere a depozitelor de zăpadă și pot genera avalanșe. Harta de hazard la avalanșe pentru zona centrală a M. Făgăraș a fost realizată prin integrarea datelor legate de frecvența, magnitudinea avalanșelor și a celor rezultate din simularea traiectoriilor (incluzând grosimea și presiunea asupra mediului). Simulările extensiunii avalanșelor și grosimea depozitelor cu valori mari ale fracturii în zona de desprindere au arătat că în majoritatea cazurilor din acest scenariu, porțiuni extinse de șosea, iar pe versantul sudic și suprafețe forestiere vor fi afectate.

WP8 Promovare și Diseminare

Activitatea 8.1. Situl web al proiectului

Site-ul web al proiectului (<http://snowball.meteoromania.ro>) a fost actualizat, fiind incluse informații cu privire la activitatea consorțiului SnowBall în etapa curentă: rezultatele obținute, întâlniri, diseminare, etc. De asemenea, a fost realizată o versiune în limba română a întregului site.

Activitatea 8.3. Acțiuni de diseminare și instruire

Acțiunile de diseminare și instruire s-au desfășurat în conformitate cu strategia de diseminare, inclusă în planul de Publicitate al proiectului SnowBall.

Membrii echipelor de cercetare din cadrul consorțiului proiectului Snowball au participat cu prezentări orale și postere la manifestări științifice importante pentru subiectele abordate în proiect. La finalul proiectului, în data de 27 aprilie 2017 în București, la Hotel Marshal Garden, a fost organizată conferința finală dedicată prezentării rezultatelor obținute în cadrul proiectului.

7. BIBLIOGRAFIE

- Blahut, J., Klimeš, J., Balek, J., Hájek, P., Červená, L., Lysák, J., 2017, Snow avalanche hazard of the Krkonoše National Park, Czech Republic, *Journal of Maps*, **13(2)**, 86-90.
- Bourova, E., Maldonado, E., Leroy, J.B., Alouani, R., Eckert, N., Bonnefoy-Demongeot, M., Deschatres, M., 2016, A new web-based system to improve the monitoring of snow avalanche hazard in France, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **16(5)**, 1205-1216.
- Bühler, Y., Kumar, S., Veitinger, J., Christen, M., Stoffel, A., Snehmani, 2013, Automated identification of potential snow avalanche release areas based on digital elevation models, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **13(5)**, 1321-1335.
- Carneiro, T., Andrade, P. R., Câmara, G., Monteiro, A. M. V., Pereira, R., 2013, An extensible toolbox for modeling nature-society interactions, *Environmental Modelling & Software*, 2013 (in press). DOI:10.1016/j.envsoft.2013.03.002.
- Carneiro, T., Câmara, G., Maretto, R., 2008, Irregular Cellular Spaces: Supporting Realistic Spatial Dynamic Modeling using Geographical Databases, Brazilian Symposium on Geoinformatics, GeoInfo'08, Rio de Janeiro.
- Christen, M., Kowalski, J., Bartelt, P., 2010, RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain, *Cold Regions Science and Technology*, **63(1-2)**, 1-14.
- Chrustek, P., Świerk, M., Biskupič, M., 2013, Snow avalanche hazard mapping for different frequency scenarios, the case of the Tatra Mts., Western Carpathians International Snow Science Workshop, October 07-11, 2013, Grenoble - Chamonix Mont Blanc, pp. 745-749.
- Corbuș, C., Mic, R., Mătreacă, M., 2011, Assessment of climate change impact on peak flow regime in the Mureș river basin. Proceedings of the XXVth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water, Budapest, Hungary, 16-17 June.
- Dingman, L., 2002, Physical Hydrology, Prentice Hall. Chapter 5 – Snow and Snowmelt.
- Dumitrescu, A., Birsan, M.-V. and Manea, A., 2015, Spatio-temporal interpolation of sub-daily (6 h) precipitation over Romania for the period 1975–2010, *J. Climatology*, **7**; DOI: 10.1002/joc.4427
- Eckerstorfer, M., Christiansen, H.H., 2011, Topographical and meteorological control on snow avalanching in the Longyearbyen area, central Svalbard 2006–2009, *Geomorphology*, **134(3-4)**, 186-196.
- Eckert, N., Keylock, C.J., Bertrand, D., Parent, E., Faug, T., Favier, P., Naaim, M., 2012, Quantitative risk and optimal design approaches in the snow avalanche field: Review and extensions, *Cold Regions Science and Technology*, **79-80(0)**, 1-19.
- Fuchs, S., Bründl, M., Stötter, J., 2004, Development of avalanche risk between 1950 and 2000 in the Municipality of Davos, Switzerland, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **4(2)**, 263-275.
- Gaspar, R., Munteanu, S.A., 1968, Studii privind avalanșele de zăpadă și indicarea măsurilor de prevenire și combatere, *Analele I.C.A.S.*
- Gray, D.M., Granger, R.J., 1987, Frozen soil: the problem of snowmelt infiltration. Infiltration Development and Application, *Water Resources Research Center*, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii, 179-188.
- Granger, R.J., Gray, D.M., Dyck, G.E., 1984, Snowmelt infiltration to frozen prairie soils, *Canadian Journal of Earth Sciences*, **21**, 669-677.

- Greene, E.M.D., Atkins, K.W., Birkeland, K., Elder, C.C., Landry, B., Lazar, I., McCammon, M., Moore, D., Sharaf, C., Sterbenz, B., Tremper, Williams., K., 2010, Snow, Weather and Avalanches: Observation guidelines for avalanche programs in the United States. American Avalanche Association, Pagosa Springs, Colorado.
- Gruber, U., 2001, Using GIS for Avalanche Hazard Mapping in Switzerland, Proceedings of the 2001 ESRI International User Conference, July 9-13, 2001, San Diego, USA.
- Gruber, U., Bartelt, P., 2007, Snow avalanche hazard modelling of large areas using shallow water numerical methods and GIS, *Environmental Modelling & Software*, **22(10)**, 1472-1481.
- Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., Rossiter, D.G., 2007, About Regression-Kriging: From Equations to Case Studies. *Computers & Geosciences*, **33 (10)**, 1301–1315.
- Isaaks EH, Srivastava RM, 1989, *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press.
- Jamieson, B., Margreth, S., Jones, A.R., 2008, Application and limitations of dynamic models for snow avalanche hazard mapping, *Proceedings of the ISSW*, Whistler, Canada,, pp. 730-739.
- Jamieson, B., Stethem, C., 2002, Snow avalanche hazards and management in Canada: Challenges and progress, *Natural Hazards*, **26(1)**, 35-53.
- Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K., Lucas, N., 2001, *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. Vol. 380. ESRI Redlands.
- Kane, D.L., Stein, J., 1983, Water movement into seasonally frozen soils, *Water Resources Research*, **19**, 1547-1557.
- Keiler, M., Zischg, A., Fuchs, S., Hama, M., Stötter, J., 2005, Avalanche related damage potential – changes of persons and mobile values since the mid-twentieth century, case study Galtür, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, **5(1)**, 49-58.
- Laute, K., Beylich, A.A., 2014, Morphometric and meteorological controls on recent snow avalanche distribution and activity at hillslopes in steep mountain valleys in western Norway, *Geomorphology*, **218**, 16-34.
- Luckman, B.H., 1977, The geomorphic activity of snow avalanches. *Geografiska Annaler Series a-Physical Geography*, **59 A(1-2)**, 31-48.
- Maggioni, M., 2005, Avalanche release areas and their influence on uncertainty in avalanche hazard mapping, PhD, Universität Zürich, Zurich, 146 pp.
- McClung, D.M., Schaerer, P., 2006, *The Avalanche Handbook*. The Mountaineers Book Seattle, WA.
- Mears, A.I., 1992, Snow-avalanche hazard analysis for land-use planning and engineering. Colorado Geological Survey, Dept. of Natural Resources, Denver, Colorado.
- Milian, N. et al., 2010, Avalanșele mortale din iarna 2009-2010, Sesiunea anuală de Comunicări Științifice a ANM.
- Milian, N., Stăncescu M., 2012, Avalanches - Extreme Winter Events. Monitoring and Avalanche Risk - Conferința Aerul și Apa Componente ale Mediului, pp. 220-226.
- Miță P., Mătreacă S., 2016, Representative basins in Romania. Synthesis of research results, Ed. Didactica și Pedagogică, ISBN 978-606-31-0296-7.
- Moțoiu, D. M., 2008, Avalanșele și impactul lor asupra mediului. Studii de caz în Carpații Meridionali, Edit. Proxima, București, 280 p.
- Pebesma, E.J., 2004, Multivariable Geostatistics in S: The Gstat Package. *Computers & Geosciences* **30(7)**, 683–691.

- Salm, B., Burkard, A., H.U., G., 1990, Berechnung von FlieSSLawinen eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Eidgenössisches Institut für Schnee und Lawinenforschung. Technical Report.
- Saloranta, T. M., 2012, Simulating snow maps for Norway: description and statistical evaluation of the seNorge snow model, *The Cryosphere*, **6**, 1323-1337.
- Schweizer, J., Bartelt, P., van Herwijnen, A., 2015, Chapter 12 - Snow Avalanches. In: J.F.S.H. Whiteman (Ed.), *Snow and Ice-Related Hazards, Risks and Disasters*, Academic Press, Boston, pp. 395-436.
- Simea, I., 2012, *Avalanșele din Munții Rodnei*, PhD. Babeș-Bolyai University, Cluj-Napoca.
- Strasser, U. and Marke, T., 2010, ESCIMO.spread – a spreadsheet-based point snow surface energy balance model to calculate hourly snow water equivalent and melt rates for historical and changing climate conditions, *Geosci. Model Dev.*, **3**, 643–652.
- Sung, C.T. B., 2015, *Building Mathematical Models in Excel: A Guide for Agriculturists*, Universal Publishers.
- Taylor, K.E., 2001, Summarizing Multiple Aspects of Model Performance in a Single Diagram, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **106** (D7): 7183–7192. doi: 10.1029/2000JD900719.
- van Vuuren D. P. et al., 2011, The representative concentration pathways: an overview, *Climatic Change* (2011), **109**, 5–31, DOI 10.1007/s10584-011-0148-z.
- Voiculescu, M., Ardelean, F., 2012, Snow avalanche - disturbance of high mountain environment. Case study - the Doamnei glacial valley The Făgăraș Massif-Southern Carpathians, Romanian Carpathians, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, **7(1)**, 95-108.
- Voiculescu, M., Ardelean, F., Onaca, A., Török-Oance, M., 2011, Analysis of snow avalanche potential in Bâlea glacial area - Făgăraș massif, (Southern Carpathians - Romanian Carpathians), *Zeitschrift für Geomorphologie*, **55(3)**, 291-316.
- Voiculescu, M., Ardelean, F., Török-Oance, M., Milian, N., 2016a, Topographical factors, meteorological variables and human factors in the control of the main snow avalanche events in the Făgăraș Massif (Southern Carpathians - Romanian Carpathians): Case studies, *Geographia Polonica*, **89(1)**, 47-64.
- Voiculescu, M., Onaca, A., Chiroiu, P., 2016b, Dendrogeomorphic reconstruction of past snow avalanche events in Bâlea glacial valley-Făgăraș massif (Southern Carpathians), Romanian Carpathians, *Quaternary International*, **415**, 286-302.
- Voiculescu, M., Popescu, F., 2011, Management of Snow Avalanche Risk in the Ski Areas of the Southern Carpathians-Romanian Carpathians. In: G. Zhelezov (Ed.), *Sustainable Development in Mountain Regions: Southeastern Europe*, Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 103-121.
- Voigt, S., Kleindienst, H., Baumgartner, M. F., 2003, Chapter 4.11: Snowmelt Forecasting as a Contribution to Operational Flood Warning: A System Integrating Remote Sensing Data and Meteorological Model Output, *Early Warning Systems for Natural Disaster Reduction*, Springer Berlin Heidelberg.
- Walter, M.T., Brooks, E.S., McCool, D.K., King, L.G., Molnau, M., Boll. J., 2005, Process-based snowmelt modeling: Does it require more input data than temperature-index modeling, *Journal of Hydrology*, **300(1-4)**, 65-75.
- USDA, 2004: Chapter 11: Snowmelt, *National Engineering Handbook*.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy Sets, *Information and Control*, **8**, pp:338-353.
- *** Bilanțul nivologic al sezonului de iarnă – publicație anuală, începând din 2004, Administrația Națională de Meteorologie, București.

LISTA DE ACRONIME

ANCS	Autoritatea Nationala pentru Cercetare Stiintifica
ASAR	Advanced Synthetic Aperture Radar
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
DEM	Digital Elevation Model
EO	Earth Observation
ESA	European Space Agency
FSC	Fractional Snow Cover
GIS	Geographic Information Systems
GPS	Global Positioning System
HR	High Resolution
HRLDAS	Sistemul de Asimilare a Datelor de Inalta Rezolutie
IR	Infrared
LC	Land Cover
LSM	Land Surface Model
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MWS	Multi-Sensor/Multi-Temporal Wet Snow
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIR	Near-infrared
NR	Norsk Regnesentral
NWSRFS	National Weather Service River Forecast System
OLCI	The Ocean Land Colour Instrument
OWS	Optical Wet Snow
PSC	Comitetul de Conducere a Proiectului
RCPs	Representative Concentration Pathways
ROFFG	Romanian Flash Flood Guidance System
RS	Remote Sensing
SAR	Synthetic-Aperture Radar
SCE	Snow Cover Extent Area
SGEM	International Multidisciplinary Scientific GeoConferences
SGS	Snow Grain Size
SLSTR	Sea Land Surface Temperature Radiometer
SPOT	Satellite for observation of Earth
SSW	Snow Surface Wetness
STG	Scientific and Technical Group
STS	Snow Surface Temperature
SW	Snow Wetness
SWCC	Soil Water Characteristic Curve
SWE	Snow Water Equivalent
SWS	SAR Wet Snow
TDR	Time-Domain Reflectometer
USGS	U.S. Geological Survey
UTCb	Technical University of Civil Engineering
UTM	Universal Transverse Mercator
VHR	Very-High Resolution