Universitatea Transilvania din Brașov

ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: Silvicultură și exploatări forestiere

Ing. Gabriela-Codrina TIȚĂ

EVALUAREA EFECTELOR DE MARGINE GENERATE DE DRUMURILE FORESTIERE ASUPRA TEMPERATURII ȘI UMIDITĂȚII AERULUI, ÎN DIFERITE TIPURI DE ECOSISTEME FORESTIERE

EVALUATION OF FOREST ROADS EDGE EFFECTS ON AIR TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY, IN DIFFERENT TYPES OF FOREST ECOSYSTEMS

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător ştiinţific

Prof.dr.ing. Stelian Alexandru BORZ

BRAȘOV, 2019

D-lui (D-nei) .....

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov
Nr. ..... din .....

PREŞEDINTE:	**Prof.dr.ing. Alexandru Lucian CURTU** Decan Facultatea de Silvicultură și Exploatări Forestiere Universitatea Transilvania din Braşov
CONDUCĂTOR ŞTIINȚIFIC:	**Prof.dr.ing. Stelian Alexandru BORZ** Universitatea Transilvania din Braşov
REFERENȚI:	**Conf.dr.fiz. Marina Viorela MARCU** Universitatea Transilvania din Brașov
	Cercet.șt.gr.I Lucian Constantin DINCĂ INCDS „Marin Drăcea" București
	Conf.dr.ing. Nicușor Flavius BOJA Universitatea de Vest „Vasile Goldiș" din Arad

Data, ora şi locul susținerii publice a tezei de doctorat:

Data ....., ora ....., sala .....

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vă rugăm să le transmiteți în timp util, pe adresa tita.gabriela.codrina@unitbv.ro

Totodată vă invităm să luați parte la şedința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

Mulțumiri

E de datoria mea ca, la finalizarea activității de cercetare științifică din cadrul studiilor universitare de doctorat, să fac o mențiune specială pentru toți cei care m-au sprijinit, ajutat și îndrumat pe parcursul ultimilor ani.

În primul rând, îi adresez sincere mulțumiri conducătorului științific, Prof.dr.ing. Stelian Alexandru BORZ. Răbdarea, generozitatea, rigoarea și profesionalismul domnului profesor m-au însoțit pe parcursul acestor ani, fiind o lecție pentru mine, atât ca specialist în domeniu, cât și ca om. De aceea, îl asigur de întreaga mea recunoștință. Am convingerea că lecțiile învățate vor face mai ușoară calea mea către un nou început.

Adresez respectuoase mulțumiri distinșilor membri ai comisiei de evaluare și susținere publică a tezei de doctorat, domnului Prof.dr.ing. Alexandru Lucian CURTU, Președintele comisiei-Decanul Facultății de Silvicultură și exploatări forestiere din Brașov și referenților științifici: doamna Conf.dr.fiz. Marina Viorela MARCU, domnul Cercet.șt.gr.I Lucian Constantin DINCĂ și domnul Conf.dr.ing. Nicușor Flavius BOJA, pentru amabilitatea, efortul și răbdarea de a-mi analiza teza de doctorat.

Cercetările mele au folosit baza materială și condițiile create de Universitatea Transilvania din Brașov, fără de care nu aș fi putut finaliza cu succes această etapă. Datorez recunoștință tuturor cadrelor didactice ale Facultății de Silvicultură și exploatări forestiere din Brașov pentru formarea mea profesională, sfaturile și îndrumările acordate începând cu anii studenției și până la finalizarea perioadei de doctorat. În mod deosebit, doresc să mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare a tezei, doamna Conf.dr.fiz. Marina Viorela MARCU, domnul Conf.dr.ing. Florin DINULICĂ, domnul Conf.dr.ing. Ioan Cătălin PETRIȚAN și domnul Prof.dr.ing. Ilie OPREA, pentru buna colaborare, profesionalism, disponibilitate și recomandările prețioase acordate pe parcursul studiilor doctorale. Toate rezultatele obținute au beneficiat de contribuția valoroasă a doamnei Conf.dr.fiz. Marina Viorela MARCU. Profit de acest moment să-i mulțumesc călduros atât dânsei, cât și distinșilor profesori Marin și Olimpia MARCU, părinții săi.

De asemenea, nu aș fi ajuns la acest moment fără sprijinul nemijlocit al specialiștilor din cadrul Regiei Publice Locale a Pădurilor Săcele, Ocolului Silvic Călărași, Rezervației Naturale de Stat ,,Plaiul Fagului" și Facultății de Horticultură din cadrul Universității Agrare de Stat din Republica Moldova. Le mulțumesc tuturor pentru ajutorul acordat în etapa colectării datelor din teren și nu numai.

Pe această cale, țin să le ofer o îmbrățișare și să le mulțumesc prietenelor mele și colegilor mei doctoranzi, care m-au încurajat și au fost alături de mine atât în momentele de bucurie, cât și în cele mai puțin fericite.

La sfârșit, dar nu în ultimul rând, cel mai frumos gând se îndreaptă cu dragoste către familia mea. Ați fost întotdeauna alături de mine, m-ați încurajat, susținut moral, sprijinit necondiționat și înțeles mereu, în toată viața mea. Vă mulțumesc din toată inima și sper că v-am făcut să vă simțiți mândri!

CUPRINS

	Pg. teză	Pg. rezumat
LISTĂ DE FIGURI	8	8
LISTĂ DE TABELE	13	10
LISTĂ DE ABREVIERI	13	10
INTRODUCERE	14	11
CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTINȚELOR CU PRIVIRE LA EFECTUL DE MARGINE ÎN RELAȚIE CU MICROCLIMATOLOGIA FORESTIERĂ	15	12
1.1. Aspecte generale privind efectul de margine şi importanța estimării acestuia. Terminologia adoptată în lucrare	15	12
1.2. Dinamica factorilor meteorologici în ecosistemele forestiere	19	14
1.2.1. Radiația solară	19	14
1.2.2. Temperatura aerului și a solului	20	15
1.2.3. Umiditatea aerului și a solului	22	15
1.2.4. Vântul	23	15
1.3. Generalități privind avantajele și dezavantajele dezvoltării rețelei de drumuri forestiere	24	16
1.4. Materiale și metode utilizate în cercetarea bibliografică	25	16
1.4.1. Alegerea zonelor de studiu în literatura internațională	25	17
1.4.2. Designul experimental și colectarea datelor.	27	18
CAPITOLUL 2. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE LUCRĂRII	31	20
2.1. Scopul lucrării	31	20
2.2. Obiectivele lucrării	31	20
CAPITOLUL 3. MATERIALE ȘI METODE	32	21
3.1. Localizarea cercetărilor	32	21
3.1.1. Zona montană – Săcele	32	21
3.1.2. Zona de deal - Rezervația naturală de Stat „Plaiul Fagului”	34	21
3.1.3. Zona de câmpie-luncă – Călărași	35	22
3.2. Colectarea datelor	37	22
3.3. Prelucrarea datelor	41	24
3.4. Analiza datelor	42	25
3.4.1. Zona montană – Săcele	42	25
3.4.2. Zona de deal - Rezervația naturală de Stat „Plaiul Fagului”	43	25
3.4.3. Zona de câmpie-luncă – Călărași	44	26
CAPITOLUL 4. REZULTATE ȘI DISCUȚII	46	28
4.1. Rezultate, discuții și concluzii privind studiul realizat în zona montană – Săcele	46	28
4.1.1. Variația lunară zilnică, diurnă și nocturnă a temperaturii și umidității relative ale aerului	46	28
4.1.2. Diferențele medii zilnice și orare dintre marginea și interiorul pădurii, în zilele critice	50	30

4.1.3. Gradienți microclimatici..... 54 32
4.1.4. Discuții și concluzii pentru zona montană - Săcele..... 56 33
4.2. Rezultate, discuții și concluzii privind studiul realizat în zona de deal - Rezervația Naturală de Stat „Plaiul Fagului”..... 58 35
4.2.1. Variația lunară zilnică, diurnă și nocturnă a temperaturii și umidității relative ale aerului și a deficitului de saturație al vaporilor de apă..... 58 35
4.2.2. Diferențele orare dintre marginea și interiorul pădurii, în zilele critice... 64 40
4.2.3. Gradienți microclimatici..... 66 42
4.2.4. Discuții și concluzii pentru zona de deal – Rezervația Naturală de Stat „Plaiul Fagului” 68 44
4.3. Rezultate, discuții și concluzii privind studiul realizat în zona de câmpie-luncă - Călărași..... 70 46
4.3.1. Variația lunară zilnică, diurnă și nocturnă a temperaturii și umidității relative ale aerului..... 70 46
4.3.2. Diferențele orare dintre marginea și interiorul pădurii, în zilele critice... 79 50
4.3.3. Gradienți microclimatici..... 93 52
4.3.4. Discuții și concluzii pentru zona de câmpie-luncă - Călărași 100 55
CAPITOLUL 5. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR..... 103 57
5.1. Concluzii finale..... 103 57
5.2. Contribuții originale..... 105 59
5.3. Diseminarea rezultatelor 106 60
DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE..... 107 61
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ..... 108 62
Scurt rezumat..... 115 66
CURRICULUM VITAE..... 116 67

CONTENT

	Pg. thesis	Pg. abstract
LIST OF FIGURES	8	8
LIST OF TABLES	13	10
LIST OF ABBREVIATIONS	13	10
INTRODUCTION	14	11
CHAPTER 1. STATE OF THE ART REGARDING THE EDGE EFFECT AND THE FOREST MICROCLIMATOLOGY	15	12
1.1. Generalities on the edge effect and the importance of its evaluation. Used terminology	15	12
1.2. Dynamics of meteorological factors in forest ecosystems	19	14
1.2.1. Solar radiation	19	14
1.2.2. Air and soil temperature	20	15
1.2.3. Air and soil humidity	22	15
1.2.4. Wind	23	15
1.3. Generalities regarding the advantages and disadvantages of developing forest roads network	24	16
1.4. Materials and methods used in bibliographic research	25	16
1.4.1. Selection of research areas in international literature	25	17
1.4.2. Experimental design and data collection.	27	18
CHAPTER 2. RESEARCH AIM AND OBJECTIVES	31	20
2.1. Research aim	31	20
2.2. Research objectives	31	20
CHAPTER 3. MATERIALS AND METHODS	32	21
3.1. Study locations	32	21
3.1.1. Mountain area - Săcele	32	21
3.1.2. Hill area – State Natural Reserve ”Plaiul Fagului”	34	21
3.1.3. Plain-meadow area- Călărași	35	22
3.2. Data collection	37	22
3.3. Data processing	41	24
3.4. Data analysis	42	25
3.4.1. Mountain area - Săcele	42	25
3.4.2. Hill area – State Natural Reserve ”Plaiul Fagului”	43	25
3.4.3. Plain-meadow area- Călărași	44	26
CHAPTER 4. RESULTS AND DISCUSSIONS	46	28
4.1. Results, discussions and conclusions regarding the research done in the mountain area -Săcele	46	28
4.1.1. Monthly variation of mean daily, diurnal and nocturnal air temperature and relative humidity	46	28

4.1.2. Mean daily and hourly differences between the edge and forest interior in critical days..... 50 30
4.1.3. Microclimate gradients..... 54 32
4.1.4. Discussions and conclusions for mountain area - Săcele..... 56 33
4.2. Results, discussions and conclusions regarding the research done in the hill area - State Natural Reserve "Plaiul Fagului"..... 58 35
4.2.1. Monthly variation of mean daily, diurnal and nocturnal air temperature, relative humidity and vapor pressure deficit..... 58 35
4.2.2. Hourly differences between the edge and forest interior in critical days..... 64 40
4.2.3. Microclimate gradients..... 66 42
4.2.4. Discussions and conclusions for hill area – State Natural Reserve "Plaiul Fagului" 68 44
4.3. Results, discussions and conclusions regarding the research done in the plain-meadow area - Călărași 70 46
4.3.1. Monthly variation of mean daily, diurnal and nocturnal air temperature and relative humidity..... 70 46
4.3.2. Hourly differences between the edge and forest interior in critical days..... 79 50
4.3.3. Microclimate gradients..... 93 52
4.3.4. Discussions and conclusions for plain-meadow area – Călărași.. ..... 100 55
CHAPTER 5. FINAL CONCLUSIONS. ORIGINAL CONTRIBUTIONS. RESULTS DISSEMINATION..... 103 57
5.1. Final conclusions..... 103 57
5.2. Original contributions..... 105 59
5.3. Results dissemination..... 106 60
FUTURE RESEARCH DIRECTIONS..... 107 61
REFERENCES..... 108 62
Short abstract..... 115 66
CURRICULUM VITAE..... 117 68

LISTĂ DE FIGURI

Figura 1. *Variația spațială a parametrilor microclimatici.* 14
Figura 2. *Localizarea studiului în zona montană - Săcele* 21
Figura 3. *Localizarea studiului în zona de deal – Rezervația Naturală de Stat „Plaiul Fagului"*.....21
Figura 4. *Localizarea studiului în zona de câmpie - Călărași.* 22
Figura 5. *Modul de amplasare al colectorilor de date în zona montană - Săcele* 22
Figura 6. *Modul de amplasare al colectorilor de date în zona de deal - Rezervația Naturală de Stat „Plaiul Fagului"* 23
Figura 7. *Modul de amplasare al colectorilor de date în zona de câmpie - Călărași.* 24
Figura 8. *Exemplu de înregistrări descărcate din colectorii de date* 24
Figura 9. *Variația lunară zilnică a temperaturii aerului (T, °C) înregistrată în punctele de prelevare (S0-S3), în comparație cu datele de la stația meteorologică (SM), în zona montană* 28
Figura 10. *Variația lunară zilnică a umidității relative a aerului (U, %) înregistrată în punctele de prelevare (S0-S3), în comparație cu datele de la stația meteorologică (SM), în zona montană*.....29
Figura 11. *Diferențele orare medii (△H) ale temperaturii aerului (T, ° C) între marginea (S0) și interiorul pădurii (S3), în zona montană, pentru intervalul 1 - 6 august 2017.* 30
Figura 12. *Diferențele orare medii (△H) ale umidității relative a aerului (U, %) între marginea (S0) și interiorul pădurii (S3), în zona montană, pentru intervalul 1 - 6 august 2017.* 31
Figura 13. *Gradienți microclimatici în zona montană (1-6 august 2017, 12:30-16:30).* 33
Figura 14. *Variația lunară diurnă a temperaturii aerului (T, °C) înregistrată în punctele de prelevare (0 şi 50 m), în comparație cu datele de la stația meteorologică (SM), în zona de deal*.....36
Figura 15. *Variația lunară nocturnă a temperaturii aerului (T, °C) înregistrată în punctele de prelevare (0 şi 50 m), în comparație cu datele de la stația meteorologică (SM), în zona de deal* 36
Figura 16. *Variația lunară diurnă a umidității relative a aerului (U, %) înregistrată în punctele de prelevare (0 şi 50 m), în comparație cu datele de la stația meteorologică (SM), în zona de deal*.....37
Figura 17. *Variația lunară nocturnă a umidității relative a aerului (U, %) înregistrată în punctele de prelevare (0 şi 50 m), în comparație cu datele de la stația meteorologică (SM), în zona de deal*.....38
Figura 18. *Variația lunară diurnă a deficitului de saturație al vaporilor de apă (D, kPa) înregistrat în punctele de prelevare (0 și 50 m), în comparație cu datele de la stația meteorologică (SM), în zona de deal*.....39
Figura 19. *Variația lunară nocturnă a deficitului de saturație al vaporilor de apă (D, kPa) înregistrat în punctele de prelevare (0 și 50 m), în comparație cu datele de la stația meteorologică (SM), în zona de deal*.....39
Figura 20. *Diferențele orare medii (△H) ale temperaturii aerului (T, °C) între marginea (0 m) și interiorul pădurii (50 m), în zona de deal, în perioada 2-6 august 2017*.....40
Figura 21. *Diferențele orare medii (△H) ale umidității relative a aerului (U, %) între marginea (0 m) și interiorul pădurii (50 m), în zona de deal, în perioada 2-6 august 2017*.....41

Figura 22. *Diferențele orare medii (∆H) ale deficitului de saturație al vaporilor de apă (D, kPa) între marginea (0 m) și interiorul pădurii (50 m), în zona de deal, în perioada 2-6 august 2017*.....41
Figura 23. *Gradienți microclimatici în zona de deal (2-6 august 2017, 09:00-15:00).*.....43
Figura 24. *Variația lunară zilnică a temperaturii aerului (T, °C) înregistrată la nivelul de 2 m de la sol în punctele de prelevare (S0-S5), în comparație cu datele de la stația meteorologică (SM, la nivelul de 2m), în zona de câmpie*.....46
Figura 25. *Variația lunară zilnică a temperaturii aerului (T, °C) înregistrată la nivelul de 0,1 m de la sol în punctele de prelevare (S0-S5), în comparație cu datele de la stația meteorologică (SM, la nivelul de 2m), în zona de câmpie*.....47
Figura 26. *Variația lunară zilnică a umidității relative a aerului (U, %) înregistrată la nivelul de 2 m de la sol în punctele de prelevare (S0-S5), în comparație cu datele de la stația meteorologică (SM, la nivelul de 2m), în zona de câmpie*.....48
Figura 27. *Variația lunară zilnică a umidității relative a aerului (U, %) înregistrată la nivelul de 0,1 m de la sol în punctele de prelevare (S0-S5), în comparație cu datele de la stația meteorologică (SM, la nivelul de 2m), în zona de câmpie*.....49
Figura 28. *Diferențele orare medii (∆H) ale temperaturii aerului (T, ° C) la marginea pădurii, pe niveluri de prelevare, în zona de câmpie, pentru intervalul 1 - 5 august 2017*.....50
Figura 29. *Diferențele orare medii (∆H) ale temperaturii aerului (T, ° C) în interiorul pădurii, pe niveluri de prelevare, în zona de câmpie, pentru intervalul 1 - 5 august 2017*.....51
Figura 30. *Diferențele orare medii (∆H) ale umidității relative a aerului (U, %) între marginea și interiorul pădurii la nivelul de 2 m, în zona de câmpie, pentru intervalul 1 - 5 august 2017*.....51
Figura 31. *Diferențele orare medii (∆H) ale umidității relative a aerului (U, %) între marginea și interiorul pădurii la nivelul de 0,1 m, în zona de câmpie, pentru intervalul 1 - 5 august 2017*.....52
Figura 32. *Gradienți microclimatici în zona de câmpie (1-5 august 2017, 12:30-17:30): (a) - modificări ale temperaturii aerului (T, °C) la nivelul de 2 m, (b) - modificări ale umidității relative a aerului (U, %) la nivelul de 2 m*.....53
Figura 33. *Gradienți microclimatici în zona de câmpie (1-5 august 2017, 12:30-17:30): (a) - modificări ale temperaturii aerului (T, °C) la nivelul de 0,1 m, (b) - modificări ale umidității relative a aerului (U, %) la nivelul de 0,1 m*.....54

LISTĂ DE TABELE

Tabelul 1. *Exemple de tipuri de margine analizate în literatura de specialitate*.....17
Tabelul 2. *Exemple de design experimental*.....18
Tabelul 3. *Rezultatele testelor de comparație pentru variabilele climatice (α = 0,05, p < 0,05), în zona montană*.....32
Tabelul 4. *Rezultatele testelor de comparație pentru variabilele climatice (α = 0,05, p < 0,05), în zona de deal*.....42
Tabelul 5. *Rezultatele testelor de comparație pentru variabilele climatice în perioada 1-5 august 2017 (α = 0,05, p < 0,05)*.....54

LISTĂ DE ABREVIERI

D- valori medii diurne ale parametrilor climatici

D [kPa] – deficitul de saturație al vaporilor de apă [kilopascal]

N- valori medii nocturne ale parametrilor climatici

T [°C] – temperatura aerului [grade Celsius]

T1-T3 – transecte

S0-S5 – puncte de prelevare

SM – stație meteorologică

U [%] - umiditatea relativă a aerului [procente]

Z- valori medii zilnice ale parametrilor climatici

ZS – zonă de studiu

INTRODUCERE

Dincolo de binecunoscutele avantaje ale rețelelor de drumuri forestiere, în ultimele decenii există o preocupare crescândă pentru efectele generate de acestea asupra mediului. De exemplu, s-a apreciat că amplasarea și dezvoltarea rețelei de transport forestier poate avea efecte asupra populațiilor de animale sau poate contribui la fragmentarea habitatelor și degradarea calității apei prin producerea de sedimente și prin procese erozionale.

Din perspectivă microclimatică, dezvoltarea drumurilor forestiere poate produce așa-numitul efect de margine, indus, mai mult sau mai puțin, de cantitatea de radiație solară ajunsă la sol în zona în cauză, care este diferită de cea care pătrunde în pădure. Astfel, cercetările climatologice ar trebui conectate cu dezvoltarea rețelei de transport forestier, astfel încât, prin această abordare, să se cuantifice și riscul de mediu.

În contextul forestier românesc actual, în care este aşteptată o dezvoltare a rețelei de drumuri forestiere, decizia privind modul de extindere ar trebui să fie bine documentată în avans, astfel încât caracteristicile ecosistemelor forestiere să fie afectate cât mai puțin. În această direcție sunt orientate și cercetările prezentate în această lucrare: analizarea efectului pe care îl determină drumurile forestiere asupra microclimatului (temperatura și umiditatea aerului) ce caracterizează ecosistemele forestiere învecinate. Cunoscut fiind efectul microclimatului asupra dezvoltării ecosistemelor forestiere, lucrarea se bazează pe măsurători efectuate în diferite condiții de relief și diferite tipuri de pădure. Se fac astfel primii pași în cadrul unei arii de cercetare noi și importante, ce are scopul de a furniza recomandări fundamentate privind amplasarea infrastructurii de transport forestier în așa fel încât efectul negativ asupra ecosistemelor forestiere să fie minimizat.

CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTINȚELOR CU PRIVIRE LA EFECTUL DE MARGINE ÎN RELAȚIE CU MICROCLIMATOLOGIA FORESTIERĂ

1.1. Aspecte generale privind efectul de margine şi importanța estimării acestuia. Terminologia adoptată în lucrare

În general, efectul de margine caracterizează, printre altele, variația spațială și temporală a unor variabile climatice: temperatura și umiditatea aerului și a solului, radiația solară, viteza vântului etc. (Schmidh et al., 2017; Chen et al., 1995), raportat la o lizieră creată pe cale naturală sau artificială, în două sensuri: înspre exteriorul și înspre interiorul pădurii. Adesea, efectul de margine se caracterizează prin mărimi fizice specifice microclimatului care, la rândul lor, pot caracteriza variațiile climatice pe orizontală la distanțe de până la 100 m (Mattsson, 1979 citat în Niemi, 2013).

Estimarea efectului de margine a înregistrat un interes semnificativ în ultimii ani, deoarece acesta poate produce dovezi cu privire la schimbările locale care apar în ecosistemele forestiere. Studii recente au arătat că modificări ale variabilelor ce caracterizează microclimatul pot să apară la distanțe chiar mai mari de 50 m față de o margine dată (Schmidt et al., 2017) și pot avea efecte asupra proceselor specifice ecosistemelor (Li et al., 2018) sau chiar asupra structurii ecosistemelor forestiere (Dovčiak şi Brown, 2014).

În comparație cu terenurile învecinate, caracterizate de absența pădurii, microclima forestieră se caracterizează prin (Marcu și Marcu, 1998):

- *Un grad de iluminare mai redus;*
- *O amplitudine termică mai redusă;*
- *O reducere considerabilă a cantităților de precipitații ajunse la sol datorită retenției în coronament;*
- *Un strat de zăpadă cu o grosime variabilă, în funcție de compoziția, vârsta și consistența pădurii;*
- *O reducere a vitezei vântului;*
- *O sporire a umidității aerului și a gradului său de puritate;*
- *Un regim aparte al înghețului în sol.*

Deși în majoritatea studiilor influența factorilor microclimatici este evaluată separat, în realitate, diferiți factori acționează corelat (Doniță et al., 1977), în sensul că modificarea unui factor poate provoca modificarea altor factori. De exemplu, creșterea temperaturii aerului mărește evaporarea și conduce la reducerea umidității relative a aerului (Doniță et al., 1977).

Lizierele au efecte asupra zonelor forestiere adiacente, efecte (relații, expresii) care pot fi exprimate sub formă de gradienți microclimatici. Aceste expresii sunt interpretate, adesea, în două moduri (direcții): influența pădurii (Baker et al., 2014) se referă la propagarea efectelor pădurii, în formă neperturbată, spre exterior, în timp ce influența marginii spre interior urmărește efectul zonei situate dincolo de liziera pădurii înspre interiorul pădurii. Indiferent de conceptul sau abordarea utilizată, distanța la care gradienții microclimatici se manifestă și amplitudinea lor sunt măsuri frecvent utilizate în studiile privind efectul de margine.

Dinamica efectelor de margine asupra microclimatului variază foarte mult și depinde în mare măsură de:

i) *Orientarea marginii* (Chen et al., 1993; Norton, 2002);

ii) *Tipologia marginii* (Pohlman et al., 2007);

iii) *Vârsta marginii* (Dovčiak și Brown, 2014);

iv) *Tipul de pădure luat în studiu* (Delgado et al., 2007);

v) *Sezonul în care se efectuează cercetările* (Pohlman, 2007; Wright et al., 2010);

vi) *Relieful regiunii* (Marcu și Marcu, 1998);

vii) *Aria geografică în care se desfășoară studiul* (Chen et al., 1995; Kunert et al., 2015).

Pentru un același tip de ecosistem, ce caracterizează pădurea luată în studiu, pot să apară variații însemnate ale parametrilor microclimatici datorită categoriei de folosință a terenului adiacent (Wright et al., 2010) care, prin caracteristicile proprii, determină natura suprafeței active exterioară pădurii. Regimul climatic este influențat în mare parte de factorii orografici, particularitățile reliefului imprimând un regim distinct tuturor elementelor meteorologice (Marcu și Marcu, 1998). De exemplu, regimul precipitațiilor și regimul termic sunt determinate de acțiunea combinată a mai multor factori geografici, cum ar fi altitudinea, latitudinea şi expoziția (Barry, 2008). Prin urmare, relieful poate fi considerat un factor important de influență asupra climei, cu acțiune permanentă și complexă, contribuind în cea mai mare măsură la diversificarea fenomenelor și proceselor atmosferice, împreună cu fluxul radiației solare și cu circulația generală a atmosferei, conturând, în acest fel, particularitățile climatice ale unui teritoriu (ANM, 2008).

Sintetizând comportamentul şi dinamica efectului de margine estimat prin diverși parametri microclimatici, în **Figura 1** se prezintă o imagine de ansamblu cu privire la intervalele în care au loc schimbările cele mai semnificative, precum şi limitele spațiale până la care aceste schimbări pot să se manifeste. Figura prezentată pornește de la conceptul de „linie zero", care desemnează linia suprapusă pe extremitatea exterioară a unui transect dat, utilizat în evaluarea efectului de margine manifestat înspre interior (Pohlman et al., 2007; Heithecker și Halpern, 2007; Li et al., 2018). Pentru elaborarea figurii, s-au luat în considerare studiile care au raportat o distanță de manifestare a efectului de margine pentru parametrii analizați: radiația solară (Davies-Colley et al., 2000; Dignan și Bren, 2003; Denyer et al., 2006; Delgado et al., 2007; Heithecker și Halpern, 2007; Pohlman et al., 2007), temperatura aerului (Chen et al., 1995; Davies-Colley et al., 2000; Denyer et al., 2006; Delgado et al., 2007; Heithecker și Halpern, 2007; Wright et al., 2010; Dodonov et al., 2013; Li et al., 2018), temperatura solului (Chen et al., 1995; Delgado et al., 2007; Heithecker și Halpern, 2007; Li et al., 2018), umiditatea relativă a aerului (Davies-Colley et al., 2000; Wright et al., 2010; Dodonov et al., 2013; Kunert et al., 2015; Li et al., 2018) şi vântul (Chen et al., 1995; Davies-Colley et al., 2000).

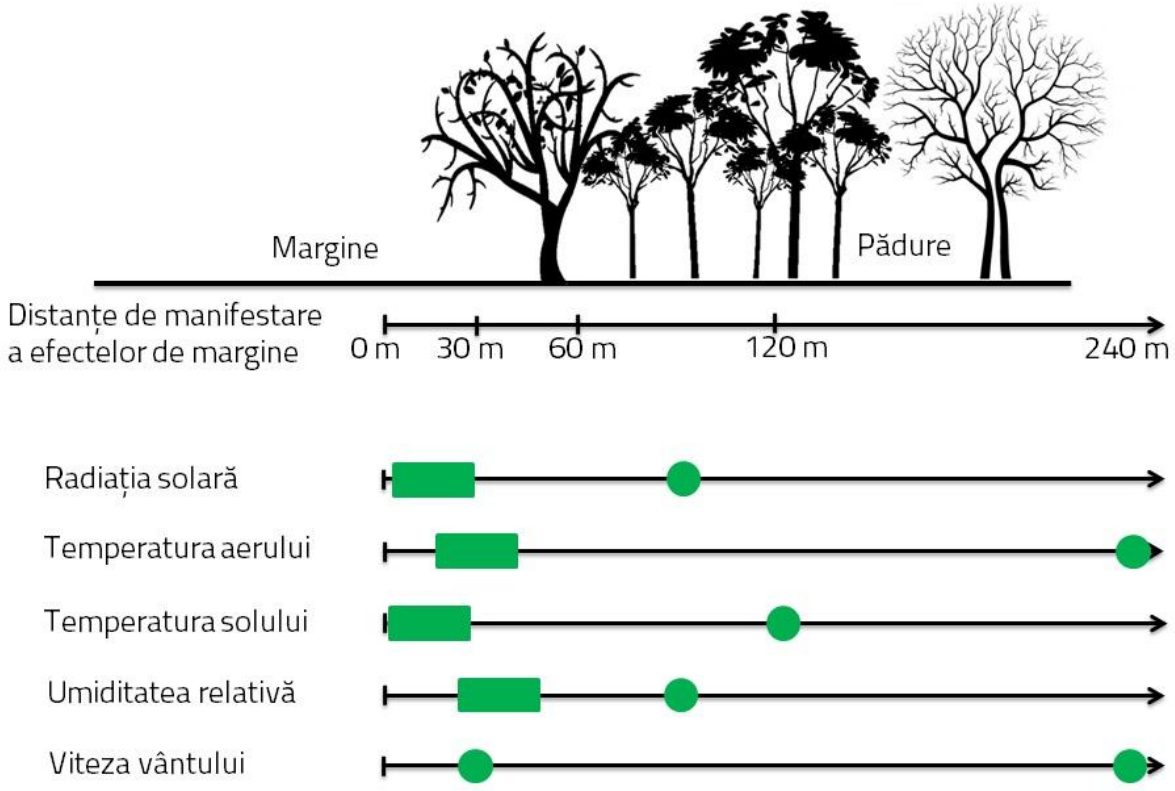


Figura 1. *Variația spațială a parametrilor microclimatici. Legendă: dreptunghi verde - intervalul în care au loc cele mai multe dintre schimbările semnificative, cerc verde - distanțe posibile de manifestare a efectelor de margine*.

1.2. Dinamica factorilor meteorologici în ecosistemele forestiere

1.2.1. Radiația solară

Radiația solară este factorul cheie ce contribuie la modificarea microclimatelor (Schmidt et al., 2017) deoarece energia solară constituie sursa energetică primară ce declanșează toate procesele meteorologice (Marcu și Marcu, 1998). Intensitatea radiației solare incidente variază în funcție de latitudinea și orografia terenului; în ecosistemele forestiere, cea mai mare cantitate din aceasta este reținută în coronamentul arborilor (Florescu și Nicolescu, 1996; Marcu și Marcu, 1998). Ca atare, cantitatea de lumină transmisă etajelor inferioare ale ecosistemelor forestiere depinde de specie, vârstă, anotimp, structura arboretului etc. (Florescu și Nicolescu, 1996). Comparativ cu terenul deschis, radiația pătrunsă în pădure este redusă cantitativ și modificată calitativ (Doniță et al., 1977), prezentând un gradient vertical accentuat de la suprafața superioară a coronamentului până la nivelul solului (Doniță et al., 1977; Florescu și Nicolescu, 1996). În treimea superioară a coronamentului, gradientul este mai accentuat, iar în spațiul trunchiurilor, intensitatea acestuia scade (Măciucă, 2006). În acord cu aceste precizări, gradienții verticali relaționați cu radiația solară au fost identificați și în alte studii (Dignan și Bren, 2003), unii autori clasificând această variație pe 3 zone: luminoasă, de tranziție și întunecată (Didham și Ewers, 2014).

Cantitatea de lumină distribuită pe orizontală poate depinde de natura folosinței terenului adiacent pădurii. Distribuția neuniformă pe orizontală a luminii și gradul de reducere al intensității acesteia depind, în primul rând, de compoziția și structura pădurii (*e.g.* Doniță et al., 1977).

1.2.2. Temperatura aerului și a solului

În general, ecosistemele forestiere sunt caracterizate de propriul mediu termic (Florescu și Nicolescu, 1996), diferit de cel exterior, specific terenurilor descoperite. Una dintre caracteristicile acestui regim este micșorarea amplitudinii de variație a temperaturilor și un anumit decalaj în timp a încălzirii și răcirii (Doniță et al., 1977). În mod obișnuit, temperaturile medii anuale din terenul descoperit sunt mai ridicate, iar în pădure maximele temperaturilor sunt reduse, în timp ce minimele cresc (Florescu și Nicolescu, 1996; Doniță et al., 1977).

Diferențele termice maxime între terenul descoperit și pădure apar la suprafața solului. În pădure, temperatura aerului prezintă un gradient descrescător de la nivelul coronamentului spre sol pe durata zilei, în timp ce, în terenul descoperit, acest fenomen este inversat (Florescu și Nicolescu, 1996). În perioada verii, temperatura solului este mai redusă în pădure decât în terenul descoperit; totuşi, diferențele se atenuează cu adâncimea (Florescu și Nicolescu, 1996). În timpul iernii, solul forestier se menține mai cald datorită litierei și stratului de zăpadă, iar temperatura sa crește cu adâncimea (Marcu, 1983).

Deși majoritatea studiilor susțin premisa că temperatura aerului este mai mare la marginea pădurii decât în interior (Heithecker și Halpern, 2007; Davies-Colley et al., 2000; Li et al., 2018), în unele studii, temperatura aerului a înregistrat valori mai mari în interiorul pădurii comparativ cu marginea (Wright et al., 2010; Dovčiak și Brown, 2014). Așadar, efectul de margine asupra regimului termic este foarte variabil (Arroyo-Rodríguez et al., 2017), în funcție de mai mulți factori, dintre care se amintesc natura și structura pădurii, vârsta și înălțimea pădurii (Florescu și Nicolescu, 1996), respectiv vârsta și orientarea marginilor (Arroyo-Rodríguez et al., 2017).

Întrucât temperatura variază în funcție de anumiți factori, așa cum s-a menționat anterior, este important ca în studiile ce se efectuează să se țină cont și de epoca temporală, deoarece intensitatea efectelor este mai pronunțată vara, în mijlocul zilei (Baker et al., 2014), cât și de distanța de manifestare a gradientului și magnitudinea efectului de margine.

1.2.3. Umiditatea aerului și a solului

Mediul forestier este caracterizat de modificări importante ale regimului de umiditate atmosferică și a solului (Florescu și Nicolescu, 1996), astfel că, în raport cu celelalte medii, prezintă următoarele caracteristici (Doniță et al., 1977): umiditatea aerului, datorită transpirației intense a arborilor, are valori mai ridicate în pădure, atât în timpul zilei și de-a lungul sezonului de vegetație, iar în unele situații și în tot timpul anului. Ca și temperatura, aceasta variază pe verticală, umiditatea cea mai ridicată fiind însă înregistrată în straturile de aer din apropierea solului. Distribuția pe verticală a umidității relative în pădure prezintă unele particularități în funcție de momentul de răsărit al soarelui. Astfel, umiditatea relativă este aproape egală la toate nivelurile înainte de răsăritul soarelui; după ce răsare soarele, suprafața coronamentului se încălzește și determină apariția unui strat mai uscat în partea superioară, umiditatea păstrându-se mai ridicată în stratul inferior (Măciucă, 2006).

1.2.4. Vântul

În raport cu vântul, coroanele arborilor reprezintă un obstacol activ, provocând modificări asupra direcției și vitezei acestuia (Florescu și Nicolescu, 1996). Viteza maselor de aer în mișcare este redusă în apropierea masivelor forestiere situate perpendicular pe direcția lor de înaintare și, totodată, se

modifică și direcția de manifestare, vântul ridicându-se deasupra pădurii. Masa de aer pătrunsă în interiorul masivelor își pierde treptat viteza, astfel încât se menține calmul atmosferic în condiții de vânt cu viteză redusă și consistență normală a pădurii (Florescu și Nicolescu, 1996). Pentru anumite condiții, de exemplu, pădurile de stejar pot reduce viteza vântului la circa 200 m de lizieră cu circa 97-98% comparativ cu cea din terenul descoperit (Măciucă, 2006). În profil vertical, viteza vântului în pădure este variabilă, reducându-se pe măsura apropierii de coronament (Florescu și Nicolescu, 1996), datorită rugozității mai mari a coronamentului (Măciucă, 2006).

1.3. Generalități privind avantajele și dezavantajele dezvoltării rețelei de drumuri forestiere

Este cunoscut faptul că drumurile forestiere sunt componente esențiale în gestionarea eficientă și durabilă a pădurilor, în special datorită rolului primordial pe care îl au în relație cu eficiența operațiilor de exploatare și transport a lemnului (Heinimann, 1998). O rețea de drumuri forestiere bine concepută, nu numai că va favoriza reducerea cheltuielilor de exploatare a lemnului (*e.g.* Borz et al., 2014; Jourgholami et al., 2013), contribuind astfel la sustenabilitatea serviciilor de furnizare a lemnului în circuitul economic, dar va contribui, de asemenea, pozitiv, la gestionarea și reglementarea potențialului productiv al pădurilor, conservarea biodiversității, gestionarea și optimizarea potențialului recreativ, susținând, în același timp, economia rurală prin asigurarea accesului la pășuni și alte resurse forestiere (Popovici et al., 2003).

În ciuda acestor beneficii, au existat numeroase preocupări asupra efectelor adverse generate de amplasarea și dezvoltarea rețelei de transport forestier deoarece aceasta poate avea efecte asupra populațiilor de animale (Benítez-López et al., 2010; Ciolan et al., 2017) sau poate contribui la fragmentarea habitatelor (Jung et al., 2013) și degradarea calității apei (Demir, 2012; Forman și Alexander, 1998) prin producerea de sedimente și prin procese erozionale (Coffin, 2007).

Din perspectivă microclimatică, dezvoltarea drumurilor forestiere poate produce așa-numitul efect de margine. Acesta este indus, mai mult sau mai puțin, de cantitatea de radiație solară ajunsă la sol în zona în cauză, ca efect al schimbării categoriei de folosință, cantitate care este diferită de cea care pătrunde în pădure (Marcu și Marcu, 1998). În ciuda interesului crescând din ultimii ani cu privire la estimarea efectului de margine relaționat cu factorii climatici, nu au fost identificate studii care să contribuie la translatarea acestor cercetări în elaborarea de recomandări temeinice, aplicabile în proiectarea și construcția infrastructurii de transport forestier. De asemenea, nu s-au identificat astfel de studii care să descrie sau să caracterizeze sectorul forestier românesc. Cu toate acestea, cercetările climatologice ar trebui conectate cu dezvoltarea rețelei de transport forestier, astfel încât această abordare să cuantifice și riscul de mediu. De altfel, una dintre măsurile propuse pentru combaterea efectelor negative ale schimbărilor climatice se referă la includerea caracteristicilor şi variabilității climatice în ghidul de proiectare și standardele tehnice privind proiectarea infrastructurii de transport în general (PNUD, 2009/2010), prin urmare, și a transportului forestier.

1.4. Materiale și metode utilizate în cercetarea bibliografică

Prezenta lucrare a utilizat literatura de specialitate identificată pe problema efectului de margine asupra dinamicii microclimatului. Din motive legate de specificitatea tezei de doctorat, analiza a fost concentrată pe cele mai relevante studii și cercetări care au vizat variația temperaturii și a umidității aerului în raport cu distanța de la marginea masivului forestier.

1.4.1. Alegerea zonelor de studiu în literatura internațională

Condițiile microclimatice și edafice întâlnite la margine sunt, în general, diferite față de cele din interiorul pădurii (*e.g.* Davies-Colley et al., 2000; Pohlman et al., 2007; Delgado et al., 2007). Din acest motiv, efectele de margine asupra microclimatului au fost intens studiate în ecosistemele fragmentate (*e.g.* Denyer et al., 2006; Pohlman et al., 2007; Wright et al., 2010) pe cale naturală și artificială, dat fiind faptul că structura fizică a marginilor are o influență puternică asupra interacțiunii climat-pădure (*e.g.* Laurance, 2004). Se pot distinge diferite tipuri de margine, cum ar fi cele dintre o tăiere rasă și pădure, pădure și alte categorii de folosință a terenului (de exemplu teren agricol), pădure și un curs de apă, un drum, linie electrică etc. (**Tabelul 1**). O categorie aparte o reprezintă studiile care analizează efectul drumurilor asupra marginii de masiv (*e.g.* Kunert et al., 2015; Pohlman et al., 2007; Delgado et al., 2007; etc.).

Studiile au fost efectuate în diverse tipuri de pădure, existând și unele care au făcut o comparație a efectului de margine între două tipuri de pădure (*e.g.* Delgado et al., 2007). Nu a fost identificat un anumit tip de relief luat cu precădere în considerare atunci când s-au realizat astfel de studii. Pentru condițiile europene, s-a identificat un număr relativ mic de studii pe problema abordată.

Tabelul 1. *Exemple de tipuri de margine analizate în literatura de specialitate*

Referința	Țara	Tip de margine
Li et al. (2018)	Coreea de Sud	Pădure-teren descoperit
Baker et al. (2016)	Australia	Pădure-tăiere rasă
Cerboncini et al. (2016)	Brazilia	Pădure-cale ferată
Kunert et al. (2015)	Brazilia	Pădure-drum
Baker et al. (2014)	Australia	Pădure-tăiere rasă
Dovčiak și Brown (2014)	SUA	Pădure-tăiere rasă
Dodonov et al. (2013)	Brazilia	Savană-pășune
Dodonov et al. (2013)	Brazilia	Terenuri echivalate cu savane-drum
Dodonov et al. (2013)	Brazilia	Terenuri echivalate cu savane-linie somieră pentru prevenirea incendiilor
Dodonov et al. (2013)	Brazilia	Pădure-linie somieră pentru prevenirea incendiilor
Liao et al. (2013)	China	Zonă umedă-zonă agricolă
Wright et al. (2010)	Australia	Pădure-teren agricol
Wright et al. (2010)	Australia	Pădure-plantație
Pohlman et al. (2007)	Australia	Pădure-curs de apă
Pohlman et al. (2007)	Australia	Pădure-drum
Pohlman et al. (2007)	Australia	Pădure-rețea electrică
Delgado et al. (2007)	Spania	Pădure-drum
Denyer et al. (2006)	Noua Zeelandă	Pădure-pășune
Denyer et al. (2006)	Noua Zeelandă	Pădure-plantație

Tabelul 1. *(continuare)*

Referința	Țara	Tip de margine
Davies-Colley et al. (2000)	Noua Zeelandă	Pădure-pășune
Chen et al. (1995)	SUA	Pădure-tăiere rasă
Chen et al. (1993)	SUA	Pădure-tăiere rasă

1.4.2. Designul experimental și colectarea datelor

De-a lungul timpului au fost efectuate diverse studii referitoare la caracterizarea efectelor de margine asupra microclimatului, astfel că au fost dezvoltate diferite proceduri respectiv au fost utilizate diverse instrumente de evaluare a acestor efecte. Dintre acestea, au fost luate în considerare, în special, cele legate de temperatura și umiditatea aerului, acești doi factori făcând obiectul prezentei teze de doctorat (**Tabelul 2**). Indiferent de obiectivele cercetărilor, determinarea limitelor spațiale până la care se pot manifesta schimbările parametrilor microclimatici s-a realizat pe transecte, în majoritatea studiilor pornindu-se de la extremitatea exterioară a transectului și continuându-se spre interiorul pădurii (*e.g.* Pohlman et al., 2007; Heithecker și Halpern, 2007; Li et al., 2018).

În scopul descrierii modului în care au fost proiectate experimentele, precum și a modului în care au fost colectate datele, documentarea a vizat: parametrii măsurați (temperatura și umiditatea aerului), instrumentele folosite, amplasarea punctelor în care au fost făcute măsurătorile, precum și aspectul temporal al măsurătorilor (perioada în care s-au efectuat măsurătorile, anotimpul, periodicitatea măsurătorilor). Rezultatele centralizate ale documentării sunt redate în **Tabelul 2**.

După cum se prezintă în **Tabelul 2**, majoritatea instrumentelor utilizate în studiile analizate sunt capabile să colecteze concomitent doi parametri: temperatura și umiditatea aerului. Deși nu rezultă întotdeauna foarte clar din descrierea metodei, în studiile analizate, alegerea unui anumit tip de instrument a fost probabil condiționată de obiectivele cercetărilor și de performanțele specifice pe care le prezintă, de precizie, capacitatea de înregistrare, costuri, disponibilitate etc.

Tabelul 2. *Exemple de design experimental*

Referința	Instrumentul folosit	Distanțe de măsurare	Înălțimea de măsurare	Rata de înregistrare	Perioada studiului
Li et al. (2018)	TR-72wf Thermo Recorders	-5 m, 0 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m	1,5 m	5 min	Vară (3 zile)
Baker et al. (2016)	HOBO pro V2	-50 m, -25 m, 0 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m	0,1 m	30 min	1 an
Cerboncini et al. (2016)	*Thermochron	0 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 35 m, 45 m, 55 m, 65 m, 75 m, 90 m, 105 m, 120 m, 135 m, 150 m	-	60 min	Vară (3 zile) Toamnă (3 zile) Iarnă (3 zile)
Baker et al. (2014)	HOBO U23 pro V2	-35 m, -15 m, 15 m, 35 m, 70 m, 120 m, 200 m	0,5 m	30 min	Vară și toamnă (142 zile)
Baker et al. (2014)	HOBO U23 pro V2	-35 m, 15 m, 35 m, 200 m	0,5 m	30 min	1 an

Tabelul 2. *(continuare)*

Referința	Instrumentul folosit	Distanțe de măsurare	Înălțimea de măsurare	Rata de înregistrare	Perioada studiului
Dovčiak și Brown (2014)	*DS1921G Thermochron	-30 m, -20 m, -10 m, -5 m, 0 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m	0,9 m	60 min	Vară (1 lună)
Dodonov et al. (2013)	THAL 300 hygro-thermo-anemometer	0 m, 2 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 80 m, 100 m, 120 m, 150 m, 180 m	1,3 m	-	1 an
Wright et al. (2010)	HOBO	0 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m	1,5 m	10 s	Vară (6 zile) Iarnă (6 zile)
Pohlman et al. (2007)	8347-M-GB VelociCalc Portable Air Velocity Meter	0 m, 2 m, 4 m, 8 m, 12 m, 16 m, 20 m, 25 m, 30 m, 50 m, 100 m	0,3 m, 1,65 m	-	Vară (29 zile) Iarnă (30 zile)
Heithecker și Halpern (2007)	DS1921G Thermochron	-63 m, -40 m, -30 m, -20 m, -15 m, -10 m, -5 m, 0 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 30 m, 40 m, 56,4 m	1 m	60 min	Vară (14-21 zile)
Delgado et al. (2007)	*digital thermo-couple Heraeus	-3 m, - 1 m, 1 m, 3 m, 6 m, 10 m, 20 m, 40 m, 60 m, 100 m	0,05 m, 1,3 m	60 min	Primăvară-Vară (Martie-Iunie)
Denyer et al. (2006)	Novasina MIK3000	0 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m	1,5 m	10 min	Vară-Toamnă (60 zile)
Norton (2002)	Skye SKH2011, Campbell 207	-100 m, 5 m, 15 m, 30 m, 90 m	0,5 m	10 s (media 30 min)	Vară (19 zile)
Chen et al. (1995)	Model 101, 107 Temperature Probes, CSI / Model 207 Phys-Chem Temperature and RH Probes, CSI	0 m, 30 m, 60 m, 120 m, 180 m, 240 m	2 m	15 s (media 30 min)	134 zile
Chen et al. (1993)	Model 101, 107 Temperature Probes, CSI / Model 207 Phys-Chem Temperature and RH Probes, CSI	< 250 m	2 m	15 s (media 30 min)	Vară (35 zile)

(* instrumentele au fost folosite doar pentru măsurarea temperaturii aerului)

În ceea ce privește perioada de efectuare a măsurătorilor, cele mai multe studii au fost efectuate în zilele de vară și în mijlocul zilei, deoarece, în mod obișnuit, intensitatea efectelor este mai pronunțată în această perioadă (*e.g.* Baker et al., 2014), având în vedere valorile maxime ale radiației solare și ale temperaturii, precum și valorile minime ale umidității aerului (*e.g.* Delgado et al., 2007).

CAPITOLUL 2. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE LUCRĂRII

2.1. Scopul lucrării

Dată fiind marea diversitate a condițiilor geoclimatice de pe glob, este practic imposibil de prezis, de o manieră exactă, comportamentul arborilor în relație cu modificările microclimatice ce apar ca urmare a deschiderii de culoare în pădure. În România, precum și în Republica Moldova, principalul mijloc de accesibilizare a pădurii îl reprezintă drumurile forestiere; cu toate acestea, cunoștințele referitoare la efectul de margine pe care astfel de drumuri îl pot genera sunt limitate. În acest context, prin această lucrare s-a urmărit estimarea influenței efectelor de margine asupra microclimatului din punct de vedere al temperaturii și umidității aerului în ecosisteme reprezentative. Cercetările din lucrarea de față au fost efectuate în relație cu infrastructura de transport forestier.

2.2. Obiectivele lucrării

În vederea îndeplinirii scopului cercetărilor, au fost definite următoarele obiective specifice:

i. *Caracterizarea modificărilor microclimatului din punct de vedere al temperaturii și umidității relative ale aerului la scară lunară, prin analiza diferențiată pe intervale zilnice, diurne și nocturne, în raport cu distanța față de drum;*
ii. *Compararea datelor experimentale măsurate în teren cu datele furnizate de cea mai apropiată stație meteorologică;*
iii. *Evaluarea dinamicii factorilor microclimatici la scară zilnică, pentru un interval de timp considerat critic din punct de vedere al incidenței radiației solare;*
iv. *Cuantificarea și testarea diferențelor specifice gradienților microclimatici între un punct considerat a reprezenta interiorul pădurii, nealterat din punct de vedere microclimatic, și distanțe selectate față de marginea drumului forestier.*

CAPITOLUL 3. MATERIALE ȘI METODE

3.1. Localizarea cercetărilor

Cercetările din cadrul tezei de doctorat au fost efectuate în trei locații diferite, urmărindu-se evaluarea efectelor de margine din punct de vedere al temperaturii și umidității relative ale aerului, raportate la un drum forestier.

3.1.1. Zona montană - Săcele

Prima locație, corespunzătoare zonei montane, se află în partea centrală a României (**Figura 2**), în pădurile administrate de R.P.L.P. Săcele R.A, amplasate parțial în U.P. VIII Gârcin. Aproximativ 33% din suprafața U.P. VIII Gârcin (2.955,9 ha) este constituită din păduri de amestec de molid (*Picea abies* Lam.) (50%), brad (*Abies alba* Mill.) și fag (*Fagus sylvatica* L.).

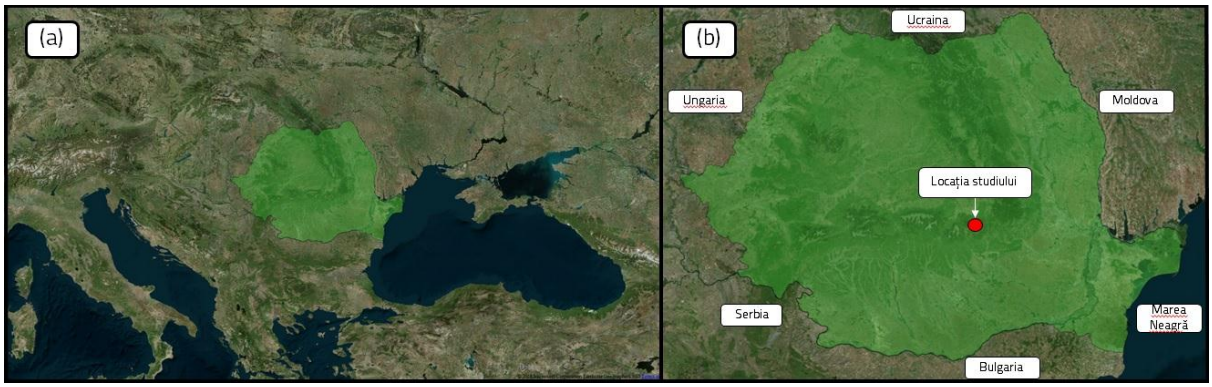


Figura 2. *Localizarea studiului în zona montană - Săcele: (a) Amplasarea României în sud-estul Europei, (b) Locația studiului la nivel național*

3.1.2. Zona de deal - Rezervația naturală de Stat „Plaiul Fagului"

A doua locație aleasă a fost Rezervația Naturală de Stat ,,Plaiul Fagului" (**Figura 3**), localizată în partea de nord-vest a Podișului Central al Codrilor din Republica Moldova. Această regiune prezintă interes deosebit din punct de vedere ecologic, prin diversitatea peisajului, a structurii arboretelor, respectiv a elementelor de floră și faună (Moldsilva, 2016).

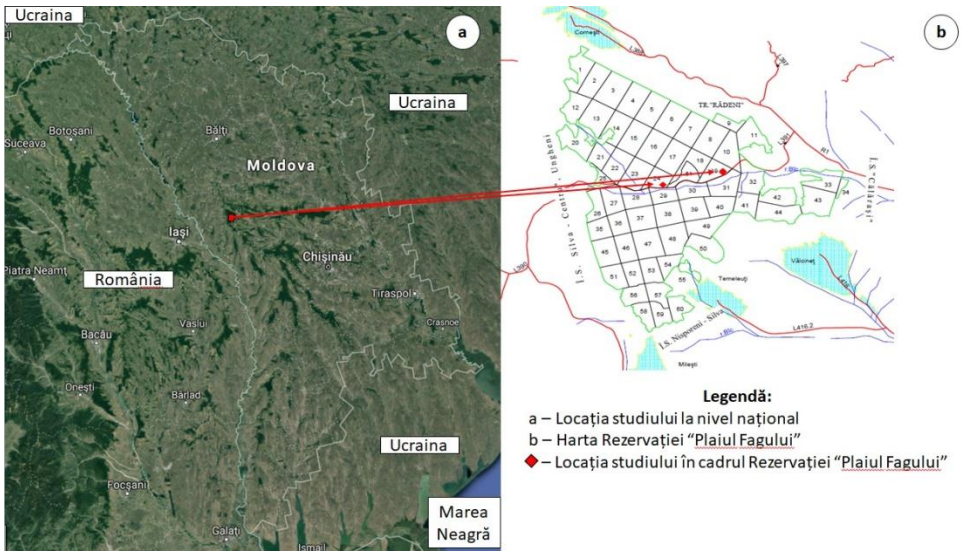


Figura 3. *Localizarea studiului în zona de deal – Rezervația Naturală de Stat „Plaiul Fagului". Prelucrare după Google®*

3.1.3. Zona de câmpie-luncă - Călărași

A treia locație luată în studiu, corespunzătoare zonei de câmpie, este localizată în partea de sud-est a României (**Figura 4**), la periferia municipiului Călărași. Studiul a fost dezvoltat într-o cultură de plop euramerican (*Populus x euramericana* (Dode) Guinier) cu vârsta de 11 ani (**Figura 4**), cu schema de plantare de 5 × 5 m, aflându-se în administrarea Ocolului Silvic Călărași.

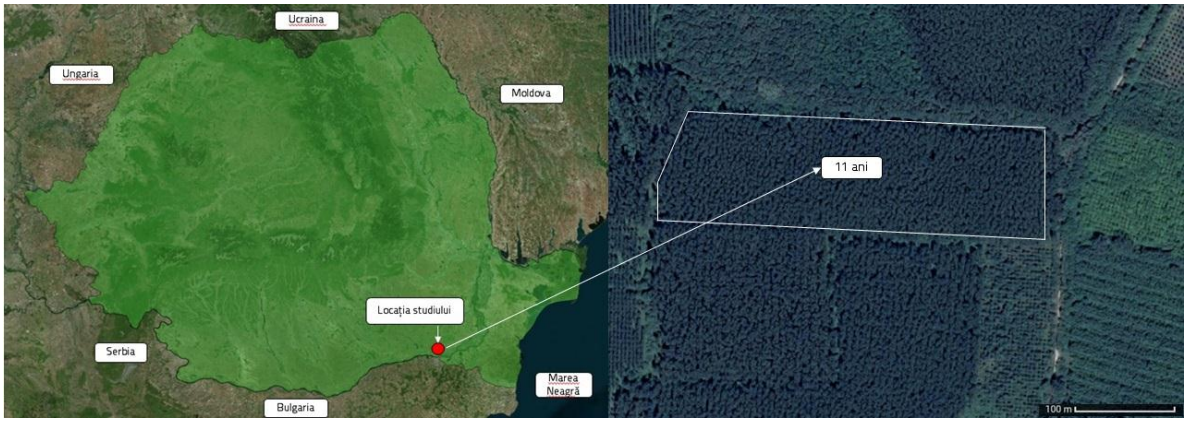


Figura 4. *Localizarea studiului în zona de câmpie - Călărași. Prelucrare în Qgis pe baza straturilor Open Layers Bing® și Google®*

3.2. Colectarea datelor

Pentru monitorizarea parametrilor climatici (temperatura și umiditatea relativă a aerului), au fost utilizați colectori de date Extech® RHT 10 (Extech® RHT 10, FLIR Commercial Systems Inc., Nashua, SUA), caracterizați de anumite capabilități specifice și care pot fi folosiți cu ușurință în diferite aplicații din domeniul forestier.

În zona montană (Săcele), au fost amplasate trei transecte (***T1-T3***) pe o direcție perpendiculară pe un drum forestier secundar, cu lățimea culoarului deschis mai mică de 10 m, care reprezentă o extensie tipică a rețelei de drumuri existente în zonă (**Figura 5**). Fiecare transect a fost planificat în avans, având la bază conceptul prezentat în **Figura 5**. Colectorii de date au fost amplasați pe arborii care caracterizează punctele de prelevare (***S0, S1, S2*** și ***S3***) ale transectelor la distanțele 0, 15, 40 și 60 m față de linia zero.

Rata de eşantionare a colectorilor de date a fost setată astfel încât să acopere o perioadă de un an (23.03.2017-25.03.2018). Pentru întreaga perioadă de studiu, au fost preluate și datele de la cea mai apropiată stație meteorologică Predeal (N 45° 30' - E 25° 35', 1.090 m altitudine), localizată la 6,6 km de locația cercetărilor.

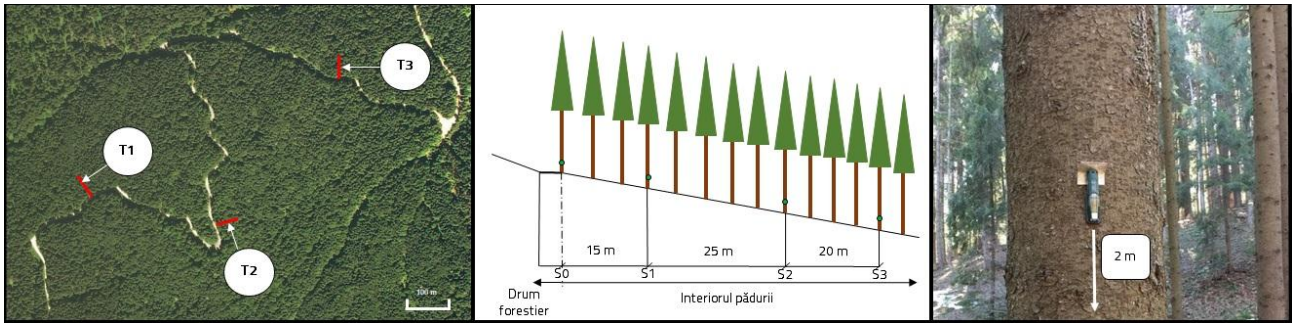


Figura 5. *Modul de amplasare al colectorilor de date în zona montană - Săcele*

În cadrul Rezervației Naturale de Stat ,,Plaiul Fagului", au fost amplasați 6 colectori de date, pe două transecte orientate pe direcție nordică raportat la drumul forestier FE001 (ce are o lățime a platformei de aproximativ 9 m), în unitățile amenajistice 19B și 24H. Pe primul transect (**Figura 6**), perpendicular pe drum, colectorii de date au fost amplasați la marginea (0 m), respectiv în interiorul pădurii (50 m de la marginea drumului). Pe al doilea transect, amplasat oblic față de drum, au fost amplasați 4 colectori de date, de la 0 până la 72,5 m față de drum, în linie dreaptă, însă distanțele efective față de marginea pădurii, măsurate pe direcție perpendiculară, au fost de la 0 la 46 m (**Figura 6**). Monitorizarea parametrilor climatici - temperatura și umiditatea relativă a aerului - a avut loc în intervalul 22.02.2017 - 20.02.2018, la rata de înregistrare de o oră. Pentru același interval de timp, au fost preluate și datele de la stația meteorologică Cornești (N 47° 22' - E 28° 00', 232 m altitudine), localizată la aproximativ 9 km de locația studiului.

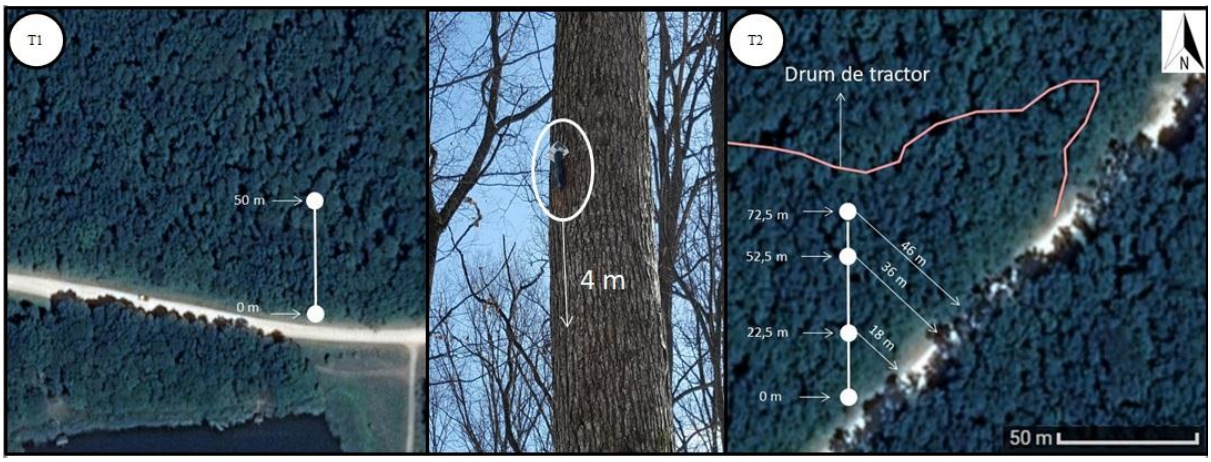


Figura 6. *Modul de amplasare al colectorilor de date în zona de deal - Rezervația Naturală de Stat ,,Plaiul Fagului"*

În zona de câmpie, a fost amplasat un singur transect în cultura de plop euramerican luată în studiu, perpendicular pe un drum forestier cu lățimea specifică unui drum forestier secundar (MM, 2011). Colectorii de date au fost setați pentru preluarea de înregistrări ale temperaturii și umidității aerului la un interval de 10 minute. În acest caz, s-a urmărit și detectarea unui gradient vertical, astfel că au fost amplasați colectori de date atât la înălțimea de 2 m de la sol, cât și la înălțimea de 0,1 m de la sol (**Figura 7**). După cum se poate observa în **Figura 7**, pe transectul ales au fost alese câte două puncte de prelevare (2 m și 0,1 m față de sol), la distanțe de 0, 5, 15, 25, 45 și 105 m față de marginea culturii. Toți colectorii de date au preluat înregistrări în perioada 21 aprilie 2017 - 08 martie 2018. Pentru același interval de timp au fost procurate și datele de la stația meteorologică din Călărași (N 44° 12' - E 27° 21', 19 m altitudine), situată la aproximativ 3,3 km de locația cercetărilor.

Pentru evitarea pierderii de date și verificarea periodică a colectorilor, datele stocate în locațiile din România au fost descărcate la intervale de aproximativ 3 luni, prin conectarea colectorilor la portul USB al unui calculator portabil și utilizarea programului software dedicat instrumentului utilizat.

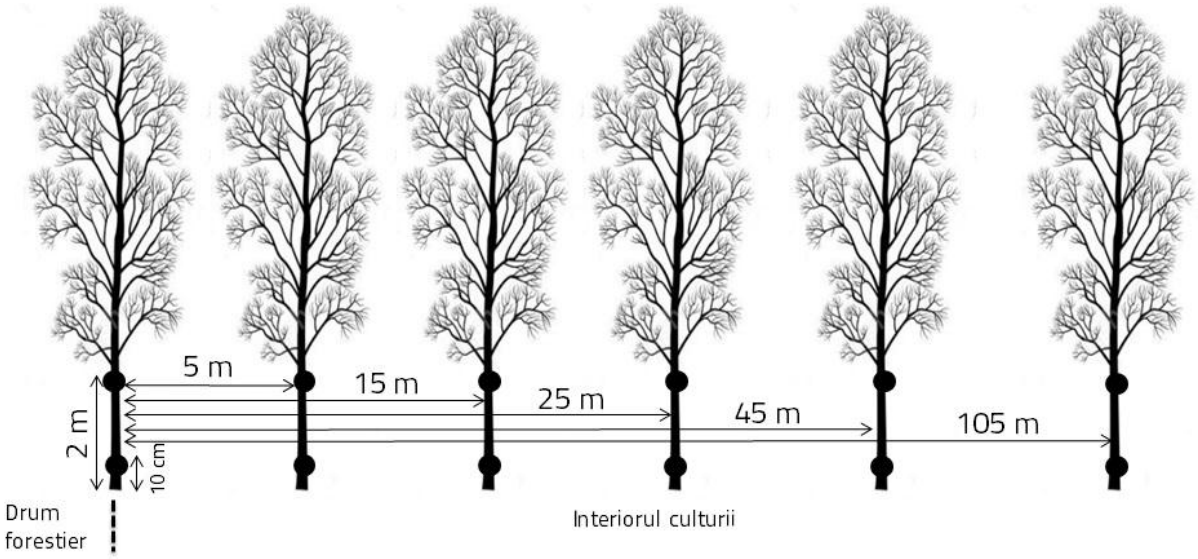


Figura 7. *Modul de amplasare al colectorilor de date în zona de câmpie - Călărași. Legendă: cerc negru - colector de date*

3.3. Prelucrarea datelor

După recuperarea colectorilor de date și descărcarea înregistrărilor cu ajutorul programului software dedicat, datele au fost transferate în Microsoft® Excel® (Microsoft Excel 2010, Redmond, WA, SUA) și centralizate sub forma a șase șiruri de date, câte unul pentru temperatura aerului, umiditatea relativă, punctul de rouă, respectiv eticheta temporală asociată primelor trei, ce conține data, ora, minutul și secunda la care s-a efectuat o anumită înregistrare dintr-un șir dat (**Figura 8**).

Datele corespondente preluate pentru stațiile meteorologice (www.rp5.ru) din sistemul național au fost procesate, de asemenea, în Microsoft® Excel®. Pentru a se putea asocia datele colectate în teren cu șirurile provenite de la stația de referință, s-a recurs la reorganizarea primelor, prin extragerea acelor valori care au corespuns datei și orei la care au fost disponibile datele de referință. În urma acestor proceduri s-au asociat datele provenite din cele două surse.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	>>Logging Name:T1-15m							
2	>>FROM:05-23-2017 16:55:40 TO:08-20-2017 11:15:40							
3	>>Sample Points:12783							
4	>>Sample Rate:600 sec.							
5	>>Temperature Unit:Celsius							
6	>>Temperature(LowAlarm:0.0-HighAlarm:40.0) Relative Humidity(LowAlarm:35.0-HighAlarm:75.0)							
7	----------							
8	NO.	DATE	TIME	TEMPERATURE	RELATIVE-HUMIDITY	DEW-POINT		
9	1	05-23-2017	16:55:40	13.6	73.7	8.9		
10	2	05-23-2017	17:05:40	12.9	75.4	8.6		
11	3	05-23-2017	17:15:40	12.8	78.3	9.1		
12	4	05-23-2017	17:25:40	12.5	78.8	8.9		
13	5	05-23-2017	17:35:40	12.3	80.5	9		
14	6	05-23-2017	17:45:40	12.2	79	8.6		
15	7	05-23-2017	17:55:40	12.2	81.4	9.1		
16	8	05-23-2017	18:05:40	12	83.6	9.3		
17	9	05-23-2017	18:15:40	11.9	81.4	8.8		
18	10	05-23-2017	18:25:40	12	82.6	9.1		

Figura 8. *Exemplu de înregistrări descărcate din colectorii de date*

În continuare, în funcție de sezon, cele două seturi de date au fost organizate în valori nocturne și diurne, conform orelor specifice de răsărire și apunere a Soarelui, extrase din aplicația LunaSolCal (www.vvse.com).

3.4. Analiza datelor

3.4.1. Zona montană - Săcele

Datele lunare ale parametrilor climatici analizați, obținute ca valori medii zilnice (*Z*), diurne (*D*) și nocturne (*N*), în fiecare punct de prelevare (*S0-S3*), au fost utilizate pentru a caracteriza temperatura (*T, °C*) și umiditatea relativă a aerului (*U, %*), respectiv pentru a compara aceste valori cu cele provenite din sistemul meteorologic național (*SM*). Datele medii lunare din zona de studiu (*ZS*) au fost calculate pe baza valorilor medii extrase din citirile tuturor colectorilor de date.

Pe baza datelor disponibile, a fost selectată luna cu cele mai mari temperaturi medii zilnice, și anume luna august 2017. În această lună, au fost verificate în detaliu datele provenite de la *SM* pentru a identifica un interval de zile consecutive caracterizate de cea mai mare temperatură a aerului, absență totală a norilor și viteză a vântului mai mică de 2 m/s. Acest lucru a condus la analiza detaliată a datelor înregistrate în perioada 1 - 6 august 2017, considerată a fi perioada critică. În acest interval, au fost calculate și analizate valorile medii zilnice ale temperaturii și ale umidității relative ale aerului la nivel de transect (*T1-T3*) și la nivel de punct de prelevare (*S0-S3*). În continuare, pentru intervalul critic, au fost calculate valorile medii orare pentru a caracteriza diferențele dintre marginea (*S0*) și interiorul pădurii (*S3*) pe cinci intervale zilnice, adaptate după Wright et al. (2010) și ajustate la condițiile locale: noaptea (19:30-6:30), prima parte a dimineții (6:30 - 9:30), ultima parte a dimineții (9:30 - 12:30), miezul zilei (12:30 - 16:30) și după-amiază (16:30 - 19:30). Această împărțire a contribuit la detectarea celor mai mari diferențe în baza cărora au fost calculați și evaluați gradienții microclimatici. În intervalul din zi specific celor mai evidente schimbări, au fost analizate, cu ajutorul testului *t* (prag de încredere α = 0,05), diferențele dintre valorile temperaturii și umidității relative ale aerului măsurate la distanțele de 0, 15 şi 40 m și cele măsurate la distanța maximă de la linia zero (60 m). Au fost utilizate mediile valorilor înregistrate pentru fiecare variabilă climatică la 0, 15 şi 40 m şi media valorilor înregistrate la distanța de 60 m. Diferențele relative au fost calculate cu **Relația 1**:

$$\triangle X_{ij} = X_{ij} - X_{i60} \quad (1)$$

Unde:

X_{ij} - valoarea medie a variabilei climatice i (i = *T* sau *U*) la distanța j, (j = 0, 15 sau 40 m); X_{i60} - valoarea medie a variabilei climatice i (i = *T* sau *U*) la distanța de 60 m.

3.4.2. Zona de deal – Rezervația Naturală de Stat „Plaiul Fagului"

Pentru această locație, caracterizarea temperaturii (*T, °C*) și a umidității relative ale aerului (*U, %*), precum și compararea valorilor din teren cu cele provenite din sistemul meteorologic național (*SM*), s-a realizat similar cu zona montană, prin calcularea valorilor lunare ale parametrilor climatici, obținute pe baza valorilor medii zilnice (*Z*), diurne (*D*) și nocturne (*N*). Având în vedere condițiile climatice locale, caracterizate ca fiind instabile, cu devieri mari ale valorilor lunare, sezoniere și anuale ale unor factori climatici precum temperatura și cantitățile de precipitații (Moldsilva, 2016), pentru o caracterizare mai precisă din punct de vedere higrometric a teritoriului analizat, s-a calculat și deficitul de saturație al

vaporilor de apă (*D, kPa*). Pentru acest calcul, s-au utilizat **Relațiile 2-4** (Allen et al., 2005), care au avut la bază temperatura și umiditatea relativă a aerului.

$$e_s\,[\text{kPa}] = 0{,}6108\, e^{\left(\frac{17{,}27\,T[^\circ\text{C}]}{T[^\circ\text{C}]+237{,}3}\right)} \quad (2)$$

$$e_a[\text{kPa}] = \frac{U\,[\%]}{100}\, e_s \quad (3)$$

$$D\,[\text{kPa}] = e_s - e_a \quad (4)$$

Unde:

e_s - tensiunea maximă (de saturație) a vaporilor de apă corespunzătoare temperaturii aerului (T) într-un moment dat; e_a - tensiunea actuală a vaporilor de apă pentru un moment dat; U - umiditatea relativă a aerului într-un moment dat; D - deficitul de saturație al vaporilor de apă într-un moment dat.

Pentru a compara temperatura aerului, umiditatea relativă a aerului și deficitul de saturație al vaporilor de apă între linia zero (0 m) și punctul considerat a fi interiorul pădurii (50 m), precum și pentru a evidenția diferențele dintre valorile din teren şi cele din sistemul meteorologic național (*SM*), s-au utilizat valorile medii provenite de la punctele de prelevare de la 0, respectiv de la 46 și 50 m, specifice celor două transecte. Din datele corespunzătoare lunii august, au fost selectate datele înregistrate în perioada 2 - 6 August 2017 deoarece, din analiza înregistrărilor provenite de la stația meteorologică Cornești, a rezultat că în această perioadă s-au înregistrat cele mai ridicate temperaturi medii. Perioada luată în studiu a fost considerată drept perioadă critică. După selectarea datelor, au fost calculate valorile medii orare pentru perioada considerată critică. Datele corespunzătoare acestor zile au fost utilizate la caracterizarea diferențelor dintre marginea (0 m) și interiorul pădurii (50 m). Pentru cel de-al doilea transect, s-au analizat în continuare, folosind testul *t* (prag de încredere α = 0,05), diferențele dintre valorile parametrilor măsurați la distanțele de 0, 18 şi 36 m și cele ale parametrilor măsurați la distanța maximă de la marginea pădurii (46 m), în intervalul 09:00 - 15:00. S-a ales pentru comparație acest interval deoarece el a fost caracterizat de valorile cele mai mari ale temperaturii aerului. În acest scop, s-au utilizat mediile valorilor înregistrate pentru fiecare variabilă climatică la 0, 18 şi 36 m şi media valorilor înregistrate la distanța de 46 m. Diferențele relative au fost calculate cu **Relația 5**.

$$\Delta X_{ij} = X_{ij} - X_{i46} \quad (5)$$

Unde:

X_{ij} - valoarea medie a variabilei climatice i (i = T, U sau D) la distanța j, (j = 0, 18 sau 36 m); X_{i46} - valoarea medie a variabilei climatice i (i = T, U sau D) la distanța de 46 m.

3.4.3. Zona de câmpie-luncă - Călărași

Pentru a caracteriza temperatura (T, °C) și umiditatea relativă a aerului (U, %) corespunzătoare zonei de câmpie, au fost calculate valorile lunare ale variabilelor climatice pe baza înregistrărilor disponibile din perioada monitorizată. Aceste valori au fost obținute pe baza valorilor medii zilnice (Z), diurne (D)

și nocturne (***M***) din fiecare punct de prelevare și au fost utilizate pentru compararea cu datele preluate de la stația meteorologică (***SM***) din Călărași. Pe baza acestei prelucrări, s-a urmărit și selectarea unei perioade critice, pentru a putea evidenția modificările microclimatului de la marginea pădurii spre interior. Datele provenite de la ***SM*** au fost analizate în detaliu și, astfel, au fost alese două intervale considerate critice: 1 - 5 august 2017 (zile caracterizate de cele mai mari temperaturi medii ale aerului, cer senin și viteză a vântului redusă) și 28 iunie - 2 iulie 2017 (zile în care au fost înregistrate temperaturile maxime ale aerului, cer senin și viteză redusă a vântului). În plus, a fost selectat și intervalul cu cele mai ridicate temperaturi ale aerului din luna septembrie (14-18 septembrie 2017), deoarece în această perioadă au fost disponibile înregistrările provenite de la toți colectorii de date.

În continuare, au fost calculate valorile medii orare pentru perioadele menționate anterior, cu scopul caracterizării diferențelor dintre marginea (0 m) și interiorul pădurii (105 m), precum și a diferențelor dintre temperatura și umiditatea relativă a aerului înregistrate la nivelul de 2 m comparativ cu cele înregistrate la înălțimea de 0,1 m de la sol. În intervalul din zi specific celor mai ridicate temperaturi ale aerului (12:30-17:30), au fost analizate, cu ajutorul testului *t* (prag de încredere α = 0,05), diferențele dintre valorile temperaturii și umidității relative ale aerului măsurate la distanțele de 0, 5, 15, 25 şi 45 m și cele măsurate la distanța maximă de la marginea drumului (105 m), pentru fiecare nivel în parte. Diferențele relative au fost calculate cu **Relația 6.**

$$\Delta X_{ij} = X_{ij} - X_{i105} \quad (6)$$

Unde:

X_{ij} - valoarea medie a variabilei climatice i (i = *T, U*) la distanța j, (j = 0, 5, 15, 25 sau 45 m); X_{i105} - valoarea medie a variabilei climatice i (i = *T, U*) la distanța de 105 m.

CAPITOLUL 4. REZULTATE ȘI DISCUȚII

4.1. Rezultate, discuții și concluzii privind studiul realizat în zona montană - Săcele

4.1.1. Variația lunară zilnică, diurnă și nocturnă a temperaturii și umidității relative ale aerului

În **Figura 9** este prezentată variația lunară zilnică a temperaturii aerului înregistrată în punctele de prelevare ***S0-S3***, comparativ cu datele provenite de la stația meteorologică Predeal. La scară zilnică (**Figura 9**), cea mai proeminentă diferență de temperatură a aerului dintre marginea (***S0***) și interiorul pădurii (***S3***) a fost aceea care caracterizează datele din luna august (0,8 °C). În acest caz, temperatura la margine a fost comparabilă cu cea înregistrată de ***SM***. Au fost constatate temperaturi mai mari la ***S0*** comparativ cu ***S3*** pentru cea mai mare parte a anului, cu excepția lunilor februarie, probabil martie (pentru luna martie datele au acoperit numai 24 de zile, de aceea rezultatul poate fi neconcludent), aprilie și mai, pentru ultima lună fiind evidențiat, probabil, un punct de inflexiune. Al doilea punct de inflexiune a fost evidențiat în intervalul ianuarie-februarie, trendul precedent fiind schimbat în temperaturi mai scăzute pentru ***S0***, în comparație cu ***S3***. De asemenea, la scară lunară, temperaturile medii zilnice înregistrate la ***SM*** au fost întotdeauna mai mari comparativ cu cele înregistrate în zona studiului, cu excepția lunii ianuarie.

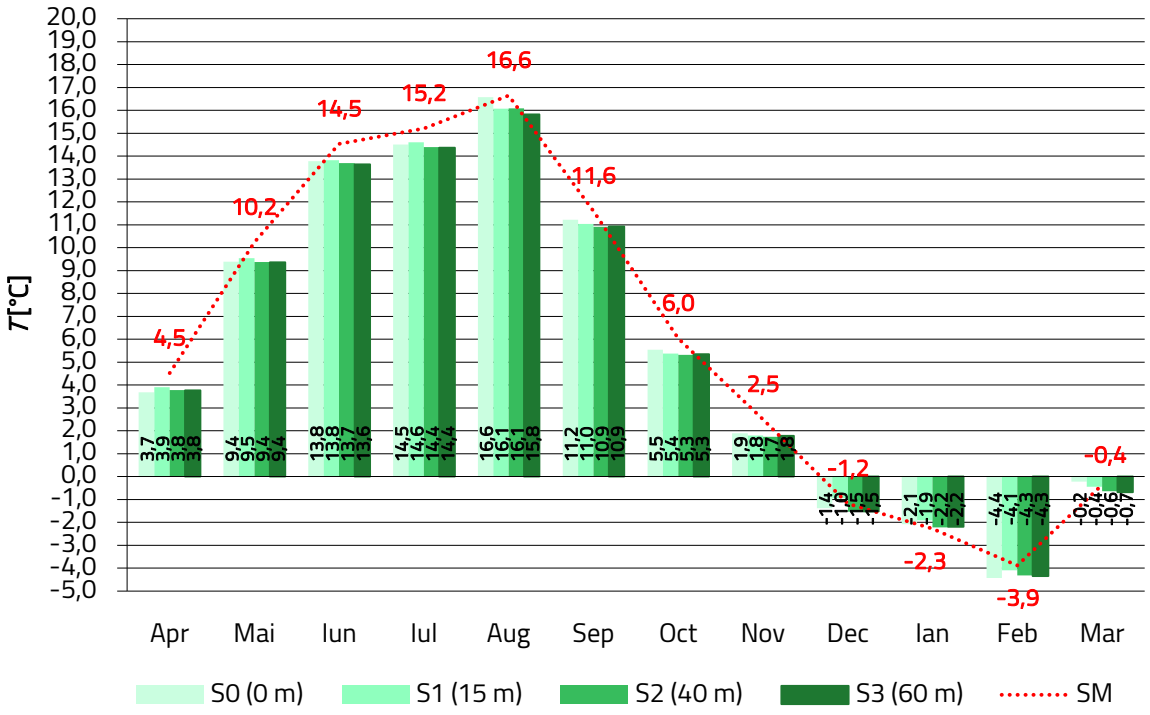


Figura 9. *Variația lunară zilnică a temperaturii aerului (**T**, °C) înregistrată în punctele de prelevare (**S0-S3**), în comparație cu datele de la stația meteorologică (**SM**), în zona montană*

În cazul datelor diurne, temperaturile medii lunare au fost mai mari la margine (***S0***) comparativ cu interiorul pădurii (***S3***), cu excepția datelor din luna februarie, când temperatura aerului la margine a fost mai mică cu 0,1 °C. Cele mai mari diferențe au rezultat în lunile august (1,2 °C), septembrie și iunie (0,5 °C), iulie (0,4 °C) și mai (0,3 °C). În lunile aprilie și noiembrie-ianuarie, diferențele de temperatură au fost cuprinse în intervalul 0,1-0,2 °C. Comparativ cu datele provenite de la ***SM***, temperatura aerului în zona studiului a fost întotdeauna mai mică.

Datele nocturne au fost caracterizate de temperaturi medii lunare mai mici la margine (*S0*) decât în interiorul pădurii (*S3*) în lunile februarie (0,1 °C), mai-iulie (0,2 °C) și aprilie (0,3 °C). În luna noiembrie nu au fost găsite diferențe; pentru restul intervalului de timp, temperatura aerului a fost mai mare la punctul de prelevare *S0* cu 0,1 °C în lunile septembrie, octombrie și decembrie, 0,2 °C în luna ianuarie și 0,3 °C în luna august față de punctul de prelevare *S3*. Valorile medii ale temperaturii aerului provenite de la *SM* au fost cuprinse în intervalul înregistrărilor din zona studiului în lunile aprilie, iunie, iulie și decembrie, mai mici în intervalul august-octombrie și mai mari în lunile mai, noiembrie și februarie.

În **Figura 10** este redată variația lunară zilnică a umidității relative a aerului măsurată în punctele de prelevare, respectiv la stația meteorologică Predeal. Cele mai mari diferențe dintre *S0* și *S3*, la scară zilnică, au avut loc în luna septembrie, mai precis umiditatea relativă a fost cu 10% mai mare la punctul de prelevare *S3* comparativ cu *S0*. În intervalul aprilie-iulie diferențele au fost de maxim 1%, dar au atins și valori între 4-7% pentru luna august și intervalul octombrie-martie. În general, valorile umidității relative înregistrate la *SM* au fost mai mici față de cele din zona studiului, cea mai proeminentă diferență fiind specifică lunii septembrie, în care datele provenite de la *SM* au fost cu 5% mai mari comparativ cu marginea (*S0*) și cu 5% mai mici comparativ cu interiorul pădurii (*S3*). În luna august, umiditatea relativă înregistrată la *SM* a fost apropiată de cea înregistrată în punctul de prelevare *S0*, dar mai mică cu 3% față de cea înregistrată în punctul de prelevare *S3*.

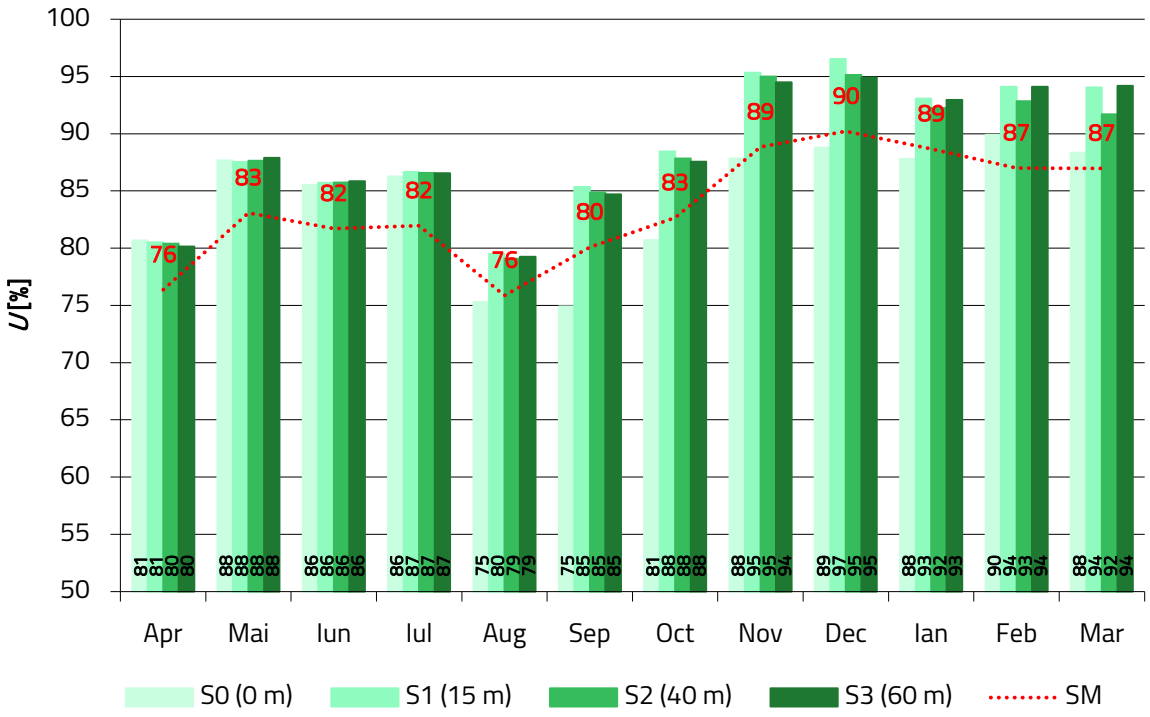


Figura 10. *Variația lunară zilnică a umidității relative a aerului (**U**, %) înregistrată în punctele de prelevare (**S0-S3**), în comparație cu datele de la stația meteorologică (**SM**), în zona montană*

În ceea ce privește variația lunară diurnă, umiditatea relativă a aerului a avut valori egale la marginea (*S0*) și interiorul pădurii (*S3*) în luna aprilie, iar diferențele mai mici de 2% au fost specifice perioadei mai-iulie. Cele mai mari diferențe s-au înregistrat în septembrie (-10%), urmate de octombrie (-7%), noiembrie și decembrie (-6%), august și ianuarie (-4%). Ca și în cazul temperaturii aerului, datele

prezentate pentru luna martie (-5%) pot fi neconcludente. Umiditatea relativă înregistrată la ***SM*** a fost întotdeauna mai mică comparativ cu cea provenită din zona de studiu.

Valorile lunare nocturne ale umidității relative a aerului înregistrate în punctul ***S0*** comparativ cu punctul ***S3*** prezintă diferențe evidente în lunile septembrie (-9%), octombrie-noiembrie (-7%), decembrie (-6%) și ianuarie-februarie (-5%). Cele mai mici diferențe au fost identificate în intervalul aprilie-august (<3%). Datele provenite de la ***SM*** au avut valori apropiate (aprilie-mai, noiembrie-februarie) sau mai mari (iunie-octombrie) comparativ cu datele măsurate în zona studiului.

4.1.2. Diferențele medii zilnice și orare dintre marginea și interiorul pădurii, în zilele critice

În **Figurile 11-12** sunt comparate diferențele orare medii ale temperaturii și umidității relative ale aerului dintre marginea (***S0***) și interiorul pădurii (***S3***), fiind evidențiate cele 5 intervale zilnice alese.

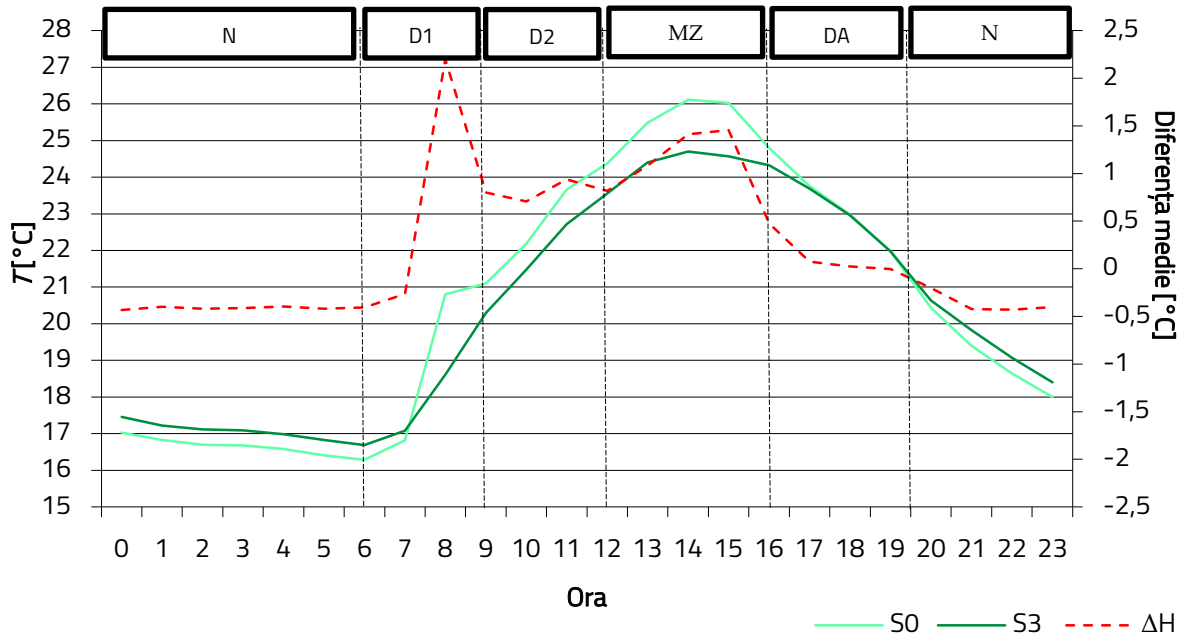


Figura 11. *Diferențele orare medii (ΔH) ale temperaturii aerului (**T**, ° C) între marginea (**S0**) și interiorul pădurii (**S3**), în zona montană, pentru intervalul 1 - 6 august 2017. Legendă: **N** - noaptea, **D1** - prima parte a dimineții, **D2** - a doua parte a dimineții, **MZ** - amiază, **DA** - după-amiaza*

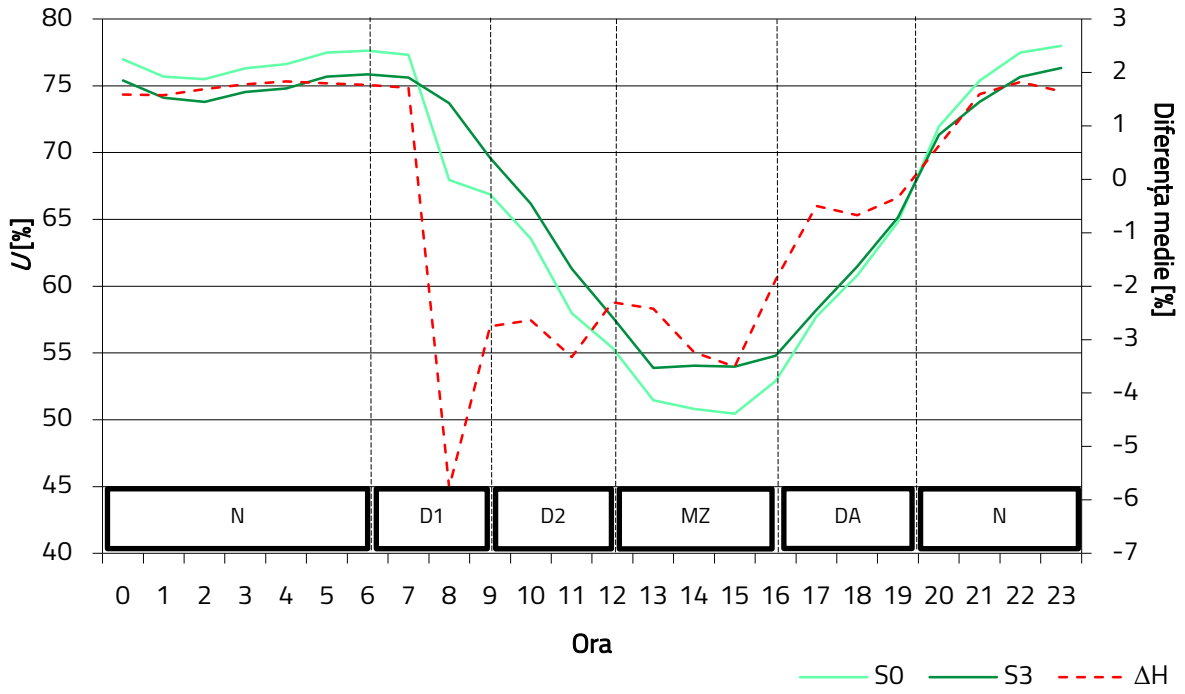


Figura 12. *Diferențele orare medii (ΔH) ale umidității relative a aerului (**U**, %) între marginea (**S0**) și interiorul pădurii (**S3**), în zona montană, pentru intervalul 1 - 6 august 2017. Legendă: **N** - noaptea, **D1** - prima parte a dimineții, **D2** - a doua parte a dimineții, **MZ** - amiază, **DA** - după-amiaza*

Temperatura aerului a fost mai mică cu 0,5 °C la margine (***S0***) comparativ cu interiorul pădurii (***S3***) în intervalul orar 20:00 - 7:00, care corespunde, mai mult sau mai puțin, intervalului nocturn. Intervalul din prima parte a dimineții (6:30 - 9:30) a fost caracterizat de o inflexiune a diferenței medii (aproximativ la ora 7:30), cât și de o temperatură medie din ce în ce mai mare la margine comparativ cu interiorul pădurii. Cea mai mare schimbare din această perioadă a zilei a avut loc la ora 8:00, cu o diferență de 2,2 °C între margine și interiorul pădurii. Cu toate acestea, temperatura la margine nu a depășit 21 °C în acel moment al zilei. Temperaturile medii mai mari la margine s-au menținut pentru perioada 8:00 - 17:00, urmate de o perioadă de tranziție de aproximativ 3 ore în care nu s-a găsit aproape nicio diferență între cele două. Acest comportament a fost menținut pentru cea mai mare parte a după-amiezii, iar diferențele de temperatură a aerului s-au inversat în jurul orei 20:00, caracterizând temperaturi mai mari, deși nu semnificative, în interiorul pădurii. Totuși, intervalul din mijlocul zilei a fost caracterizat de diferențe mai pronunțate care au ajuns la 1,4-1,5 °C între orele 15:00 și 16:00 (**Figura 11**).

Punctele de inflexiune prezente în variația temperaturii aerului au fost identificate și în variația umidității relative, unde diferențele au fost mai mici sau aproape de 2% pentru perioada nopții. Cele mai mari diferențe (umidități relative mai mici cu aproape 6% la margine) au fost cele care corespund creșterii temperaturii la margine la ora 7:30 dimineața. Interiorul pădurii (***S3***) a păstrat o umiditate mai mare de la ora 7:30 dimineața până la ora 20:00 seara; diferențele proeminente nu au fost specifice numai perioadei din miezul zilei, ci au fost identificate și în ultima parte a dimineții (**Figura 12**).

4.1.3. Gradienți microclimatici

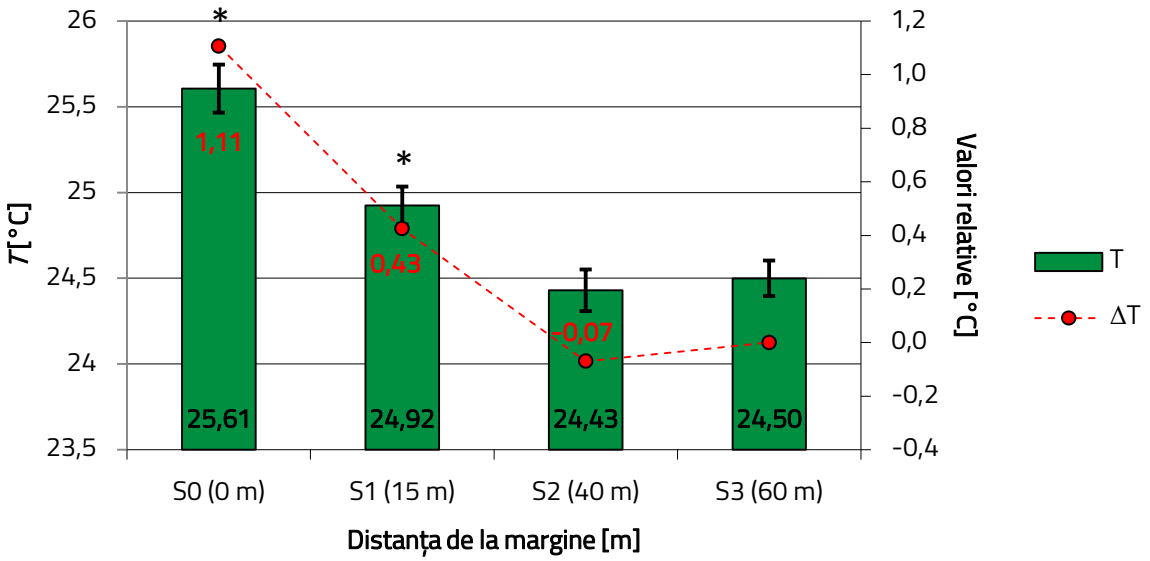
Figura 13 prezintă modificările variabilelor microclimatice măsurate în raport cu interiorul pădurii (**S3**), pentru intervalul orar 12:30 - 16:30, în perioada 1 - 6 august. Astfel de momente ale zilei, caracterizate de temperaturi ridicate și absența norilor și a vântului prezintă, cel mai probabil, un gradient evident de microclimat.

În medie, temperatura aerului a fost semnificativ mai mare (t = 1,96, p <0,05) la punctele de prelevare *S0* și *S1* în comparație cu interiorul pădurii (*S3*) (**Tabelul 3**). Lângă drumul forestier (*S0*) a fost, în medie, mai cald cu 1,11 °C comparativ cu interiorul pădurii (*S3*). Diferența a scăzut la 0,43 °C în *S1* în comparație cu interiorul pădurii și nu s-au înregistrat schimbări semnificative între *S2* (40 m de drumul forestier) și *S3* (60 m de drumul forestier).

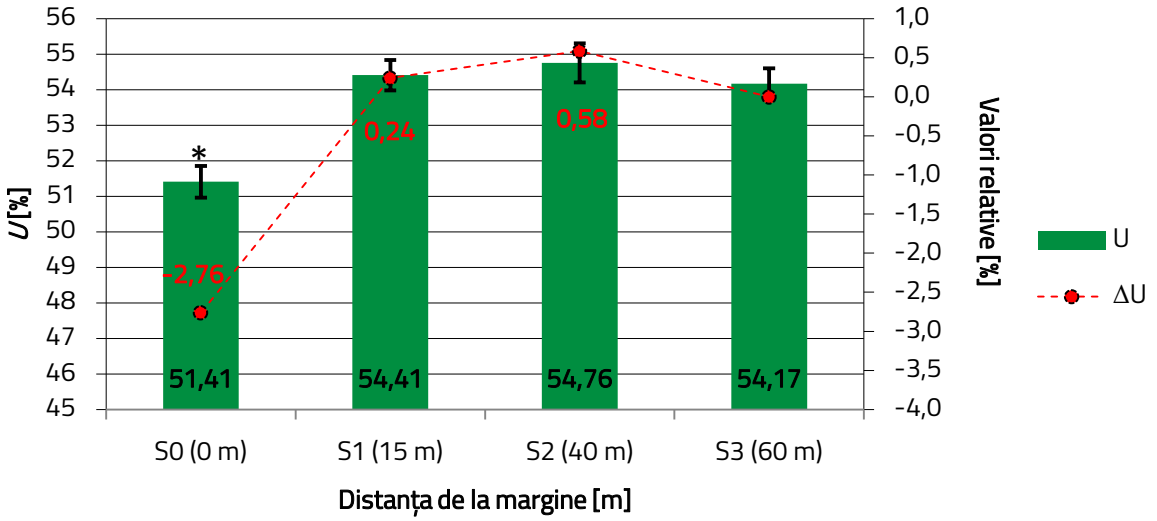
Tabelul 3. *Rezultatele testelor de comparație pentru variabilele climatice (α = 0,05, p < 0,05), în zona montană*

Variabila climatică	0 m – 60 m		15 m – 60 m		40 m – 60 m	
	t	p	t	p	t	p
Temperatura aerului - *T* [°C]	1,962	**< 0,05**	1,962	**< 0,05**	1,962	0,389
Umiditatea relativă a aerului - *U* [%]	1,962	**< 0,05**	1,962	0,438	1,962	0,100

Umiditatea relativă a fost mai mică cu 2,76% și semnificativ diferită de cea din interiorul pădurii (*S3*) numai lângă drumul forestier (*S0*). În medie, modificările umidității relative măsurate în *S1* (0,24%) și *S2* (0,58%) au fost minore comparativ cu interiorul pădurii.



(a)



(b)

Figura 13. *Gradienți microclimatici în zona montană (1-6 august 2017, 12:30-16:30). Legendă: (a) - modificări ale temperaturii aerului (**T**, °C), **ΔT** - diferențe între locațiile intermediare și interiorul pădurii; (b) - modificări ale umidității relative a aerului (**U**, %), **ΔU** - diferențe între locațiile intermediare și interiorul pădurii. Barele de eroare reprezintă intervalul de încredere de 95%, *reprezintă diferențe statistice semnificative între valorile măsurate la 0 m, 15 m, 40 m și cele măsurate în interiorul pădurii (60 m).*

Prin urmare, în intervalul orar analizat (12:30-16:30), schimbările semnificative ale temperaturii și umidității relative ale aerului au avut loc la distanțe de până la 40 m, și respectiv 15 m, de la marginea înspre interiorul pădurii, cu precizarea că punctele de inflexiune ale gradienților respectivi pot fi localizate oriunde în intervalul de 16-40 m față de drum, în cazul temperaturii aerului, respectiv oriunde în intervalul 1-15 m față de drum, în cazul umidității relative a aerului.

4.1.4. Discuții și concluzii pentru zona montană - Săcele

Această parte a studiului a fost condusă în păduri montane de amestec, în arborete reprezentate de molid (*Picea abies* Lam.), brad (*Abies alba* Mill.) și fag (*Fagus sylvatica* L.), situate în apropierea unui drum forestier. Condițiile de creștere optimă pentru fag, brad și molid sunt presupuse a fi cele caracterizate prin temperaturi medii anuale de 6 la 9, 6 la 8 și respectiv 4 la 7 °C (Șofletea și Curtu, 2008). Datele pe termen lung provenite de la cea mai apropiată stație meteorologică au indicat o temperatură multianuală de 7,8 °C, care provine din citirile efectuate într-o zonă care poate fi caracterizată ca un spațiu deschis, situată la o altitudine cu circa 150 m mai joasă decât zona de studiu. În timp ce o temperatură multianuală de 7,8 °C poate fi apropiată sau în afara intervalului optim pentru molid, ar trebui să se țină cont și de gradientul termic altitudinal din troposfera inferioară, estimat la 0,6 °C la 100 m (Marcu și Marcu, 1998). Acest lucru a fost dovedit de o parte din datele prezentate anterior, după excluderea datelor din martie. Temperatura medie la ***SM*** a fost de 6,7 °C, iar în zona studiului de 6,2 °C la ***S0*** și 6,1 °C la ***S3***, care se află în intervalul optim pentru toate speciile din zona de studiu.

Cu toate acestea, întrebarea cu privire la modul în care o creștere a temperaturii ar afecta comunitățile de arbori din apropierea drumurilor forestiere merită explorată. La scări spațiale mai mari, de exemplu, creșterea temperaturii aerului a dus la creșterea arborilor în înălțime (Messaoud și

Chen, 2011) și merită luat în considerare faptul că speciile de arbori întâlnite, în mod obişnuit, în medii mai reci vor beneficia de pe urma încălzirii sub aspectul creșterii, deși ei vor manifesta, probabil, o mai mare variație în ceea ce privește răspunsul, la altitudini și latitudini mai mari (Way și Oren, 2010). Acest scenariu ar putea fi validat prin analiza mai atentă a diviziunii și expansiunii celulare, care sunt sensibile la variații ale temperaturii (Ryan, 2010). Cel mai probabil, asemenea comportamente vor apărea și la scări spațiale medii şi mici, ca cele ce caracterizează culoarele deschise în pădure prin construcția de drumuri forestiere. La scară anuală, interiorul pădurii din zona de studiu a păstrat o umiditate relativă medie de 88%, care a fost mai mare comparativ cu marginea (84%) și cu datele din *SM* (83%). Această caracteristică poate fi atribuită consistenței pădurii care, în acest studiu, a fost, în medie, de 0,8. Cu toate acestea, există diferențe în comparație cu alte locații geografice sau cu alte tipuri de management forestier (*e.g.*, Li et al., 2018), prin acest lucru scoțându-se în evidență importanța studiului de față, care a completat cunoştințele existente prin luarea în considerare a unor condiții forestiere montane diferite de cele pentru care s-au efectuat studii până în prezent.

Temperaturile medii anuale diurne au fost de 8,4, 7,3 și 6,9 °C la *SM*, *S0* și respectiv *S3*. Prin urmare, diferența medie dintre *S0* și *S3* a reprezentat mai puțin de 0,5 °C, diferență care este, de multe ori, dificil de detectat și, probabil, nu va induce schimbări majore în funcțiile şi procesele specifice ecosistemelor, cum ar fi creșterea, dar acest fenomen necesită cercetări de viitor. Umiditatea relativă a aerului a fost de 76, 82 și 86% la *SM*, *S0* și respectiv *S3*, cu mici diferențe față de datele zilnice. Cele mai mari diferențe au fost cele specifice *SM*, ceea ce demonstrează micro-condiții specifice care au fost complet diferite. Pe de altă parte, datele nocturne au arătat temperaturi medii ale aerului de 5,1, 5,2 și 5,3 ° C la *SM*, *S0* și respectiv *S3*, care au fost mai mici în comparație cu valorile calculate din setul de date diurne, dar comparabile cu cele din setul de date zilnice. Aceasta înseamnă, pe de o parte, că ecosistemele din zonă pot păstra în timpul nopții, chiar și la altitudini mai mari, temperaturi mai ridicate comparativ cu cele care caracterizează alte tipuri de peisaje situate la altitudini mai scăzute. Pe de altă parte, în medie, efectul de margine a fost inversat în timpul nopții, arătând temperaturi mai mari în interiorul pădurii comparativ cu marginea. În timp ce astfel de comportamente generale sunt documentate și cunoscute pentru marginile pădurilor (Marcu și Marcu, 1998), ceea ce merită explorat este amploarea lor în ceea ce privește localizarea geografică, tipul de management forestier și tipul de margine. Diferențele dintre marginea și interiorul pădurii găsite în acest studiu au fost de 0,1 °C, fiind mult mai mici dacă se compară cu rezultatele provenite din alte regiuni și tipuri de margini unde diferențele pot ajunge până la 5 °C (*e.g.* Chen et al., 1995).

Sezonul de vegetație ajunge, în medie, la 167 de zile (în perioada 24 aprilie - 7 octombrie) în zona studiului (RPLP Săcele, 2008), perioadă în care diferențele medii dintre marginea și interiorul pădurii au fost de 0,2 °C în cazul datelor zilnice și 0,5 ° C în cazul datelor diurne. Astfel de modificări nu prezintă capacitatea de a afecta în mod decisiv comportamentul structural al ecosistemelor studiate la nivel local datorită prezenței drumurilor forestiere, efecte similare putând să apară, de exemplu, în cazul unor goluri foarte mici în coronament. O astfel de situație poate fi întâlnită în cazul studiului efectuat în Rezervația Naturală de Stat „Plaiul Fagului", unde trendul temperaturii aerului a fost descendent de la margine spre interior până la penultimul punct de eșantionare, în timp ce ultimul punct a arătat o creștere a temperaturii datorată, probabil, golurilor de coronament existente în aria sa (Tiță et al., 2019). De asemenea, având în vedere temperaturile zilnice mai mari înregistrate la *SM*, care au fost apropiate de valorile înregistrate la *S3* numai în lunile critice, cum ar fi august, vor exista,

cel mai probabil, diferențe ce se extind la distanțe mai mari în interiorul pădurii pe direcții sudice, dar acest fapt necesită verificări suplimentare în teren. Este de aşteptat, în aceste condiții, să apară diferențe între valorile absolute ale temperaturii și umidității relative ale aerului, dar nu şi a celor relative raportate la anumite puncte de eşantionare. Pentru a diferenția precis aspectul menționat, ar fi necesară găsirea unor drumuri similare, situate pe direcțiile nord-sud și est-vest, în condiții structurale și tipuri de ecosisteme forestiere similare, ceea ce, pentru moment, nu a fost posibil.

În ceea ce privește cazul tipic al marginilor de masiv caracterizate prin prezența drumurilor amplasate în pădure, un studiu recent al lui Delgado et al. (2007) a arătat că schimbările gradientului microclimatic se manifestă între 6 si 10 m de la margine către interior. Aceste fenomene au fost studiate în ecosisteme forestiere specifice unor insule (Insulele Canare), unde magnitudinea diferențelor de temperatură a variat în funcție de tipul de suprastructură rutieră în condițiile în care experimentele s-au realizat pentru drumuri localizate la altitudini similare. Aici trebuie menționat că, în România, cel mai răspândit tip de suprastructură pentru drumurile secundare, precum şi pentru alte tipuri de drumuri forestiere, utilizează un sistem ce conține o suprastructură cu două straturi, unul alcătuit din balast, iar celălalt din piatră spartă (Bereziuc et al., 1989; Olteanu, 2008). Evident, aceasta este o opțiune intermediară de realizare a suprastructurii drumului, între drumurile asfaltate, care ar putea acumula o cantitate mai mare de căldură din radiația solară, și drumurile de pământ, care nu se comportă astfel.

În timp ce schimbările au persistat, în orele critice selectate pentru acest studiu, pe distanțe de până la 40 m (și probabil fără schimbări majore începând de la 30 m de la margine) pentru temperatură și până la 15 m (probabil fără schimbări semnificative începând de la 10 m) pentru umiditatea relativă a aerului, magnitudinea acestora a fost, în cele mai multe cazuri, mai mică în comparație cu datele raportate de Delgado et al. (2007).

4.2. Rezultate, discuții și concluzii privind studiul realizat în zona de deal - Rezervația Naturală de Stat „Plaiul Fagului"

4.2.1. Variația lunară zilnică, diurnă și nocturnă a temperaturii și umidității relative ale aerului și a deficitului de saturație al vaporilor de apă

În **Figurile 14-15** sunt prezentate variațiile lunare diurne și nocturne ale temperaturii aerului înregistrate la marginea (0 m) și în interiorul pădurii (50 m), în comparație cu datele provenite de la stația meteorologică (***SM***). La scară zilnică, temperaturile medii au fost întotdeauna mai mici la margine față de interiorul pădurii. Singura excepție a fost cea specifică lunii ianuarie, când temperaturile medii în cele două locații au fost aproximativ egale. În comparație cu zona luată în studiu, temperaturile medii înregistrate la ***SM*** au fost mai mari pe tot parcursul anului, cu diferența cea mai proeminentă înregistrată în luna august (2,3 °C față de interiorul pădurii și 1,8 °C față de margine).

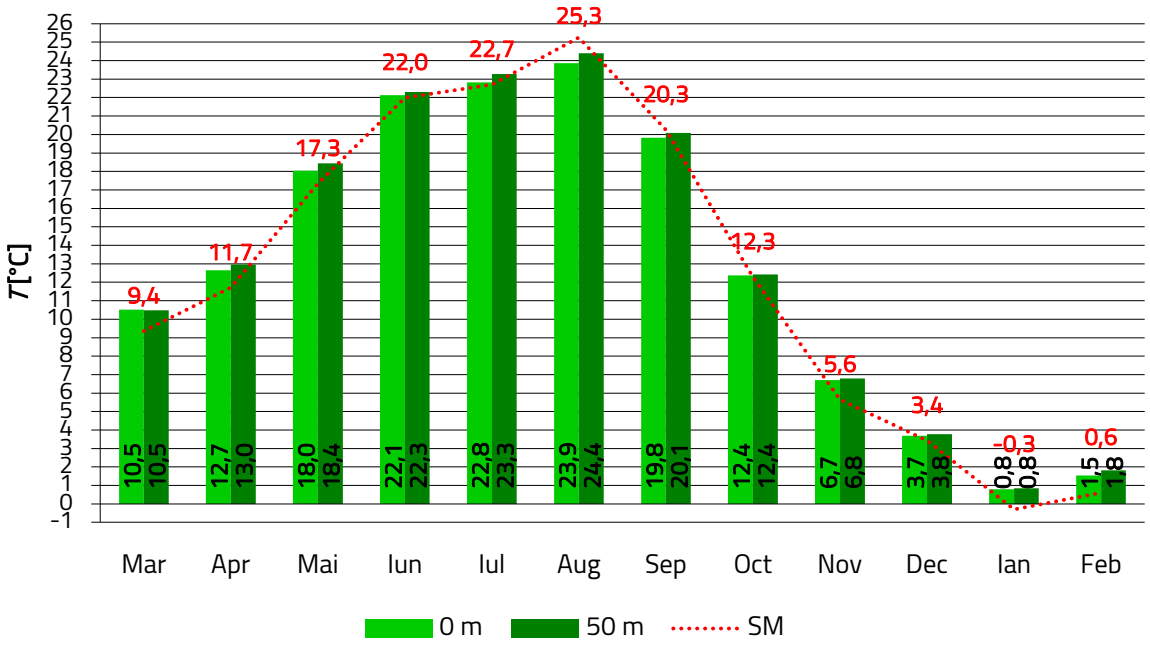


Figura 14. *Variația lunară diurnă a temperaturii aerului (**T**, °C) înregistrată în punctele de prelevare (0 şi 50 m), în comparație cu datele de la stația meteorologică (**SM**), în zona de deal*

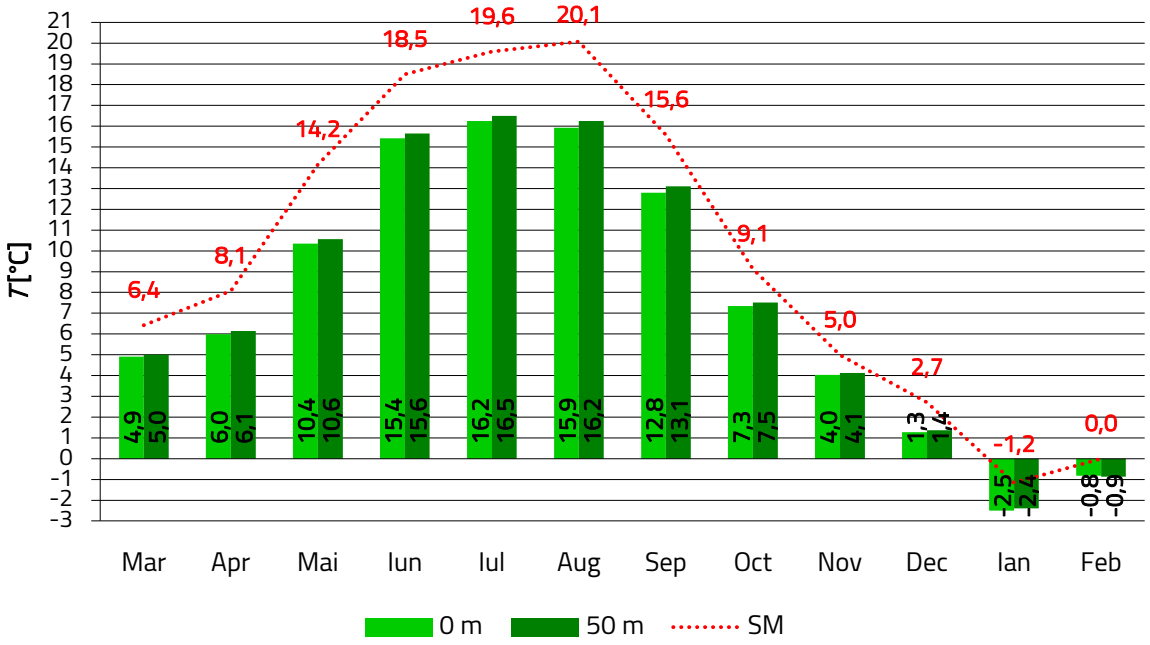


Figura 15. *Variația lunară nocturnă a temperaturii aerului (**T**, °C) înregistrată în punctele de prelevare (0 şi 50 m), în comparație cu datele de la stația meteorologică (**SM**), în zona de deal*

Temperaturile medii lunare diurne (***D***, °C) au înregistrat, în general, valori mai mari în interiorul pădurii, cu excepția lunilor martie, octombrie și ianuarie, când nu au fost găsite diferențe (**Figura 14**). În ceea ce privește temperaturile medii nocturne (***N***, °C), acestea au fost pe tot parcursul anului mai mici la margine decât în interiorul pădurii, cu excepția lunii februarie (**Figura 15**). Diferențele maxime de temperatură între marginea pădurii și interior au fost găsite în lunile iulie și august: 0,5 °C în cazul valorilor diurne și 0,3 °C în cazul valorilor nocturne. În comparație cu datele provenite de la ***SM***, temperaturile medii diurne (***D***, °C) din zona de studiu au fost mai mari, cu excepția lunilor august și

septembrie, în timp ce temperaturile medii nocturne (***N***, °C) au înregistrat întotdeauna valori mai mici în zona studiului.

Variațiile lunare diurne și nocturne ale umidității relative a aerului în zona studiului, comparativ cu cele furnizate de ***SM*** sunt redate în **Figurile 16-17**. În general, valorile medii zilnice (***Z***, %) înregistrate la marginea pădurii au avut valori mai mici față de cele înregistrate în interiorul pădurii, cu o diferență maximă de 2% în lunile octombrie și noiembrie. Doar în luna februarie s-au găsit diferențe pozitive mai mari de 1% între ***SM*** şi zona de studiu. În ceea ce privește valorile diurne (**Figura 16**), acestea au păstrat același trend ca și cele zilnice, cu diferența maximă înregistrată, între margine şi interior, de 2%.

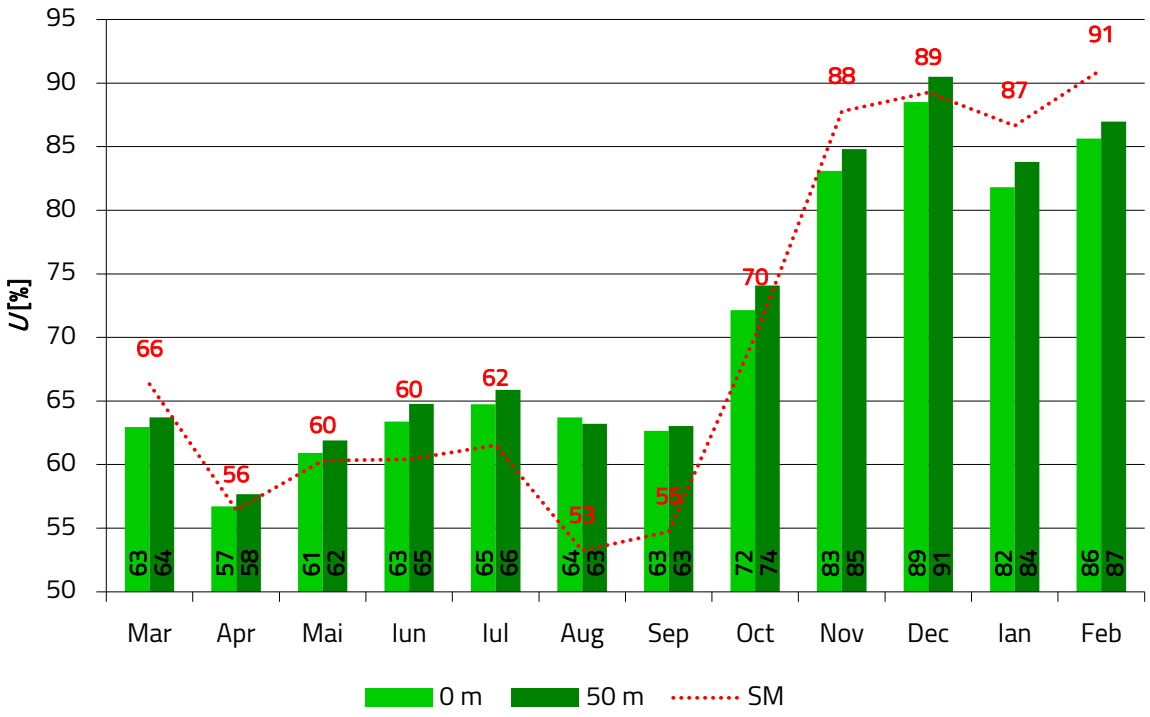


Figura 16. *Variația lunară diurnă a umidității relative a aerului (**U**, %) înregistrată în punctele de prelevare (0 şi 50 m), în comparație cu datele de la stația meteorologică (**SM**), în zona de deal*

În cazul valorilor medii nocturne (**Figura 17**), nu au existat diferențe evidente între marginea și interiorul pădurii în intervalul mai-august și în lunile martie și octombrie. Pentru restul lunilor, diferențele au fost foarte mici (1%), valorile fiind mai mari în interiorul pădurii, cu excepția lunii septembrie. În comparație cu datele preluate de la ***SM***, valorile medii diurne (***D***, %) şi nocturne (***N***, %) ale umidității relative a aerului au avut, în general, valori mai mari în zona studiului, cu excepția perioadei de iarnă. Diferențele cele mai proeminente au fost înregistrate în luna august, în care valorile medii calculate pe baza datelor provenite de la ***SM*** au fost mai mici cu 10-11% față de cele calculate pentru interiorul, respectiv marginea pădurii în cazul valorilor diurne, și cu 21% mai mici față de cele calculate pentru valorile nocturne, indiferent de locația în transect.

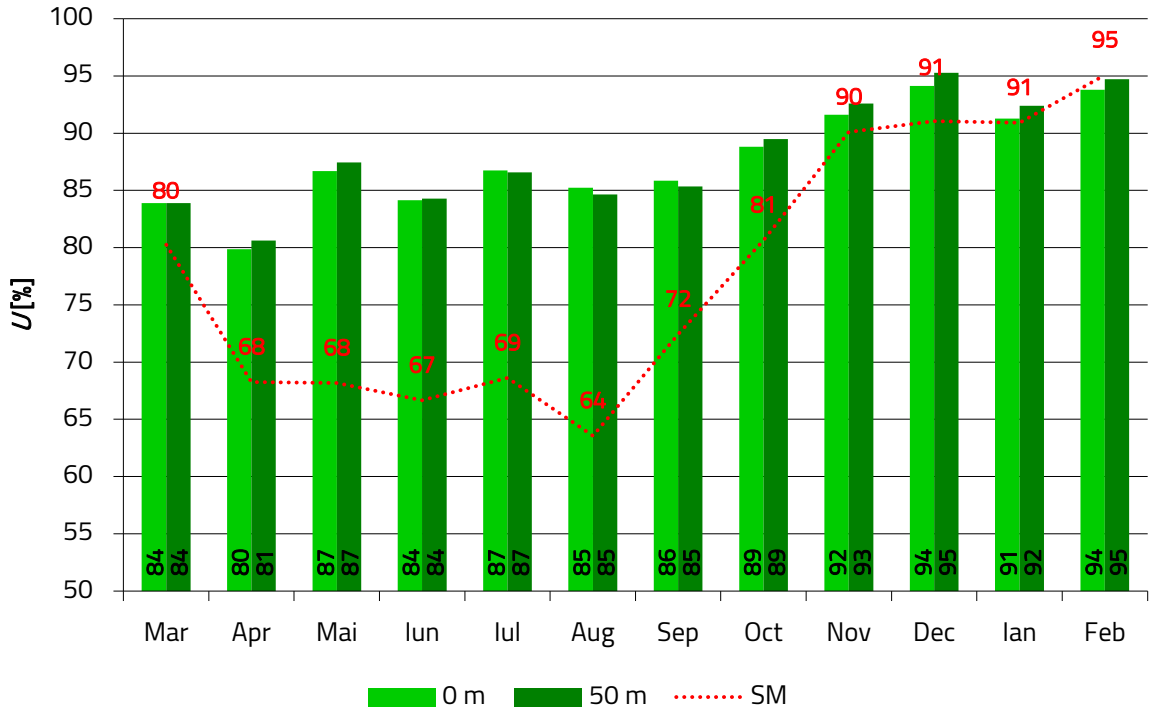


Figura 17. *Variația lunară nocturnă a umidității relative a aerului (**U**, %) înregistrată în punctele de prelevare (0 şi 50 m), în comparație cu datele de la stația meteorologică (**SM**), în zona de deal*

În **Figurile 18-19** sunt redate variațiile lunare diurne și nocturne referitoare la deficitul de saturație al vaporilor de apă în interiorul, la marginea pădurii și la ***SM***. La scară zilnică, doar în intervalul iulie-septembrie, deficitul de saturație al vaporilor de apă zilnic (***Z, kPa***) a avut valori mai mici la margine față de interiorul pădurii, acest trend fiind inversat în celelalte luni. La ***SM***, valorile deficitul de saturație al vaporilor de apă zilnic (***Z, kPa***) au fost mai mari în perioada aprilie-octombrie și decembrie și mai mici sau egale cu cele din zona de studiu în lunile martie, noiembrie, ianuarie și februarie.

Valorile medii diurne ale deficitului de saturație al vaporilor de apă (**D**, *kPa*) calculate la marginea pădurii au fost mai mari față de interiorul pădurii în lunile martie, iunie și în intervalul octombrie-ianuarie, egale cu acestea în lunile aprilie, mai, iulie și februarie, și mai mici decât acestea în lunile august și septembrie (**Figura 18**).

Pentru cea mai mare parte a anului, în timpul nopții (**Figura 19**), nu au fost găsite diferențe între valorile medii ale deficitul de saturație al vaporilor de apă, între interiorul şi marginea pădurii. În lunile în care au existat diferențe, acestea au fost mici, cu o valoare maximă a diferenței de 0,01 kPa. Valorile nocturne medii ale deficitului de saturație al vaporilor de apă, calculate pentru datele provenite de la ***SM***, au fost mai mari față de zona studiului pe tot parcursul anului.

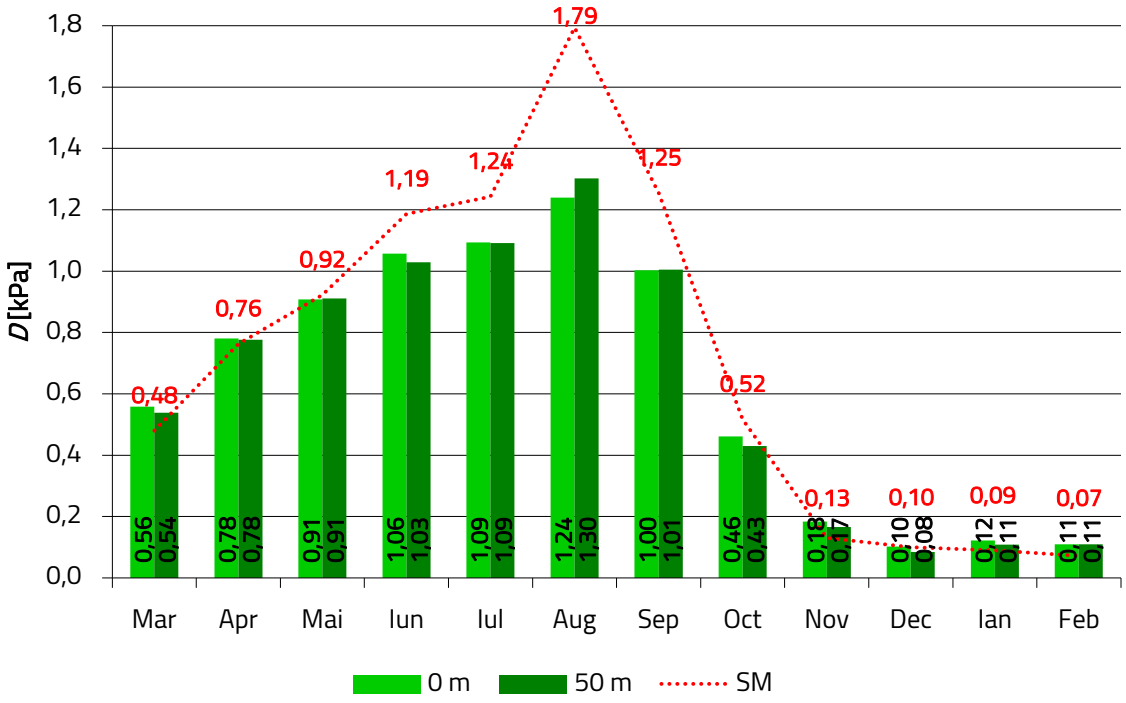


Figura 18. *Variația lunară diurnă a deficitului de saturație al vaporilor de apă (**D**, kPa) înregistrat în punctele de prelevare (0 și 50 m), în comparație cu datele de la stația meteorologică (**SM**), în zona de deal*

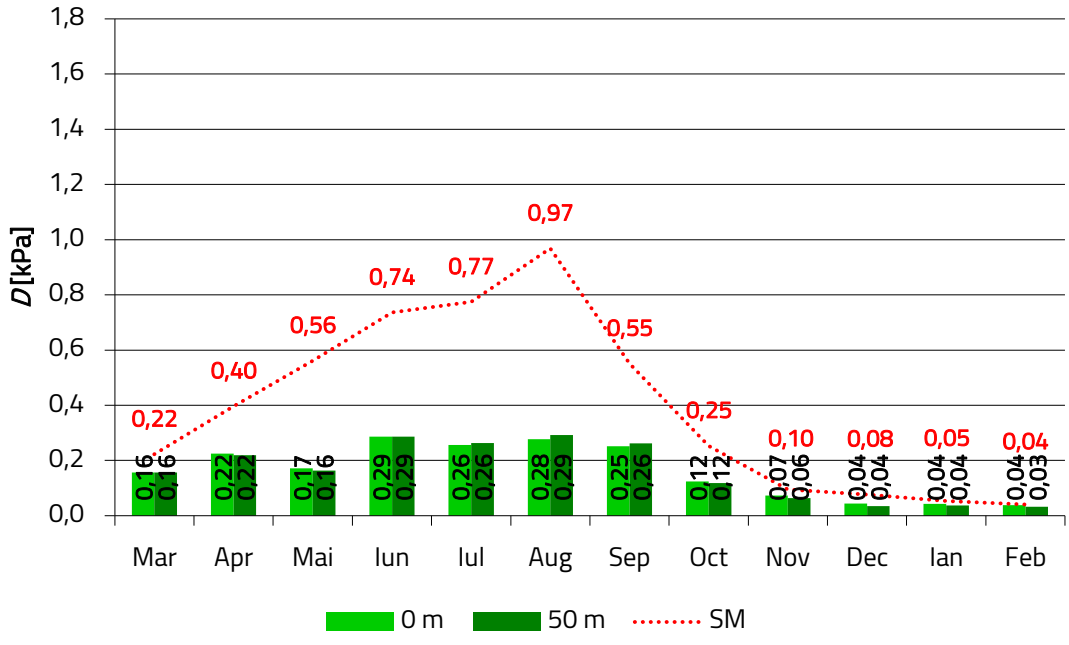


Figura 19. *Variația lunară nocturnă a deficitului de saturație al vaporilor de apă (**D**, kPa) înregistrat în punctele de prelevare (0 și 50 m), în comparație cu datele de la stația meteorologică (**SM**), în zona de deal*

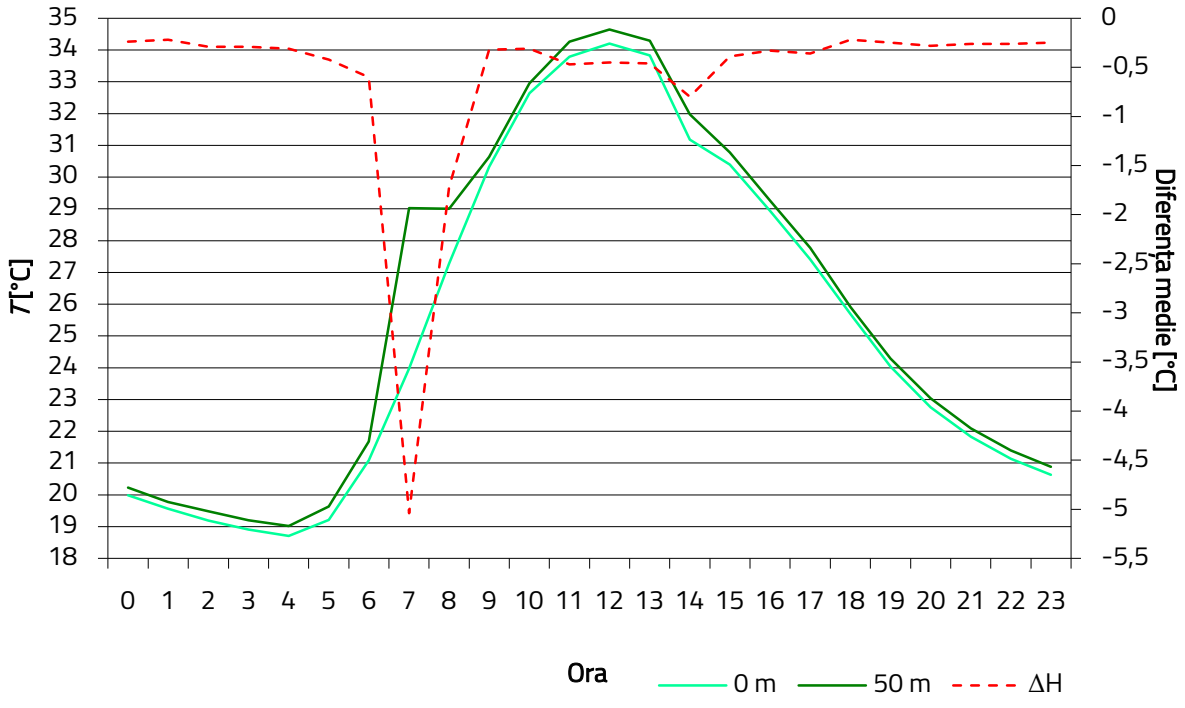
Diferența cea mai mare dintre valorile medii ale deficitului de saturație al vaporilor de apă specifice ***SM*** și cele înregistrate la marginea pădurii, a fost atinsă în luna august. Diferențele au fost de 0,57 kPa în cazul deficitului de saturație al vaporilor de apă mediu zilnic, 0,55 kPa în cazul deficitului de

saturație al vaporilor de apă mediu diurn și de 0,69 kPa în cazul deficitului de saturație al vaporilor de apă mediu nocturn.

4.2.2. Diferențele orare dintre marginea și interiorul pădurii, în zilele critice

În **Figurile 20-22** sunt comparate diferențele orare medii ale temperaturii, umidității relative a aerului și ale deficitului de saturație al vaporilor de apă dintre marginea (0 m) și interiorul pădurii (50 m), în zilele critice alese (2-6 august 2017).

Temperatura medie a aerului a fost mai mică la margine comparativ cu interiorul pădurii pe tot parcursul zilei. Cea mai mare schimbare din zi a avut loc în jurul orei 07:00, cu o diferență de circa 5 °C între marginea și interiorul pădurii, datorată probabil incidenței directe a razelor solare, în perioada respectivă, pe colectorul de date plasat la distanța de 50 m față de drum, situație care a afectat și celelalte variabile microclimatice analizate (***U,*** % și ***D,*** kPa) în perioada respectivă. În rest, diferențele de temperatură au fost, mai degrabă, nesemnificative pe tot parcursul zilei (< 0,5 °C), cu excepția orei 08:00, la care a rezultat o diferență de 1,7 °C, ce poate fi interpretată drept o redresare a temperaturii colectorului de date ca urmare a evenimentului apărut în jurul orei 07:00. Temperatura maximă, atât la margine, cât și în interior, a fost înregistrată în jurul orei 12:00, având o valoare mai mică la margine (34,2 °C) față de interior (34,7 °C) (**Figura 20**).



.

Figura 20. *Diferențele orare medii (ΔH) ale temperaturii aerului (**T**, °C) între marginea (0 m) și interiorul pădurii (50 m), în zona de deal, în perioada 2-6 august 2017*

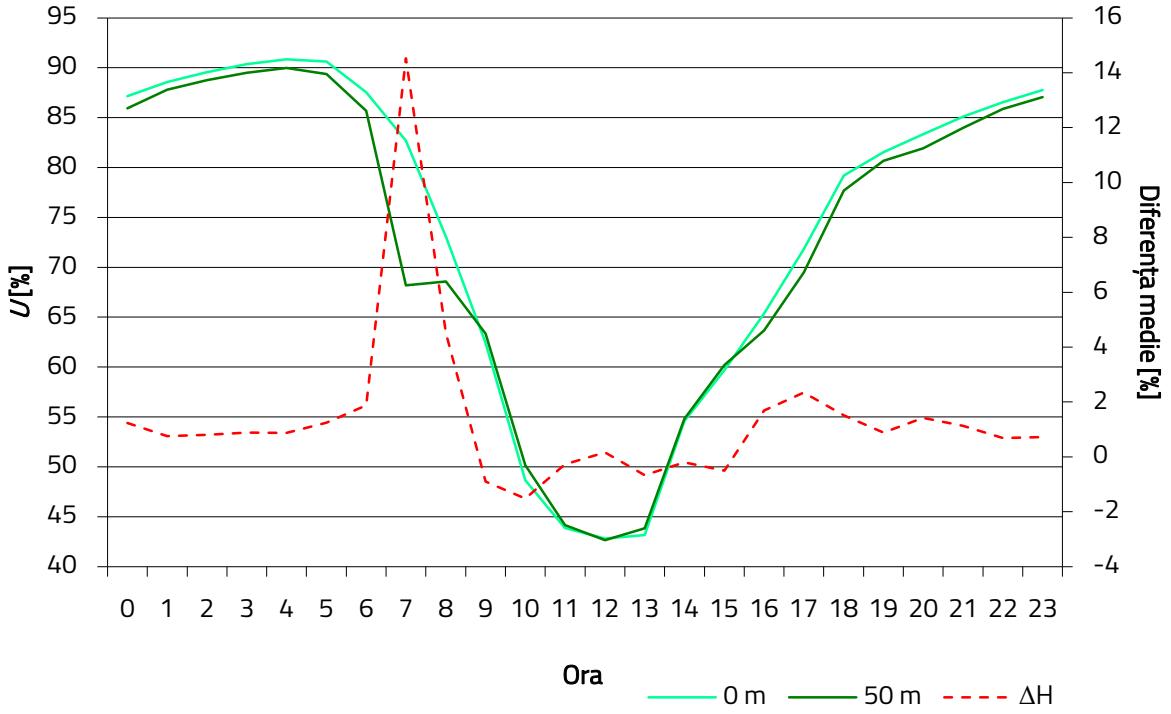


Figura 21. *Diferențele orare medii (ΔH) ale umidității relative a aerului (**U**, %) între marginea (0 m) și interiorul pădurii (50 m), în zona de deal, în perioada 2-6 august 2017*

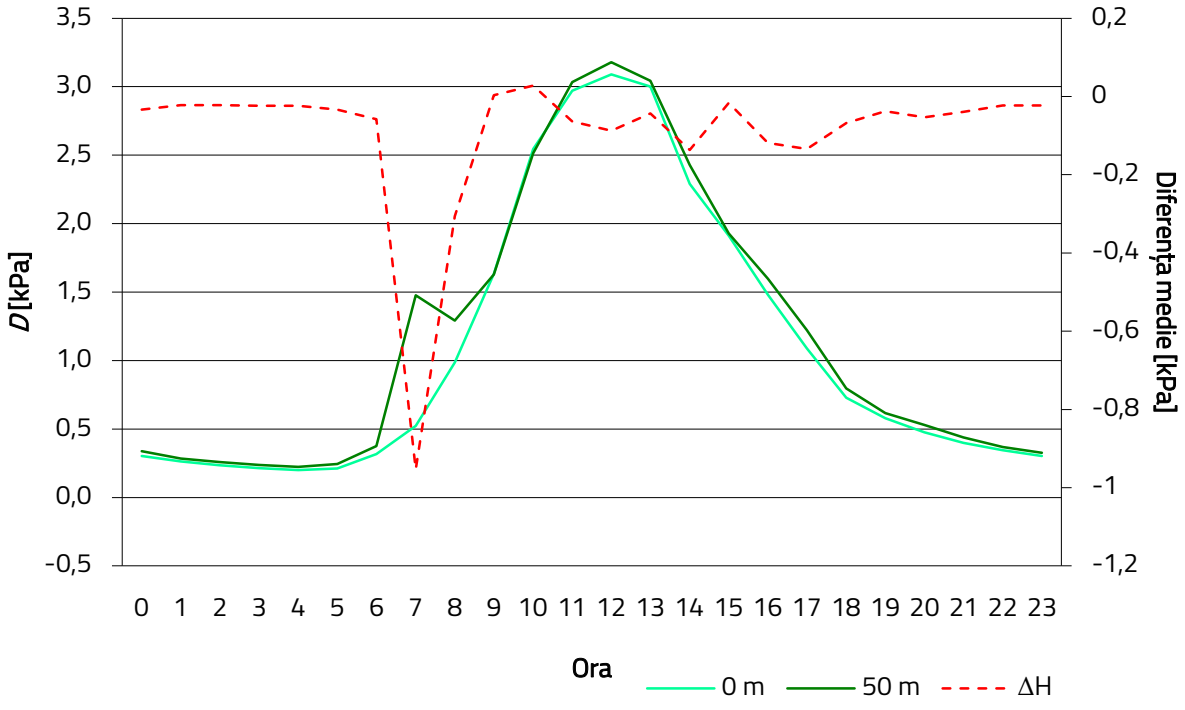


Figura 22. *Diferențele orare medii (ΔH) ale deficitului de saturație al vaporilor de apă (**D**, kPa) între marginea (0 m) și interiorul pădurii (50 m), în zona de deal, în perioada 2-6 august 2017*

La marginea pădurii s-a înregistrat, în general, o umiditate relativă mai mare în intervalul 16:00-08:00, cu o aceeași diferență majoră, identificată ca și în cazul temperaturii la ora 07:00 (**Figura 21**). În intervalul 09:00-15:00, în care temperatura aerului a atins valorile cele mai mari (> 30 °C), umiditatea

relativă a aerului a crescut în interiorul pădurii, diferența maximă fiind atinsă în jurul orei 10:00 (diferență între margine şi interior de –1,5 %). În ceea ce privește deficitul de saturație al vaporilor de apă, valorile medii calculate în interiorul pădurii au fost pozitive față de margine pe tot parcursul zilei, cu excepția intervalului orar 09:00-10:00 (**Figura 22**).

4.2.3. Gradienți microclimatici

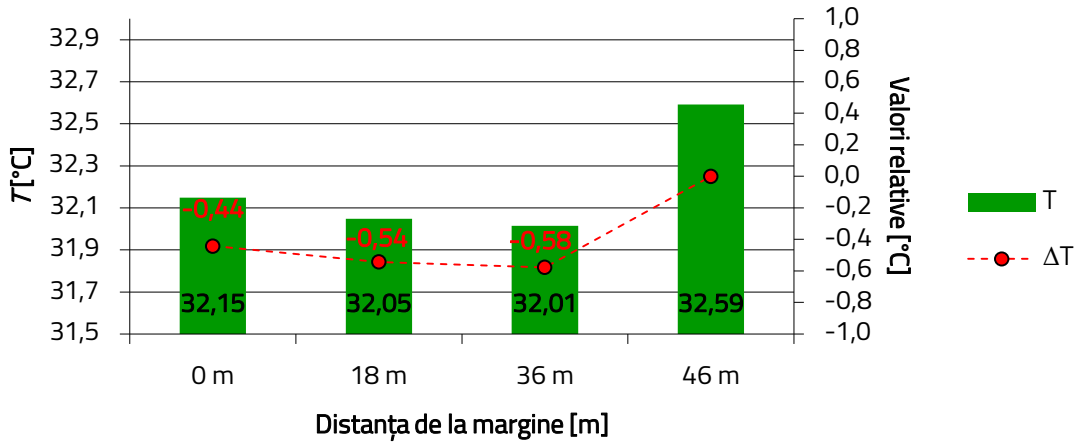
În **Figura 23** sunt descrise modificările variabilelor microclimatice analizate în raport cu distanța de la margine către interiorul pădurii, în intervalul orar 09:00-15:00. Temperatura aerului a fost mai mare la margine comparativ cu interiorul pădurii până la distanța de 36 m, dar diferențele au fost nesemnificative, mai mici de 0,14 °C (**Tabelul 4**). La distanța de 46 m s-a înregistrat o creștere a temperaturii față de margine, dar nici aceasta nu a fost semnificativă (mai mică de 0,58 °C).

În schimb, umiditatea relativă a aerului a fost mai mică la margine comparativ cu orice distanță măsurată spre interiorul pădurii. Diferențele nu au fost semnificative nici în cazul umidității relative a aerului (**Tabelul 4**): 1,18% la 0 m, 0,33% la 18 m și 0,15% la 36 m, în comparație cu interiorul pădurii (46 m). Deficitul de saturație al vaporilor de apă a avut valori mai ridicate de la marginea pădurii până la distanța de 36 m, cu valoarea minimă calculată la 18 m, locație pentru care umiditatea relativă a înregistrat valoarea maximă.

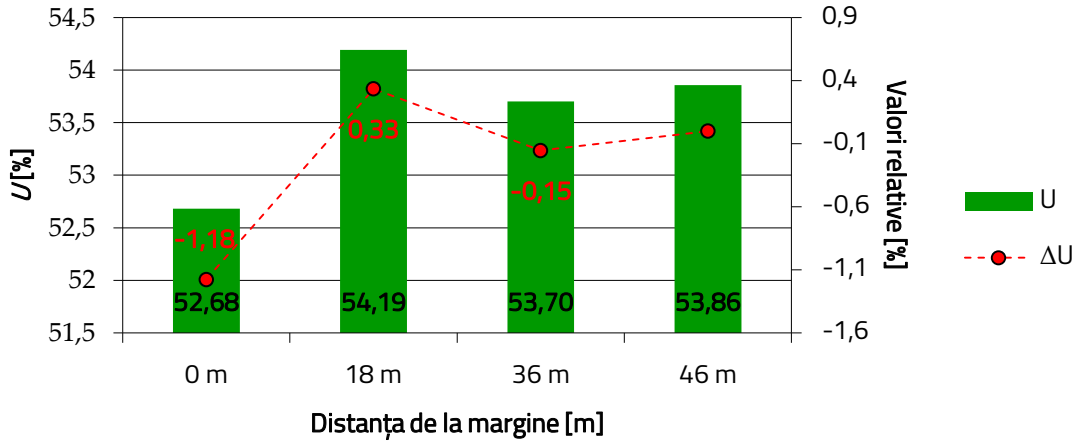
Tabelul 4. *Rezultatele testelor de comparație pentru variabilele climatice ($\alpha = 0,05$, $p < 0,05$), în zona de deal*

Variabila climatică	0 m – 46 m		18 m – 46 m		36 m – 46 m	
	t	p	t	p	t	p
Temperatura aerului - T [°C]	1,995	0,519	1,995	0,436	1,995	0,415
Umiditatea relativă a aerului - U [%]	1,995	0,717	1,995	0,919	1,995	0,963
Deficitul de saturație al vaporilor de apă - D [kPa]	1,995	0,928	1,995	0,638	1,995	0,734

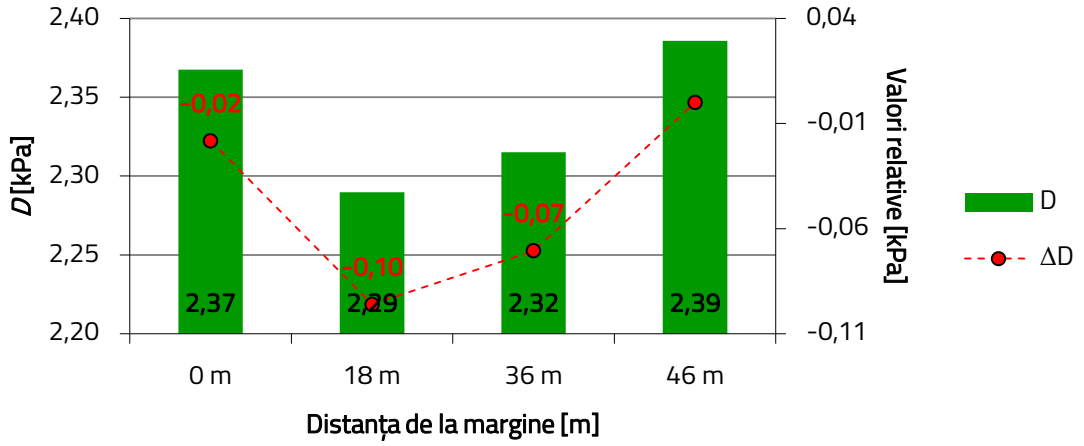
Luând în considerare primele trei puncte de eșantionare, în perioada analizată, se constată, pentru temperatură, un efect de descreștere, deși nesemnificativ din punct de vedere statistic, dinspre margine spre interior. Creșterea temperaturii în ultimul punct de eșantionare (46 m) poate fi datorată unor goluri în coronamentul din vecinătatea acestuia. La fel, deși nu au existat diferențe semnificative din punct de vedere statistic, umiditatea relativă a aerului a avut un trend crescător dinspre margine spre interior, iar dinamica deficitului de saturație al vaporilor de apă a fost influențată, pe transect, de către dinamica specifică a temperaturii şi umidității relative ale aerului.



(a)



(b)



(c)

Figura 23. *Gradienți microclimatici în zona de deal (2-6 august 2017, 09:00-15:00). Legendă: (a)- modificări ale temperaturii aerului (**T**, °C), **ΔT** - diferențe între locațiile intermediare și interiorul pădurii; (b) - modificări ale umidității relative a aerului (**U**, %), **ΔU** - diferențe între locațiile intermediare și interiorul pădurii; (c) - modificări ale deficitului de saturație al vaporilor de apă (**D**, kPa), **ΔD** - diferențe între locațiile intermediare și interiorul pădurii.*

4.2.4. Discuții și concluzii pentru zona de deal – Rezervația Naturală de Stat „Plaiul Fagului"

Prin analiza variației temperaturii, umidității relative a aerului și a deficitului de saturație alle vaporilor de apă în funcție de distanța de eșantionare de la marginea pădurii spre interior, prezentul studiu a urmărit să identifice prezența efectului de margine în condiții specifice caracterizate de o variabilitate mare a reliefului și a condițiilor climatice, și să cuantifice modificările microclimatice produse de acest efect, în condițiile prezenței unui drum forestier care, din punct de vedere al dimensiunilor şi elementelor geometrice în profil transversal, poate fi asimilat cu un drum forestier principal (MM, 2011). Realizarea comparațiilor între valorile parametrilor climatici înregistrate în mediul forestier studiat și valorile provenite de la sistemul național de referință pot fi utile la caracterizarea microclimatului forestier din zona respectivă, raportat la ceea ce furnizează sistemul național.

Un studiu efectuat în Republica Moldova (Maxim et al., 2010), referitor la legătura dintre factorii climatici și rețeaua de transport, concluzionează că, pentru proiectarea şi construcția oricărei artere de transport terestru, merită a fi luate în considerare elementele climatice care pot influența direct sau indirect acest domeniu important de activitate umană. Din analizele efectuate în lucrarea de față, a rezultat faptul că toți factorii climatici analizați au prezentat diferențe foarte mici, uneori inexistente, între marginea pădurii și distanța de 50 m, ultima fiind considerată a fi interiorul pădurii. Comparativ cu valorile calculate pe baza datelor preluate de stația meteorologică, temperaturile medii zilnice și nocturne au fost, pe tot parcursul anului, mai mici în zona luată în studiu. Diferențele negative cele mai mari au fost înregistrate în luna august, ajungând până la 4,2 °C, în timpul nopții. La scară anuală, umiditatea relativă a aerului a avut, în general, valori mai mari în mediul forestier, cu diferențele cele mai mari înregistrate tot în luna august. Prin urmare, aceste rezultate confirmă ipoteza conform căreia temperaturile medii lunare din pădure față de terenul descoperit sunt mai reduse (Florescu și Nicolescu, 1996), întrucât zona din care provin datele de la stația meteorologică poate fi considerată a fi un spațiu deschis. De asemenea, umiditatea relativă a aerului, datorită transpirației intense a arborilor, este mai mare în pădure decât în câmpul deschis, cel puțin în perioada de vegetație (Doniță et al., 1977).

În plus, prin corelarea datelor referitoare la parametrii microclimatici din interiorul pădurii cu caracteristicile de creștere ale arborilor, se pot obține informații importante ce caracterizează dinamica creșterii și dezvoltării arboretelor din zona respectivă. De cele mai multe ori, la marginile deschise, arborii au diametre mai mari decât în interiorul pădurii, deoarece se dezvoltă sub influența unei cantități mai mari de lumină (Vitali et al., 2016); în cazul în care pădurea este deasă, arborii de la margine pot fi, de asemenea, mai înalți decât cei din interior (Cancino, 2005).

Existența efectului de margine poate fi pusă în evidență de eventualele diferențe ale temperaturii și umidității relative ale aerului apărute între marginea și interiorul pădurii. În condițiile luate în studiu, pentru perioada considerată a fi critică (2-6 august 2017), caracterizată prin temperaturi anuale maxime, cer senin și viteză redusă a vântului, analiza datelor a indicat faptul că nu există diferențe semnificative între valorile medii înregistrate între marginea și interiorul pădurii (50 m). Pot exista variații şi diferențe mici pe termen scurt (**Figurile 20-21**), dar pe termen lung, aceste diferențe nu sunt semnificative.

În ceea ce privește datele analizate în intervalul cu temperaturi maxime din zilele critice, rezultatele referitoare la alura temperaturii sunt asemănătoare cu cele din alte studii (Davies-Colley et al., 2000,

Li et al., 2018), doar sub aspectul descreșterii temperaturii de la margine spre interior, aspect ce nu înseamnă, neapărat, că diferențele respective sunt şi însemnate din punct de vedere cantitativ şi statistic. Trendul de descreștere a fost vizibil pentru punctele de eșantionare situate până la distanța de 36 m, trend ce poate fi interpretat doar până la această distanță din moment ce ultimul punct de prelevare, care a arătat o creștere a temperaturii, a fost, cel mai probabil, influențat de golurile de coronament existente în aria sa (**Figura 6**). Umiditatea relativă a aerului în raport cu distanța față de marginea pădurii sugerează o dinamică diferită față de rezultatele raportate de alte studii (*e.g.* Li et al., 2018). Chiar dacă nu păstrează un trend ascendent de la margine spre interiorul pădurii, valoarea umidității relative înregistrată la margine a fost mai mică față de oricare din valorile înregistrate în celelalte puncte de eșantionare, rezultat confirmat, în mod obișnuit, și în alte studii (*e.g.* Wicklein et al., 2012). Rezultatele referitoare la variația deficitului de saturație al vaporilor de apă întăresc opinia conform căreia, această variabilă climatică are, în general, valori mai mari în apropierea marginilor artificiale față de interiorul pădurilor (Pohlman et al., 2007).

Deși rezultatele prezentate în acest studiu nu indică o prezență dovedită statistic a efectului de margine din punct de vedere al factorilor microclimatici precum temperatura aerului, umiditatea relativă a aerului şi deficitul de saturație al vaporilor de apă, există totuși posibilitatea apariției acestui efect generat de prezența infrastructurii de transport forestier cum ar fi drumurile forestiere. În același timp, trebuie menționat faptul că prezentul studiu a avut unele limitări, una dintre ele fiind legată de acuratețea şi precizia datelor. În cazul primului transect, este posibil ca măsurătorile să fi fost influențate de prezența în zonă a două lacuri artificiale destul de mari. Cu toate acestea, în practică este destul de greu de identificat zone de prelevare a datelor care să nu fie expuse influenței altor factori ce pot influența calitatea datelor colectate, cum ar fi natura utilizării terenului. În principiu, alegerea unor zone care să reprezinte condiții medii de vegetație pentru un teritoriu luat în considerare, uniforme sub aspectul elementelor structurale, trebuie să reprezinte aspectul dominant de luat în considerare, urmând ca unele caracteristici ale suprafeței active să fie selectate, dacă este posibil, ca obiective secundare. Luând în considerare distanța redusă la care se află lacurile față de punctele de prelevare (40 m, respectiv 240 m), există posibilitatea ca, în funcție de direcția vântului, prezența lor să fi influențat atât temperatura, cât și umiditatea aerului înregistrate la marginea pădurii. Pe de altă parte, având în vedere energia mare a reliefului rezervației studiate (Moldsilva, 2016), care conduce la un nivel ridicat de variabilitate climatică (WB, 2010), cercetările ar putea fi extinse şi aprofundate, de exemplu, prin setarea colectorilor de date la rate mai mici de prelevare a datelor, însoțită, eventual, de colectarea și caracterizarea de date referitoare la intensitatea radiației solare, viteza vântului etc., așa cum s-a procedat și în alte studii (*e.g.* Wright et al., 2010; Davies-Colley et al., 2000). Astfel de studii, desfășurate în condiții variabile din punct de vedere al reliefului, ar putea pune în evidență variabilitatea dată de acest factor.

Cu toate aceste limitări, studiul de față extinde cunoștințele existente prin faptul că produce şi analizează date de acest gen, în premieră la nivelul teritoriului studiat. Astfel de date sunt utile în înțelegerea variabilității climatice a teritoriilor forestiere în comparație cu datele provenite din sistemul național, precum şi în punerea în evidență a factorilor ce afectează variabilitatea la nivel microclimatic.

4.3. Rezultate, discuții și concluzii privind studiul realizat în zona de câmpie-luncă - Călărași

4.3.1. Variația lunară zilnică, diurnă și nocturnă a temperaturii și umidității relative ale aerului

În **Figura 24** este prezentată variația lunară zilnică a temperaturii aerului provenită de la punctele de prelevare ***S0-S5*** de la nivelul de 2 m, comparativ cu datele preluate de la stația meteorologică Călărași. Înregistrările provenite de la punctul ***S4*** de la nivelul de 2 m au fost disponibile doar pentru intervalul septembrie-februarie. Temperaturile medii lunare zilnice sunt caracterizate de diferențe mici între marginea (***S0***) și interiorul pădurii (***S5***), cuprinse în intervalul 0-0,3 °C (**Figura 24**). Doar în luna iulie temperatura aerului înregistrată în punctul de prelevare ***S5*** a fost mai mare decât cea înregistrată în punctul de prelevare ***S0***, dar diferența a fost de 0,1 °C. Temperaturile maxime au fost înregistrate în punctul de prelevare ***S3*** în toată perioada analizată, cu excepția lunii mai. Comparativ cu datele provenite de la stația meteorologică (***SM***), temperaturile medii ale aerului din zona studiului au fost întotdeauna mai mici în intervalul mai-octombrie și luna decembrie și mai mari în lunile ianuarie și februarie. În luna noiembrie s-au înregistrat temperaturi asemănătoare între punctele de prelevare din teren și ***SM***.

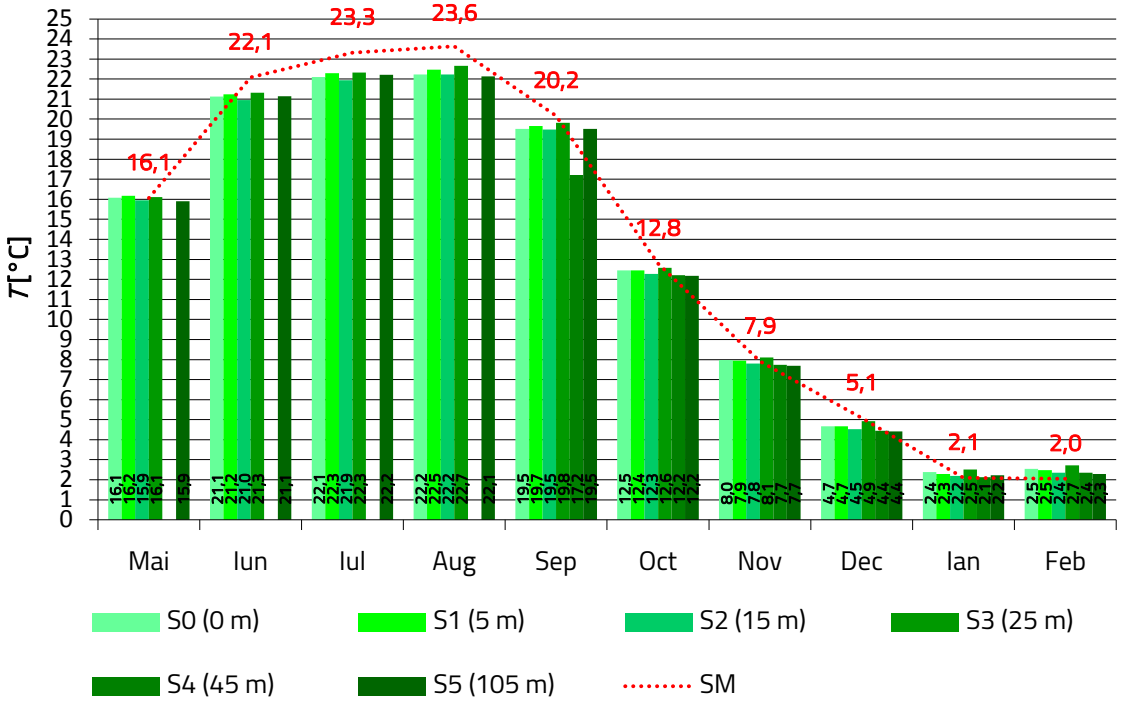


Figura 24. *Variația lunară zilnică a temperaturii aerului (**T**, °C) înregistrată la nivelul de 2 m de la sol în punctele de prelevare (**S0-S5**), în comparație cu datele de la stația meteorologică (**SM**, la nivelul de 2m), în zona de câmpie*

Temperaturile medii diurne au fost, în general, mai mari la margine (***S0***) comparativ cu interiorul pădurii (***S5***), cu excepția lunilor iunie, iulie și septembrie, cu diferența cea mai proeminentă rezultată în luna octombrie (0,6 °C). Cele mai ridicate temperaturi au fost înregistrate în punctul de prelevare ***S1***, în lunile mai-iulie și în punctul de prelevare ***S4***, în intervalul august-februarie. În sezonul de vară, valorile diurne provenite de la ***SM*** au fost mai mari comparativ cu orice valoare înregistrată în zona studiului. Acest fenomen a fost inversat pentru restul intervalului de timp (mai, septembrie-februarie).

Pe timpul nopții, diferențele dintre margine (*S0*) și interiorul pădurii (*S5*) au fost mici, uneori egale, fiind cuprinse în intervalul 0-0,3 °C. Mai mult, variația mică de temperatură a persistat între toate punctele de prelevare, pe tot intervalul analizat, cu excepția lunii septembrie, când diferența de temperatură dintre punctul de prelevare *S4* și celelalte puncte a fost cuprinsă în intervalul 2-2,3 °C. La *SM*, valorile nocturne ale temperaturii aerului au fost întotdeauna mai mari față de valorile nocturne înregistrate în zona studiului.

În **Figura 25** este redată variația lunară zilnică a temperaturii aerului înregistrată la nivelul de 0,1 m de la sol, în punctele de prelevare *S0-S5*, precum și variația temperaturilor medii înregistrate la stația meteorologică (*SM*). La scară zilnică, temperaturile medii înregistrate la margine (*S0*) au fost întotdeauna mai mici comparativ cu cele înregistrate în interiorul pădurii (*S5*). În acest caz, diferențele cele mai proeminente, cu valoarea de 1,1 °C, au fost specifice lunilor iulie, august și februarie (**Figura 25**). Comparativ cu datele preluate de la *SM*, temperaturile înregistrate în zona studiului au fost mai mici în intervalul mai-octombrie și luna decembrie. Pentru restul intervalului de timp, valorile temperaturii aerului provenite de la *SM* au fost egale cu cele înregistrate la marginea pădurii (noiembrie, ianuarie) și mai mici decât temperaturile înregistrate în punctul de prelevare *S5* (noiembrie, ianuarie și februarie).

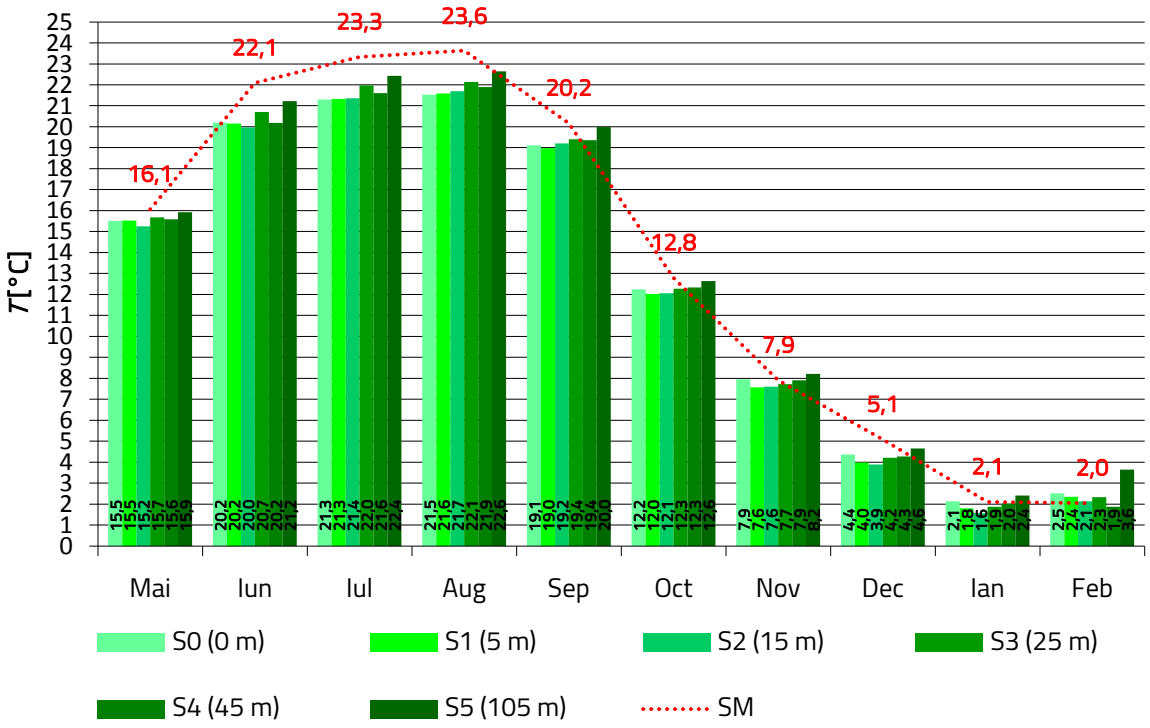


Figura 25. *Variația lunară zilnică a temperaturii aerului (T, °C) înregistrată la nivelul de 0,1 m de la sol în punctele de prelevare (S0-S5), în comparație cu datele de la stația meteorologică (SM, la nivelul de 2m), în zona de câmpie*

În general, temperaturile medii diurne urmează același trend ca și temperaturile medii zilnice. Valorile temperaturii înregistrate în interiorul pădurii (*S5*) au fost întotdeauna mai mari comparativ cu marginea (*S0*). În acest caz, diferența maximă a fost atinsă în luna iulie (1,6 °C), urmată de lunile iunie (1,5 °C) și august (1,4 °C). În comparație cu datele provenite de la stația meteorologică, valorile înregistrate în fiecare punct de prelevare din zona studiului au fost mai mici doar în timpul sezonului

de vară. Acest fenomen a fost inversat în intervalul noiembrie-februarie. Cele mai proeminente diferențe au fost specifice lunii august (2,3 °C față de marginea pădurii).

În ceea ce privește temperaturile medii nocturne, și acestea au avut valori mai ridicate în interiorul pădurii (*S5*) comparativ cu marginea (*S0*), dar diferența maximă a fost mai redusă față de celelalte intervale analizate, având valoarea de 0,8 °C în lunile august și octombrie. Valorile temperaturii medii nocturne înregistrate la stația meteorologică au fost întotdeauna mai mari față de cele înregistrate în zona studiului, cu excepția lunii februarie. Diferențele cele mai proeminente față de marginea pădurii (*S0*) au fost atinse în lunile iulie, august și decembrie (1,9 °C).

În **Figura 26** este redată variația lunară zilnică a umidității relative a aerului înregistrată la nivelul de 2 m de la sol și la *SM*. La scară zilnică, umiditatea relativă a aerului a fost mai mare la margine (*S0*) față de interiorul pădurii (*S5*) doar în luna iunie, dar diferența dintre cele două puncte de prelevare a fost mică, de doar 1%. Pentru restul intervalului de timp, în punctul de prelevare *S0* s-au înregistrat umidități relative mai mici comparativ cu punctul de prelevare *S5*, cu excepția lunilor iulie și februarie, când valorile au fost egale. Diferența cea mai proeminentă dintre *S5* și *S0* a fost specifică lunii august (12%). În toate lunile analizate, valorile umidității relative înregistrate la *SM* au fost mai mici decât cele înregistrate în zona studiului (**Figura 26**).

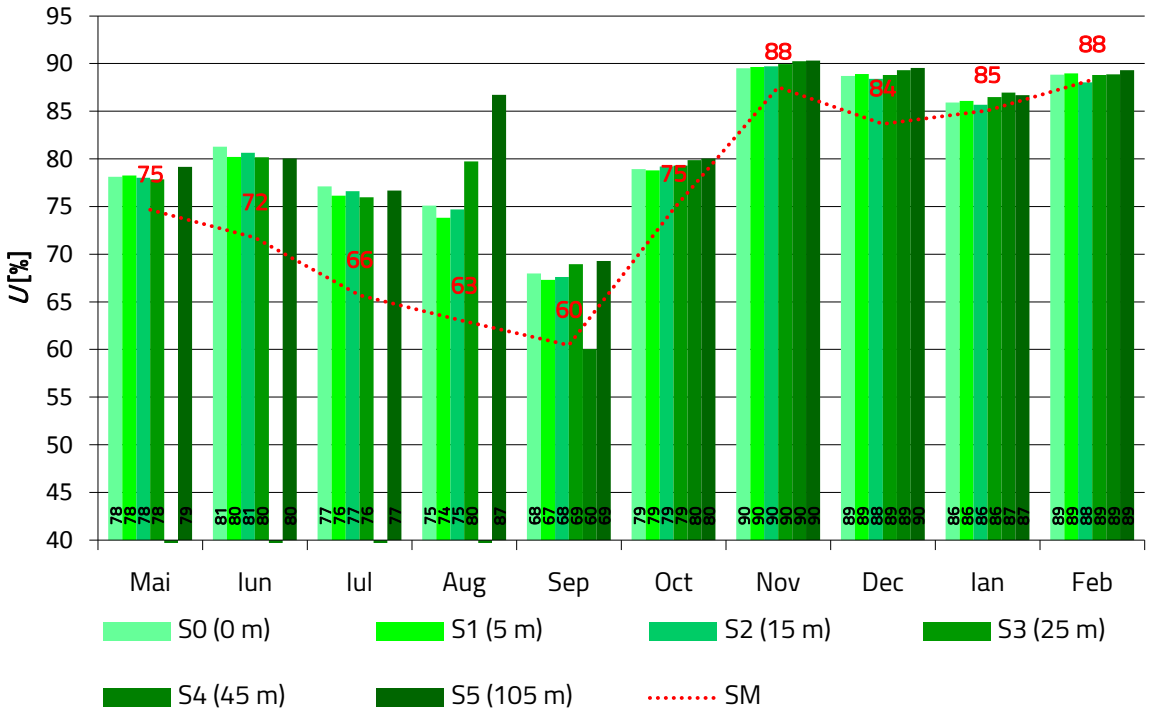


Figura 26. *Variația lunară zilnică a umidității relative a aerului (**U**, %) înregistrată la nivelul de 2 m de la sol în punctele de prelevare (**S0**-**S5**), în comparație cu datele de la stația meteorologică (**SM**, la nivelul de 2m), în zona de câmpie*

Valorile medii diurne calculate pentru punctele de prelevare localizate la marginea (*S0*) şi interiorul (*S5*) pădurii au păstrat același trend ca și cele zilnice, cu excepția faptului că acestea au fost egale și în luna noiembrie. Cea mai mare diferență dintre *S5* și *S0* a fost specifică tot lunii august, având valoarea de 14%. Umiditatea relativă a aerului înregistrată la *SM* a avut valori mai mari decât umiditățile relative înregistrate în zona studiului doar în lunile ianuarie și februarie.

În timpul nopții, umiditatea relativă a aerului a fost mai mare în interiorul pădurii (*S5*) comparativ cu marginea (*S0*), cu excepția lunilor iunie și iulie, când fenomenul a fost inversat. În luna august s-a înregistrat cea mai mare diferență dintre *S5* și *S0*, cu o valoare de 9%. Datele nocturne înregistrate în zona studiului au avut valori mai mari decât cele provenite de la *SM*, cu excepția datelor înregistrate în luna septembrie în punctul de prelevare *S4*.

Variația lunară zilnică a umidității relative a aerului în zona studiului, la nivelul de 0,1 m de la sol, comparativ cu datele furnizate de *SM*, este redată în **Figura 27**. Cu excepția lunii iunie, umiditățile relative zilnice înregistrate în interiorul pădurii (*S5*) au fost mai mari față de cele înregistrate la margine (*S0*), cu diferența maximă atinsă în luna decembrie (39%), urmată de lunile noiembrie, februarie (38%) și octombrie (26%) (**Figura 27**). La *SM*, umiditățile relative au fost întotdeauna mai mici față de interiorul pădurii, dar nu și de marginea pădurii (cu excepția intervalului mai-iulie).

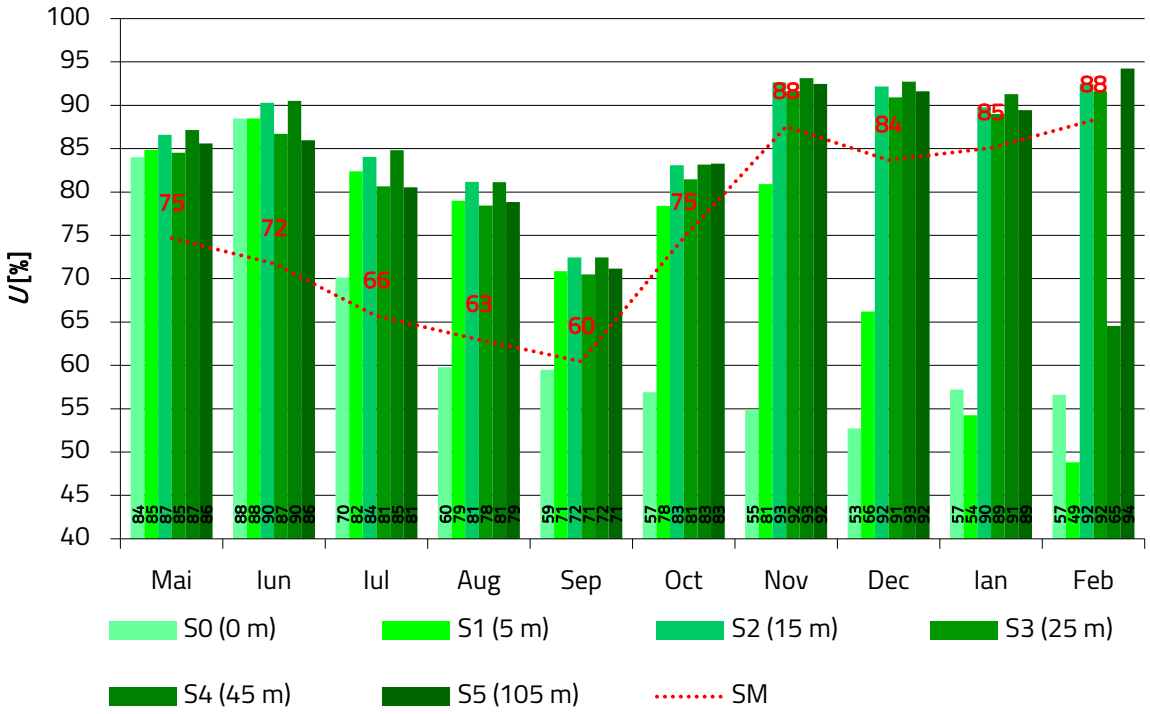


Figura 27. *Variația lunară zilnică a umidității relative a aerului (**U**, %) înregistrată la nivelul de 0,1 m de la sol în punctele de prelevare (**S0**-**S5**), în comparație cu datele de la stația meteorologică (**SM**, la nivelul de 2m), în zona de câmpie*

În ceea ce privește valorile diurne și nocturne, variația a fost asemănătoare cu cea a valorilor zilnice. Diferența cea mai proeminentă dintre *S5* și *S0* a fost specifică lunii noiembrie (34%), în cazul valorilor diurne, și lunii decembrie (45%), în cazul valorilor nocturne. Comparativ cu datele furnizate de *SM*, umiditățile relative diurne înregistrate în zona studiului au fost întotdeauna mai mari în perioada mai-septembrie; pentru restul intervalului de timp, umiditățile relative înregistrate spre marginea pădurii au fost mai mici. Valorile nocturne ale umidității relative din zona studiului au fost mai mari comparativ cu valorile nocturne ale umidității relative preluate de la *SM*, cu excepția celor dinspre marginea pădurii, care au fost mai mici în intervalul iulie-august.

4.3.2. Diferențele orare dintre marginea și interiorul pădurii, în zilele critice

În **Figurile 28-31** sunt prezentate comparativ diferențele orare medii ale temperaturii aerului dintre cele două niveluri de prelevare a înregistrărilor, precum și diferențele orare medii ale umidității aerului între marginea (0 m) și interiorul pădurii (105 m), în intervalul caracterizat de cele mai mari temperaturi medii (1-5 august 2017).

Pe timpul nopții (22:00-06:00) și în timpul după-amiezii (14:00-16:00), temperatura aerului măsurată la nivelul de 2 m a fost mai mică la margine (0 m) comparativ cu interiorul pădurii (105 m). În celelalte intervale orare, temperaturile medii mai mari s-au menținut la margine, cu diferențe mai pronunțate (> 2 °C) în intervalul 09:00-11:00. În schimb, la nivelul de 0,1 m de la sol, temperaturile medii mai mari la margine s-au înregistrat doar în timpul dimineții, între orele 08:00 și 10:00. Cele mai mari schimbări din zi au avut loc în intervalul 13:00-18:00, în care diferența dintre temperatura aerului în interiorul pădurii și margine a atins valoarea de 4,7 °C în jurul orei 15:00.

În ceea ce privește variația pe verticală a temperaturii aerului, la marginea pădurii, pe tot parcursul zilei, la nivelul de prelevare de 2 m a fost mai cald decât în apropierea solului (**Figura 28**). În intervalul 21:00-10:00, diferențele au fost mai mici de 1 °C, devenind mai accentuate spre mijlocul zilei (13:00-18:00), depășind valoarea de 2,2 °C. În contrast, în interiorul pădurii, temperaturile medii mai mari au fost menținute în apropierea solului pe tot parcursul zilei (**Figura 29**). În intervalul nocturn nu s-a găsit aproape nicio diferență între cele două niveluri. Cea mai pronunțată diferență de temperatură a avut loc la ora 10:00 (1,7 °C), urmată de ora 11:00 (1,5 °C).

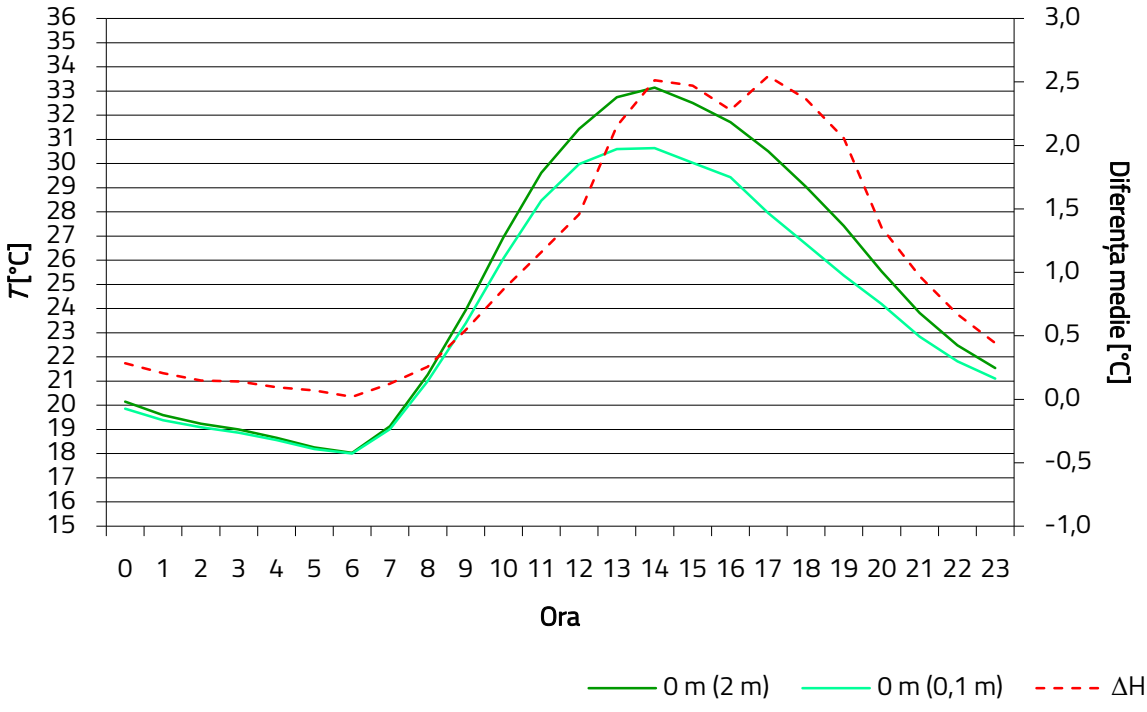


Figura 28. *Diferențele orare medii (ΔH) ale temperaturii aerului (T, ° C) la marginea pădurii, pe niveluri de prelevare, în zona de câmpie, pentru intervalul 1 - 5 august 2017*

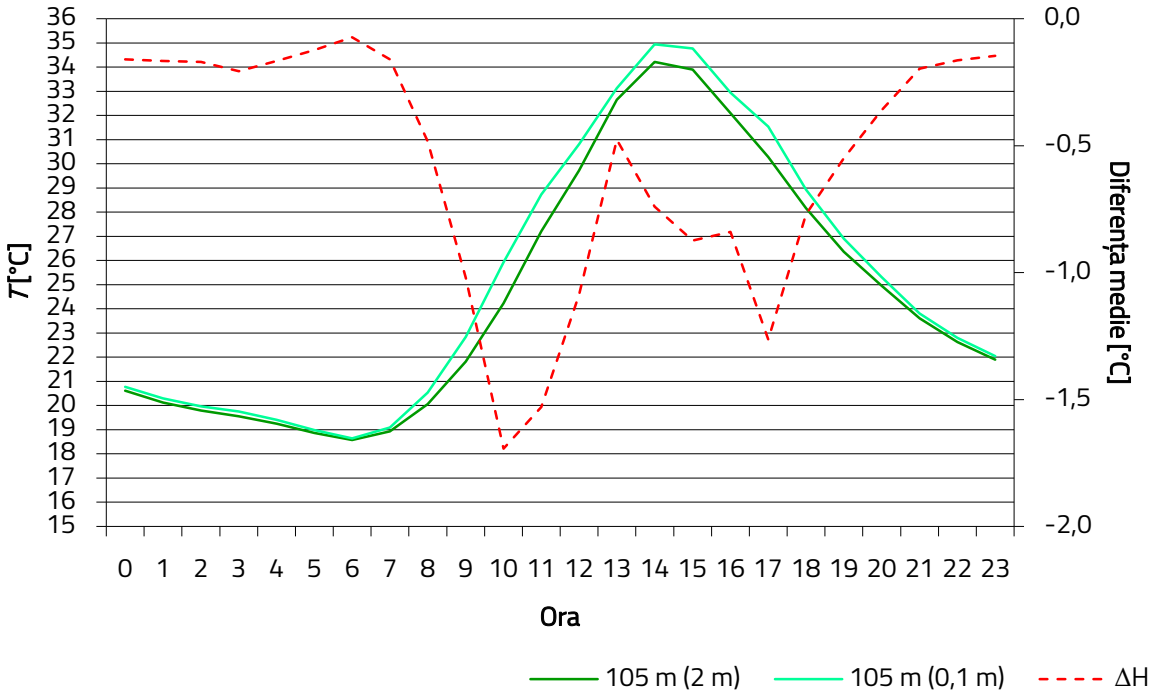


Figura 29. *Diferențele orare medii (ΔH) ale temperaturii aerului (**T**, ° C) în interiorul pădurii, pe niveluri de prelevare, în zona de câmpie, pentru intervalul 1 - 5 august 2017*

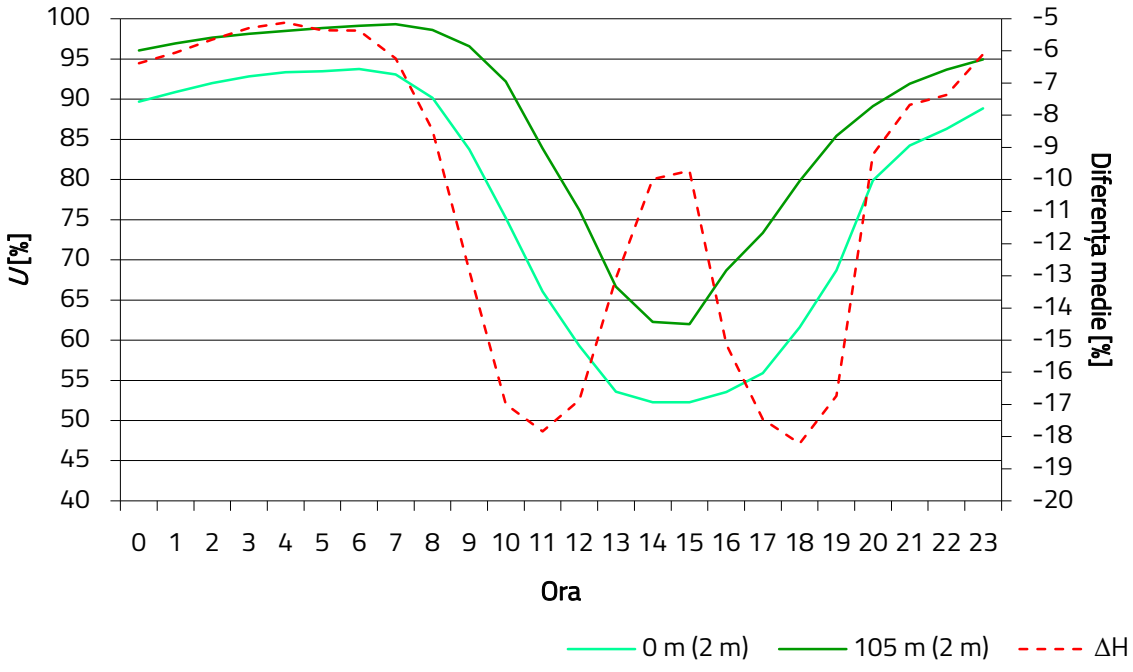


Figura 30. *Diferențele orare medii (ΔH) ale umidității relative a aerului (**U**, %) între marginea și interiorul pădurii la nivelul de 2 m, în zona de câmpie, pentru intervalul 1 - 5 august 2017*

În perioada 1-5 august 2017, umiditatea relativă măsurată la nivelul de 2 m a fost întotdeauna mai mare în interiorul pădurii comparativ cu marginea (**Figura 30**). Cele mai pronunțate diferențe au fost caracteristice intervalului orar 12:00-19:00, cu valori cuprinse între 10% și 18%. La nivelul de 0,1 m

deasupra solului (**Figura 31**), au avut loc schimbări mult mai pronunțate între marginea și interiorul pădurii, diferențele fiind mai mari de 40% în intervalul 23:00-08:00. Umiditatea relativă a aerului a fost mai mare la margine doar între orele 13:00-17:00, cu o diferență maximă de 11% înregistrată la ora 15:00.

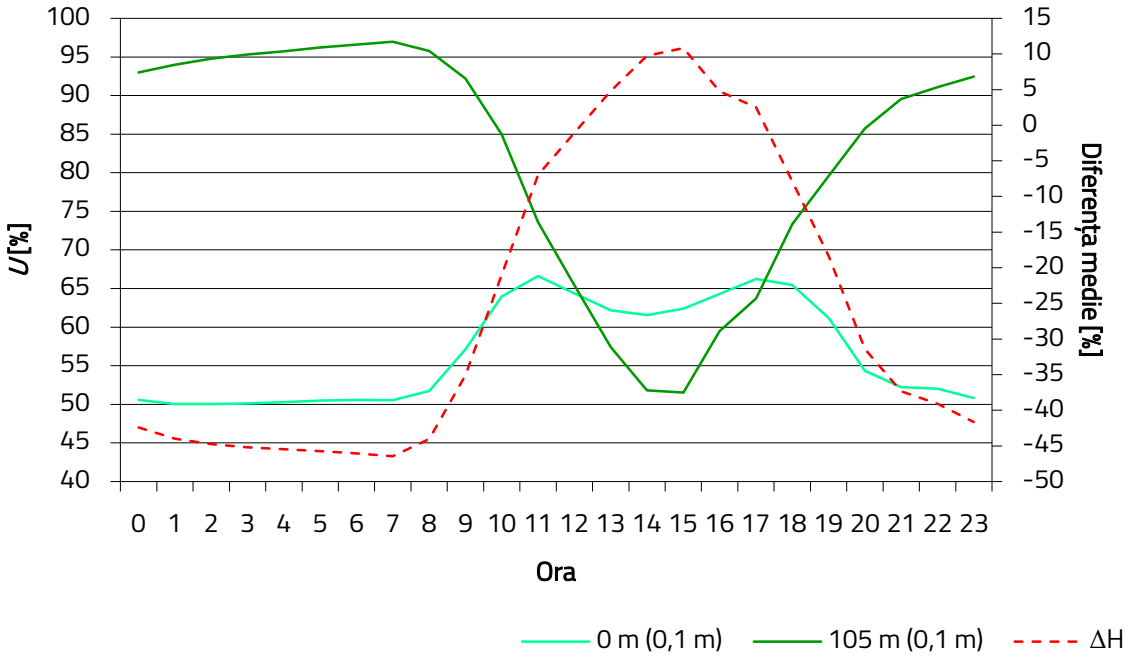


Figura 31. *Diferențele orare medii (ΔH) ale umidității relative a aerului (**U**, %) între marginea și interiorul pădurii la nivelul de 0,1 m, în zona de câmpie, pentru intervalul 1 - 5 august 2017*

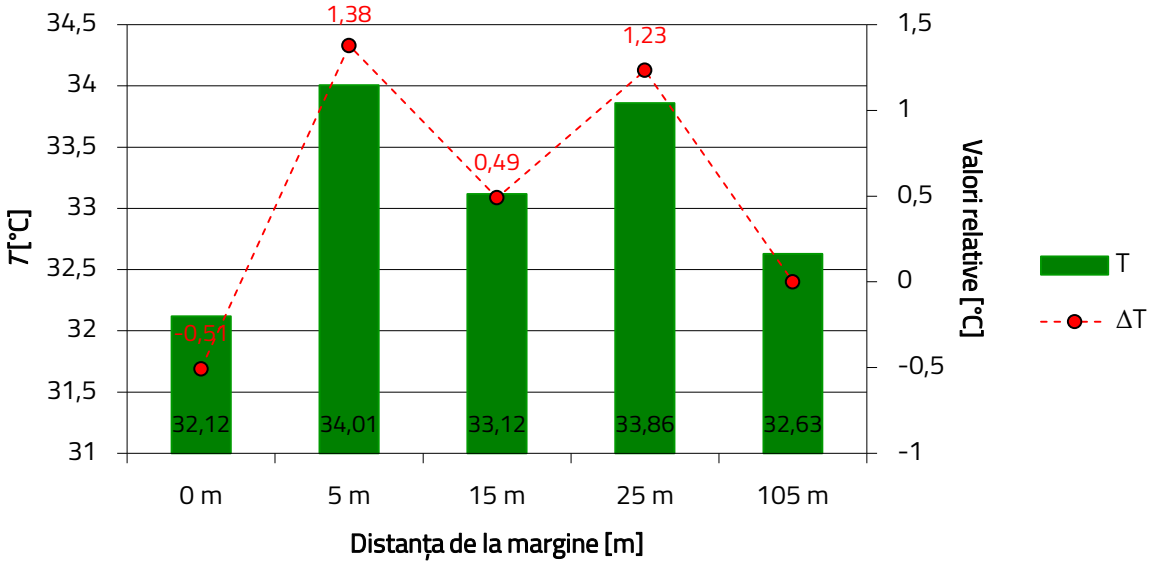
La marginea pădurii, variația pe verticală a umidității relative a aerului este caracterizată de valori mai mari la nivelul de 2 m comparativ cu nivelul de 0,1 m, pentru intervalul 19:00-10:00. Și în acest caz, în timpul nopții, diferențele au atins valori de peste 40%. Între orele 11:00-18:00, umiditatea relativă a aerului a avut valori mai mari la nivelul din apropierea solului față de nivelul de 2 m, dar cu diferențe maxime de 11%. În schimb, în interiorul pădurii, umiditatea relativă a aerului a fost pe tot parcursul zilei mai mare la înălțimea de 2 m comparativ cu înălțimea de 0,1 m. În cea mai mare parte din timp, diferențele nu au depășit valoarea de 10% între cele două niveluri.

4.3.3. Gradienți microclimatici

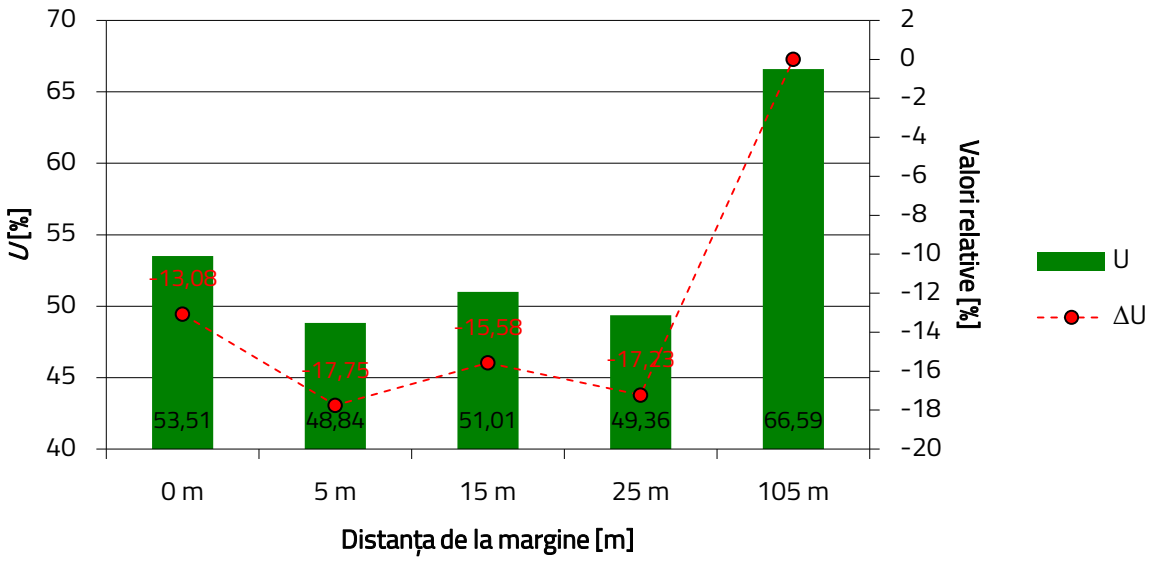
În **Figura 32** sunt prezentate modificările variabilelor microclimatice măsurate la nivelul de 2 m în perioada 1-5 august 2017, în raport cu distanța de la margine către interiorul pădurii (105 m), pentru intervalul orar 12:30-17:30. La nivelul de 2 m, atât temperatura, cât și umiditatea relativă a aerului au avut valori mai mici la margine față de interiorul pădurii. Cele mai proeminente diferențe față de interiorul pădurii s-au înregistrat în punctul de prelevare situat la distanța de 5 m, atingând valoarea de 1,38 °C în cazul temperaturii aerului și 17,75% în cazul umidității relative.

În cazul măsurătorilor efectuate la nivelul din apropierea solului (**Figura 33**), temperatura aerului a prezentat un trend ascendent de la margine către interior, cu excepția valorii înregistrate la distanța de 25 m, care a fost similară cu cea din interiorul pădurii. Acest lucru se regăsește și în variația umidității relative a aerului la nivelul de 0,1 m de la sol. În general, umiditatea a fost mai mare la margine comparativ cu orice distanță măsurată spre interiorul pădurii.

În cazul ambelor niveluri de prelevare, diferențele dintre punctele de prelevare din interiorul pădurii și punctele situate la diferite distanțe spre margine au fost semnficative (**Tabelul 5**). Excepție face punctul de prelevare situat la distanța de 25 m de la margine, la nivelul de 0,1 m, în care s-au înregistrat valori asemănătoare ale temperaturii și umidității relative ale aerului comparativ cu punctul de prelevare din interiorul pădurii (0,1 m).

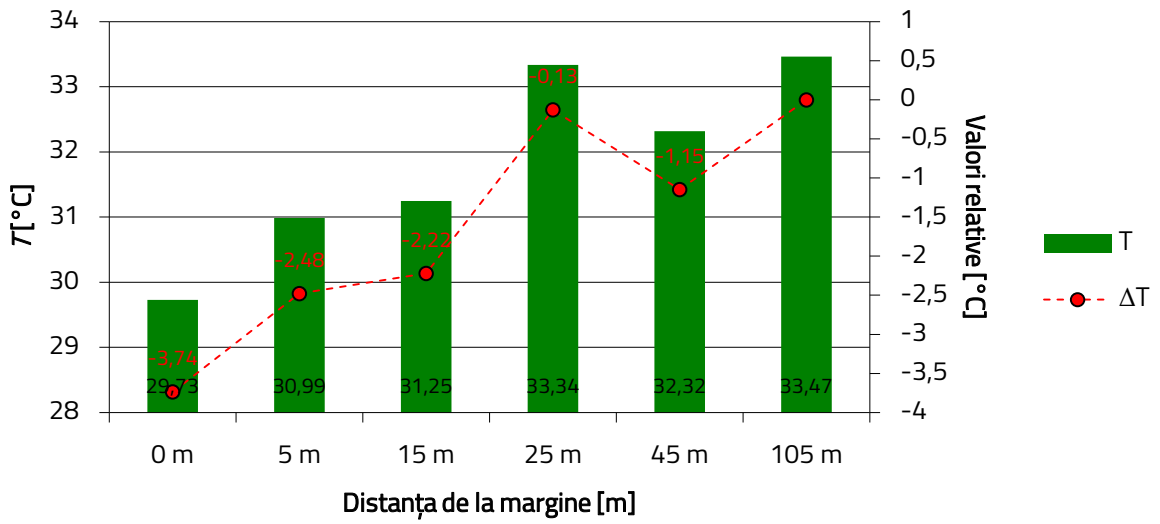


(a)

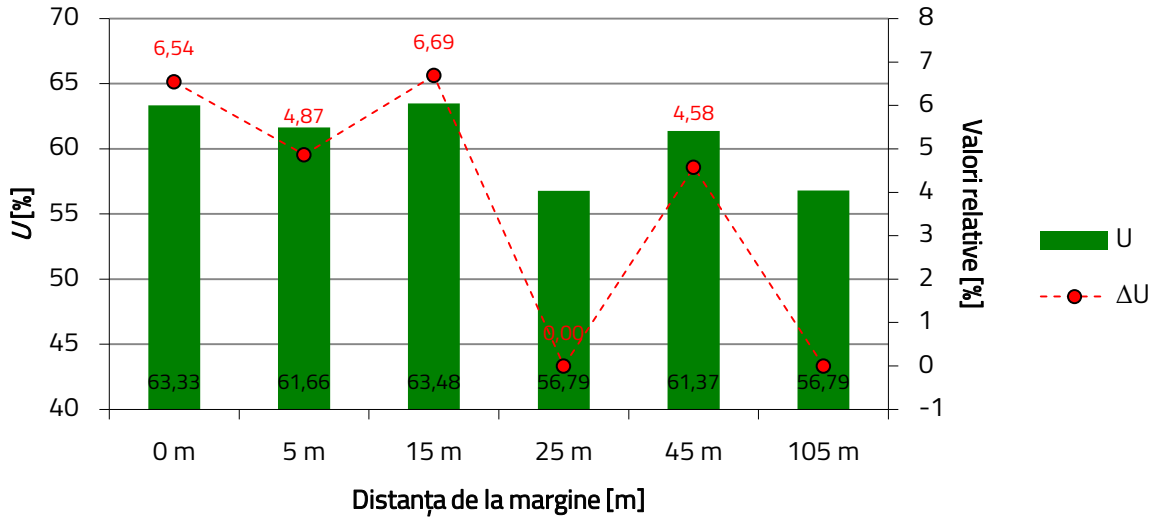


(b)

Figura 32. *Gradienți microclimatici în zona de câmpie (1-5 august 2017, 12:30-17:30): (a) - modificări ale temperaturii aerului (**T**, °C) la nivelul de 2 m, (b) - modificări ale umidității relative a aerului (**U**, %) la nivelul de 2 m*



(a)



(b)

Figura 33. *Gradienți microclimatici în zona de câmpie (1-5 august 2017, 12:30-17:30): (a) - modificări ale temperaturii aerului (**T**, °C) la nivelul de 0,1 m, (b) - modificări ale umidității relative a aerului (**U**, %) la nivelul de 0,1 m*

Tabelul 5. *Rezultatele testelor de comparație pentru variabilele climatice în perioada 1-5 august 2017 (α = 0,05, p < 0,05)*

Variabila climatică	Nivel (m)	0 m – 105 m		5 m – 105 m		15 m –105 m		25 m – 105 m		45 m-105 m	
		t	p	t	p	t	p	t	p	t	p
T [°C]	2	1,968	**< 0,05**	1,968	**< 0,05**	1,968	**< 0,05**	1,968	**< 0,05**	1,968	-
	0,1	1,968	**< 0,05**	1,968	**< 0,05**	1,968	**< 0,05**	1,968	0,652	1,968	**< 0,05**
U [%]	2	1,968	**< 0,05**	1,968	**< 0,05**	1,968	**< 0,05**	1,968	**< 0,05**	1,968	-
	0,1	1,968	**< 0,05**	1,968	**< 0,05**	1,968	**< 0,05**	1,968	0,997	1,968	**< 0,05**

4.3.4. Discuții și concluzii pentru zona de câmpie-luncă - Călărași

Este cunoscut faptul că optimul ecologic al plopului euramerican este caracterizat prin sezoane lungi de vegetație și temperaturi estivale ridicate (Șofletea și Curtu, 2008). Atât înregistrările multianuale de la cea mai apropiată stație meteorologică (temperatura medie estivală 22,1 °C), cât și datele măsurate pe parcursul studiului, arată faptul că arboretul luat în studiu se găsește în optimul ecologic, căldura nefiind un factor limitativ. În aceste condiții, se poate considera că plopii reacționează pozitiv, sub aspectul acumulării de biomasă, la creșterile de temperatură neexcesive (Seserman et al., 2018), dacă nu sunt influențati de alți factori limitativi. Având în vedere acest considerent, analizarea efectului de margine produs de drumurile forestiere prezintă un interes semnificativ.

Spre deosebire de majoritatea studiilor referitoare la efectul de margine care indică scăderea temperaturii aerului odată cu creșterea distanței față de marginea masivului (Schmidt et al., 2017), rezultatele obținute la Călărași arată că, pe măsura creșterii distanței față de drumul forestier, temperatura aerului prezintă tendințe crescătoare, iar umiditatea relativă, în general, scade, fenomen întâlnit în special în perioada verii și în mijlocul zilei. Rezultate similare s-au obținut totuși și în alte studii. De exemplu, există zone precum sud-estul Australiei, unde valorile temperaturii au fost mai ridicate în interiorul masivului decât la margine (Wright et al., 2010) sau sud-estul Braziliei, unde umiditatea a fost mai mare la margine (Dodonov et al., 2013). Cauzele modului de manifestare a efectului de margine în cazul locației Călărași pot fi diverse, începând cu particularitățile biometrice ale speciei şi caracteristicile plantației şi terminând cu influența corelată a celorlalți factori climatici (Doniță et al., 1977), cum ar fi umiditatea solului (influențată de nivelul apei freatice), radiația solară etc. Lumina este considerată ca fiind factorul primordial ce stă la baza variabilității microclimatului, în special în ceea ce privește temperatura și umiditatea relativă a aerului și umiditatea solului (Matlack, 1993).

În ceea ce privește gradientul vertical al factorilor microclimatici analizați, temperatura aerului măsurată la înălțimea de 2 m a fost în general mai mare decât cea măsurată la nivelul solului, în special la margine. Fenomenul poate fi explicat prin iluminarea superioară ce se înregistrează la nivelul de 2 m și prin umbrirea parțială a bazei arborilor (nivelul de 0,1 m) determinată de straturile compuse din arbuşti şi pătura erbacee. Diferențele de temperatură dintre cele două niveluri de prelevare au avut valori mai ridicate la margine, mai ales în mijlocul zilei, și s-au atenuat în interiorul pădurii. O explicație plauzibilă a diferențelor mai mari la marginea drumului este circulația mai facilă a aerului cald din mijlocul zilei, pe culoarul drumului. În interiorul plantației, circulația aerului fiind mai redusă, temperatura la cele două niveluri de măsurare tinde să se echilibreze. În contrast, într-un studiu condus în pădurile tropicale din Noua Zeelandă, amplitudinea gradientului vertical de temperatură a fost mai mare în interiorul pădurii comparativ cu marginea (Didham și Ewers, 2014). Umiditatea relativă a aerului a păstrat, în general, valori mai mari în stratul din apropierea solului, în special pe timpul zilei, acest fenomen putând fi cauzat de prezența razelor solare (Măciucă, 2006) la înălțimea de 2 m, ceea ce face ca umiditatea să fie mai scăzută. În același timp, umiditatea la nivelul solului este influențată în sens crescător și de evaporarea apei din sol, în special pe parcursul dimineții.

Din analizele efectuate, a rezultat în mod clar existența efectului de margine asupra temperaturii și umidității relative a aerului, evidențiat în special în intervalele luate în considerare din interiorul

sezonului de vegetație. Analiza a arătat diferențe semnificative de temperatură și umiditate între margine și interiorul plantației, atât la nivelul de 2 m, cât și la nivelul de 0,1 m de la sol. Pe singurul transect amplasat, odată cu creșterea distanței față de margine, variațiile de temperatură și umiditate de la un punct la altul au fost când pozitive, când negative, astfel că, în ciuda faptului că diferențele de temperatură și umiditate dintre punctele extreme (0 m și 105 m) au fost semnificative, nu este posibilă stabilirea cu precizie a distanței pe care se manifestă efectul de margine. Faptul că variația valorilor măsurate nu are același semn de la un punct de măsurare la altul (adică absența unui trend clar) indică faptul că temperatura și umiditatea aerului nu au fost influențate numai de distanța față de marginea drumului. Prezența drumului forestier influențează temperatura și umiditatea aerului pe măsura înaintării către interiorul masivului, dar e posibil ca și alți factori manifestați la nivel de punct de prelevare (de exemplu umbrire, circulația maselor de aer) să aibă o influență semnificativă. De asemenea, fenomenul descris poate fi determinat și de unele deficiențe ale metodei (inexistența mai multor transecte, acuratețea și precizia datelor etc.). La nivelul din apropierea solului, în zilele critice alese din luna septembrie, gradienții de temperatură și umiditate au urmărit un trend mai clar, ceea ce înseamnă că, dintre toți factorii care au influențat variația celor doi parametri amintiți, distanța a avut cea mai puternică influență și ceilalți factori au avut o influență mai mică.

În aceste condiții, și având în vedere considerentele de mai sus, este de presupus că arborii situați în vecinătatea drumului vor înregistra creșteri, atât în diametru, cât și în înălțime, mai reduse față de arborii din interiorul masivului, ceea ce poate constitui un aspect important, mai ales dacă luăm în considerare funcția principală a arboretului analizat - aceea de producție de masă lemnoasă. Desigur, se poate pune problema că arborii din interiorul masivului cresc în înălțime și datorită competiției pentru lumină (Florescu și Nicolescu, 1996), dar este discutabilă această influență în plantațiile de plop înființate la schemă largă, cum este și cazul celei studiate.

În cazul plantațiilor de plop hibrid, cu creșteri foarte active și ciclu scurt, existența unor diferențe de creștere ca cele descrise mai sus este de o mare importanță, de aceea determinarea distanței pe care se manifestă efectul de margine este, de asemenea, importantă. Pe baza măsurătorilor efectuate la Călărași, acest lucru nu a fost posibil, ceea ce înseamnă că este necesară efectuarea de cercetări suplimentare prin amplasarea unui număr mai mare de transecte (pentru a se elimina efectul factorilor ce acționează la nivelul arborelui individual) în condiții cât mai apropiate, dar cu măsurarea temperaturii și a umidității la intervale de distanță mai scurte. Aceste studii pot astfel să confirme efectul de margine, dar pot și determina distanța la care acesta se manifestă. Cuplate cu studiile ce măsoară dependența creșterii de factorii microclimatici, cercetările ar putea contribui astfel la estimarea (fiind vorba de plantații pe rânduri) eventualelor pierderi de creștere ce pot fi compensate prin alte măsuri ce pot însoți amplasarea drumului forestier.

CAPITOLUL 5. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR

5.1. Concluzii finale

Având în vedere obiectivele propuse, în cele ce urmează sunt conturate, succint, concluziile privind rezultatele obținute, sistematizate pe subcapitole. Astfel, s-au conturat următoarele aspecte:

i.) **În ceea ce privește caracterizarea modificărilor microclimatului din punct de vedere al temperaturii și umidității relative ale aerului la scară lunară:**

a.) În zona montană, temperatura aerului a fost în general mai mare lângă drumul forestier comparativ cu interiorul pădurii, în special în timpul zilei, în lunile de vară. Umiditatea relativă a aerului a înregistrat, în general, valori mai scăzute la marginea pădurii față de interior. Comparativ cu datele provenite de la stația meteorologică, temperatura aerului în zona de studiu a fost aproape întotdeauna mai mică, iar valorile umidității relative a aerului au fost în general mai mari. Cele mai proeminente diferențe între marginea și interiorul pădurii au fost înregistrate în luna august, în cazul temperaturii aerului (1,2 °C), respectiv în luna septembrie, în cazul umidității relative (10%);

b.) În zona de deal, atât temperaturile medii lunare, cât și umiditățile relative medii lunare, au înregistrat, în general, valori mai mari în interiorul pădurii comparativ cu marginea dinspre drumul forestier, dar diferențele au fost mai degrabă nesemnificative (mai mici de 0,5 °C și 2%). În comparație cu zona luată în studiu, la stația meteorologică, la scară zilnică, temperaturile medii au fost mai mari pe tot parcursul anului, în timp ce umiditatea aerului a fost întotdeauna mai mică (cu excepția lunii februarie);

c.) În zona de câmpie, la nivelul de prelevare de la 2 m, au existat diferențe mici (< 0,6 °C) de temperatură între marginea și interiorul pădurii, valorile mai ridicate fiind înregistrate, în general, la margine. În schimb, valorile temperaturii aerului înregistrate la nivelul de 0,1 m de la sol au fost întotdeuna mai mari în interiorul pădurii comparativ cu marginea. În general, în special în sezoanele de vară și toamnă, temperatura aerului a înregistrat valori mai mari la stația meteorologică comparativ cu zona studiului. În ceea ce privește umiditatea relativă, valorile mai ridicate au fost înregistrate în interiorul pădurii comparativ cu marginea, cu excepția lunii iunie, acest trend fiind observat atât la nivelul de 2 m, cât și la nivelul de deasupra solului. La stația meteorologică, umiditățile relative au fost întotdeauna mai mici față de interiorul pădurii, dar nu și de marginea pădurii.

ii.) **În ceea ce privește dinamica factorilor microclimatici la scară zilnică, pentru un interval de timp considerat critic din punct de vedere al incidenței radiației solare:**

a.) În zona montană, temperaturile medii mai mari la margine s-au menținut în timpul zilei, acest fenomen fiind inversat în timpul nopții. Punctele de inflexiune prezente în variația temperaturii aerului au fost identificate și în variația umidității relative, interiorul pădurii păstrând o umiditate mai mare pe timpul zilei comparativ cu marginea;

b.) În zona de deal, temperatura medie a aerului a fost mai mică la margine comparativ cu interiorul pădurii pe tot parcursul zilei. La marginea pădurii s-a înregistrat, în general, o umiditate relativă mai mare în intervalul 16:00-08:00, trendul fiind inversat pentru restul intervalului de timp;

c.) În zona de câmpie, temperatura aerului a prezentat tendințe crescătoare odată cu creșterea distanței de la margine, iar umiditatea relativă, în general, a scăzut, fenomen întâlnit în special în perioada verii și în mijlocul zilei. În ceea ce privește gradientul vertical al factorilor microclimatici analizați, temperatura aerului măsurată la înălțimea de 2 m a fost, în general, mai mare decât cea măsurată la nivelul solului, în special la marginea pădurii, iar umiditatea relativă a aerului a păstrat, în general, valori mai mari în stratul din apropierea solului, în special pe timpul zilei.

iii.) În ceea ce privește evaluarea gradienților microclimatici între interiorul pădurii și distanțele selectate față de marginea drumului forestier:

a.) În zona montană, în intervalul orar analizat, temperatura aerului a fost semnificativ mai mare la margine în comparație cu interiorul pădurii, iar trendul a fost inversat în cazul umidității relative. Schimbările semnificative ale temperaturii și umidității relative ale aerului, în intervalul orar considerat critic, au avut loc pe distanțe de până la 40 m, și respectiv 15 m, de la margine spre interiorul pădurii. Rezultatele obținute arată că prezența infrastructurii forestiere poate determina variații semnificative din punct de vedere statistic ale caracteristicilor microclimatice, fapt ce nu înseamnă, neapărat, că acestea vor conduce la modificări în ceea ce privește procesele interne specifice creșterii și dezvoltării ecosistemelor forestiere, dat fiind faptul că magnitudinea diferen elor a fost mică, respectiv manifestată pe perioadă scurtă;

b.) În zona de deal, analiza datelor a indicat faptul că nu există diferențe semnificative între valorile medii ale temperaturii și umidității aerului înregistrate la marginea, respectiv în interiorul pădurii. Deși nu au existat diferențe semnificative din punct de vedere statistic, s-a constatat un efect de descreștere al temperaturii aerului de la margine spre interior, iar umiditatea relativă a aerului a avut un trend crescător dinspre margine spre interior. Există totuși posibilitatea existenței efectului de margine generat de drumul forestier, a cărui identificare în studiul de față este posibil să fi fost influențată de prezența în zonă a două lacuri artificiale care, cel mai probabil, au influențat, în funcție de direcția vântului, temperatura și umiditatea înregistrate în punctele de prelevare de la margine;

c.) În zona de câmpie, în urma analizelor efectuate, au rezultat diferențe semnificative de temperatură și umiditate între marginea și interiorul plantației în cazul ambelor niveluri de prelevare, însă rezultatele nu permit stabilirea cu precizie a distanței pe care se manifestă efectul de margine. Temperatura aerului a avut un trend crescător de la margine spre interior, iar umiditatea relativă a înregistrat valorile cele mai ridicate în apropierea marginii. Studiile au fost efectuate într-o cultură de plop euramerican, caracterizată de creșteri active și aflată în optimul său ecologic. De aceea, este de presupus că efectul de margine determinat de prezența infrastructurii forestiere și descris în lucrare are implicații în ceea ce privește acumularea de biomasă. Având în vedere specificiul acestor plantații repede crescătoare de plop euramerican, lucrarea de față deschide calea elaborării unor recomandări practice privind influența efectului de margine produs de prezența drumurilor forestiere;

d.) În urma prelucrărilor efectuate, s-a constatat că în zona montană și în zona de câmpie există o influență a efectului de margine asupra gradienților microclimatici ai temperaturii și umidității aerului.

5.2. Contribuții originale

Prezentele cercetări completează cunoștințele la nivel internațional prin faptul că, pentru condițiile europene, există un număr relativ mic de studii pe tema abordată. În mod special, sunt puține studii care cuantifică efectul de margine în relația cu infrastructura de transport forestier. Rezultatele cercetărilor au permis caracterizarea variației temperaturii și umidității relative ale aerului în ecosisteme forestiere reprezentative, în raport cu distanța față de un drum forestier.

Principalele contribuții personale aduse prin cercetările ce stau la baza acestei lucrări sunt următoarele:

i) s-a studiat, din cunoștințele noastre, în premieră la nivel național, efectul de margine asupra microclimatului din punct de vedere al temperaturii și umidității aerului; în particular, cercetările au fost efectuate în raport cu infrastructura de transport forestier (printre foarte puținele astfel de cercetări la nivel internațional). Prin aceste studii, pe baza unui număr mare de observații, s-au evidențiat la nivel național și internațional, aspecte precum:
   - Modificările microclimatului din punct de vedere al temperaturii și umidității relative ale aerului, în diferite situații, la scară lunară, prin analiza diferențiată pe intervale zilnice, diurne și nocturne;
   - Evaluarea dinamicii factorilor microclimatici la scară zilnică, pentru un interval de timp relevant, considerat critic;
   - Cuantificarea și testarea diferențelor specifice gradienților microclimatici; rezultatele au permis, în multe situații, aproximarea distanței de manifestare a efectului de margine generat de drumurile forestiere;
ii) s-a pus în practică o metodă de măsurare a acestor efecte, cunoscută la nivel internațional, inclusiv conturarea unor recomandări privind îmbunătățirea aplicării metodei, rezultate din dificultățile întâmpinate; metoda este utilă nu numai în studiile privind efectul de margine, dar și în studiile privind efectele schimbărilor climatice;
iii) s-a studiat în premieră la nivel național și internațional, atât variația pe orizontală, cât și pe verticală, a gradienților microclimatici în culturi de plop euramerican;
iv) s-a dezvoltat un studiu ce are caracter internațional, cercetările fiind efectuate în ecosisteme reprezentative din România și din Republica Moldova;
v) s-au colectat înregistrări ale temperaturii și umidității relative ale aerului care acoperă perioade de aproximativ 1 an, în fiecare dintre cele 3 locații studiate, comparativ cu alte studii care sunt concentrate în special doar pe perioada sezonului de vară. Amploarea setului de date permite estimarea efectului de margine și în alte sezoane sau în alte intervale din zi sau noapte;
vi) ecosistemele analizate, în special în zona de munte, au un grad mare de reprezentativitate la nivelul întregului continent european, ceea ce constituie o contribuție importantă și originală;
vii) studiul a inclus drumuri pietruite caracterizate de diferite elemente geometrice, putând fi incluse în categoria drumurilor forestiere secundare şi a celor principale;
viii) cercetarea a realizat și împerecherea datelor din teren cu cele măsurate la cea mai apropiată stație meteorologică, ceea ce a permis și evidențierea efectelor moderatoare ale pădurii din punct de vedere microclimatic;

ix) lucrarea include primele încercări de interpretare a efectului de margine generat de drumurile forestiere din perspectiva structurii și proceselor specifice ecosistemelor forestiere; au fost prezentate posibilele implicații ale efectului de margine și au fost indentificate direcții de cercetare care să sprijine continuarea demersului până la găsirea celor mai bune recomandări privind luarea în considerare a efectului de margine la proiectarea rețelelor de transport forestier.

5.3. Diseminarea rezultatelor

A. Lucrări publicate în reviste BDI

1. **Tiță**, **G.C.**, Marcu, M.V., 2017. *Variația diametrului, a temperaturii și umidității relative a aerului într-o cultură tânără de plop euramerican*. Revista Pădurilor, nr. 4/2017, pp. 38-54.

2. **Tiță**, **G.C.**, Marcu, M.V., Sfeclă, V., Talmaci, I., 2019. *Evaluarea efectului de margine generat de drumuri forestiere, prin variabile microclimatice selectate, în păduri de foioase din zona deluroasă a Republicii Moldova*. Revista Pădurilor, nr. 1/2019, pp. 17-36.

B. Lucrări publicate în reviste indexate de Clarivate Analytics (fostul ISI Web of Science)

1. **Tiță**, **G.C.**, Marcu, M.V., Borz, S.A., Ignea, G., 2019. *Near the Forest Road: Small Changes in Air Temperature and Relative Humidity in Mixed Temperate Mountainous Forests*. Transportation Research Part D (74), 82-92, DOI: 10.1016/j.trd.2019.07.016.

C. Lucrări prezentate la conferințe și simpozioane internaționale

1. **Tiță**, **G.C.**, Marcu, M.V., 2017. *Edge effects in forest due to transportation infrastructure and operational management: a short review of drivers and responses.* Simpozionul internațional „Pădurea și dezvoltarea durabilă", Brașov 7-8 octombrie, 2016, pp. 127-132.

2. **Tiță**, **G.C.**, Marcu, M.V., 2017. *Modelling the tree growth response in relation to forest roads in poplar stands*. Simpozionul internațional FORMEC 2017, Brașov 25-29 septembrie, 2017, pp. 273.

DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Rezultatele prezentului studiu pun în evidență existența efectului de margine produs de infrastructura de transport forestier în ecosistemele analizate, din punct de vedere al temperaturii și umidității relative ale aerului. Având în vedere marea diversitate a condițiilor climatice și cunoștințele relativ sumare referitoare la efectul de margine, în general, și la efectul de margine determinat de drumurile forestiere, în particular, ar fi util să se evalueze influența efectului de margine și în alte ecosisteme de același tip, precum și în alte tipuri de ecosisteme. Pentru o viziune mai amplă asupra acestui fenomen, cercetările ar putea fi continuate prin evaluarea efectului de margine din punct de vedere a altor factori microclimatici precum radiația solară, vântul, temperatura și umiditatea solului. Metodologia utilizată în prezenta lucrare, dar și o parte din rezultate, ar putea fi foarte utile pentru cercetările ce urmăresc sporirea adaptării ecosistemelor forestiere la schimbările climatice.

Odată determinată influența infrastructurii forestiere asupra microclimatului, următorul pas ar fi determinarea modului în care microclimatul influențează procesele, funcțiile şi, nu în ultimul rând, structura şi distribuția ecosistemelor forestiere. O importanță practică și științifică ar constitui-o și descrierea modului în care modificarea factorilor de natură climatică, prin efectul de margine, influențează adaptabilitatea, creșterea şi dezvoltarea arborilor. Astfel de cercetări ar putea fi cuantificate în termeni economici și ar putea fi folosite la optimizarea proiectării rețelei de drumuri forestiere în concordanță cu particularitățile climatice ale regiunilor în care se studiază.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Agenția de Stat pentru Silvicultură „Moldsilva", 2016: *Rezervația Naturală de Stat „Plaiul Fagului"*, Ediția a 2-a. Editura Universul, Rădenii Vechi, Republica Moldova, 3-14, ISBN: 978-9975-47-122-0.
2. Allen, R.G., Walter, I.A., Elliot, R., Howell, T., Itenfisu, D., Jensen, M., 2005: *The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation*. Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers - Final Report.
3. ANM, 2008: *Clima României*. Editura Academiei Române, București, România, 365 p, ISBN 978-973-27-1674-8.
4. Arroyo-Rodríguez, V., Saldaña-Vásquez, R.A., Fahrig, L., Santos, B.A., 2017: *Does forest fragmentation cause an increase in forest temperature?* Ecological Research 32, 81–88, DOI: 10.1007/s11284-016-1411-6.
5. Baker, T.P., Jordan, G.J., Steel, E.A., Fountain-Jones, N.M., Wardlaw, T.J., Baker, S.C., 2014: *Microclimate through space and time: Microclimatic variation at the edge of regeneration forests over daily, yearly and decadal time scales*. Forest Ecology and Management 334, 174–184, DOI: 10.1007/s11284-016-1411-6.
6. Baker, T.P., Jordan, G.J., Baker, S.C., 2016: *Microclimatic edge effects in a recently harvested forest: Do remnant forest patches create the same impact as large forest areas?* Forest Ecology and Management 365, 128-136, DOI: 10.1016/j.foreco.2016.01.022.
7. Barry, R.G., 2008: *Mountain Weather and Climate*, 3rd ed. Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK, 24–108, ISBN 978-0-511-41367-4.
8. Benítez-López, A., Alkemade, R., Verweij, P.A., 2010: *The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis*. Biological Conservation 143, 1307-1316, DOI: 10.1016/j.biocon.2010.02.009.
9. Bereziuc, R., Alexandru, V., Olteanu, N., Pop, I., 1989: *Drumuri forestiere*. Editura Tehnică. Bucureşti, România, 11–14, ISBN
10. Borz, S.A., Bîrda, M., Ignea, G., Popa, B., Câmpu, V.R., Iordache, E., Derczeni, R., 2014: *Efficiency of a Woody 60 processor attached to a Mounty 4100 tower yarder when processing coniferous timber from thinning operations*. Annals of Forest Research 57(2), 333–345.
11. Cancino, J., 2005: *Modelling the edge effect in even-aged Monterey pine (Pinus radiata D. Don) stands*. Forest Ecology and Management, 210, 159-172, DOI:10.1016/j.foreco.2005.02.021.
12. Cerboncini, R.A.S., Roper, J.J., Passos, F.C., 2016: *Edge effects without habitat fragmentation? Small mammals and a railway in the Atlantic Forest of southern Brazil*. Oryx 50(3), 460-467, DOI: 10.1017/S0030605314001070.
13. Chen, J., Franklin, J.F., Spies, T.A., 1993: Contrasting microclimates among clearcut, edge, and interior of old-growth Douglas-fir forest. Agricultural and Forest Meteorology 63, 219-237.
14. Chen, J., Franklin, J.F., Spies, T.A., 1995: *Growing-season microclimatic gradients from clearcut edges into old-growth Douglas-fir forests*. Ecological Applications 5(1), 74–86, DOI: 10.2307/1942053.
15. Ciolan, E., Cicort-Lucaciu, A.Ș., Sas-Kovács, I., Ferenți, S., Covaciu-Marcov, S.D., 2017: Wooded area, forest road-killed animals: *Intensity and seasonal differences of road mortality on a small, newly upgraded road in western Romania*. Transportation Research Part D 55, 12-20, DOI: 10.1016/j.trd.2017.06.014.
16. Coffin, A.W., 2007: *From roadkill to road ecology: a review of ecological effects of roads*. Journal of Transport Geography 15, 396–406, DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006.

17. Davies-Colley, R.J., Payne, G.W., van Elswijk, M., 2000: *Microclimate gradients across a forest edge*. New Zealand Journal of Ecology 24(2), 111–121.
18. Delgado J.D., Arroyo N.L., Arevalo J.R., Fernandez-Palacios J.M., 2007: *Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary Islands)*. Landscape and Urban Planning, 81, 328–340, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2007.01.005.
19. Demir, M., 2012: *Interactions of Forest Road, Forest Harvesting and Forest Ecosystems*. In Blanco, J.A., Lo, Y.H. (Eds.), Forest Ecosystems-More than Just Trees, IntechOpen, 416–432, DOI: 10.5772/30121.
20. Denyer, K., Burns, B., Ogden, J., 2006: *Buffering of native forest edge microclimate by adjoining tree plantations*. Austral Ecology 31, 478–489, DOI: 10.1111/j.1442-9993.2006.01609.x.
21. Didham, R.K., Ewers, R.M., 2014: *Edge effects disrupt vertical stratification of microclimate in a temperate forest canopy*. Pacific Science 68 (4), 493–508, DOI: 10.2984/68.4.4.
22. Dignan, P., Bren, L., 2003: *A study of the effect of logging on the understorey light environment in riparian buffer strips in a south-east Australian forest*. Forest Ecology and Management 172, 161–172, DOI: 10.1016/S0378-1127(01)00810-6.
23. Dodonov, P., Harper, K.A., Silva-Matos, D.M., 2013: *The role of edge contrast and forest structure in edge influence: vegetation and microclimate at edges in the Brazilian cerrado.* Plant Ecology 214, 1345–1359, DOI: 10.1007/s11258-013-0256-0.
24. Doniță, N., Ceianu, I., Purcelean., Șt., Beldie, A., 1977. Ecologie forestieră. Editura Ceres, București, România, 80-122.
25. Dovčiak, M., Brown, J., 2014: *Secondary edge effects in regenerating forest landscapes: vegetation and microclimate patterns and their implications for management and conservation*. New Forests 45, 733–744, DOI: 10.1007/s11056-014-9419-7.
26. Extech ® RTH 10 User Guide. Disponibil online la: http://www.extech.com/resources/RHT10_UM-en.pdf.
27. Florescu, I.I., Nicolescu, N.V., 1996: *Silvicultura Vol. I Studiul Pădurii*. Editura Lux Libris, Brașov, România, 49-92, ISBN: 973-97794-9-2.
28. Forman, R.T.T., Alexander, L.E., 1998: *Roads and their major ecological effects*. Annual Review of Ecology and Systematics 29, 207–231, DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207.
29. Heinimann, H.R., 1998: *A computer model to differentiate skidder and cable-yarder based road network concepts on steep slopes*. Journal of Forest Research, 3, 1-9, DOI: 10.1007/BF02760286.
30. Heithecker, T.D., Halpern, C.B., 2007: *Edge-related gradients in microclimate in forest aggregates following structural retention harvests in western Washington*. Forest Ecology and Management 248, 163-173, DOI: 10.1016/j.foreco.2007.05.003.
31. Jourgholami, M., Abdi, E., Chung, W., 2013: *Decision making in forest road planning considering both skidding and road costs: a case study in the Hyrcanian Forest in Iran*. iForest 6, 59–64, DOI: 10.3832/efor0640-006.
32. Jung, S.J., Lee, C.M., Kwon, T.S., 2013: *Effects of Forest Roads on Hemipteran Diversity in Mt. Gariwang, Korea Test of Intermediate Disturbance Hypothesis*. Journal of Asia-Pacific Biodiversity 6 (2), 239-248, DOI: 10.7229/jkn.2013.6.2.239.
33. Kunert, N., Teóphilo Aparecido, L.M., Higuchi, N., dos Santos, J., Trumbore, S., 2015: *Higher tree transpiration due to road-associated edge effects in a tropical moist lowland forest*. Agricultural and Forest Meteorology, 213, 183-192, DOI: 10.1016/jagrformet.2015.06.009.

34. Laurance, W.F., 2004: *Forest–climate interactions in fragmented tropical landscapes*. Philosophical transactions of the Royal Society of London B 359, 345-352, DOI: 10.1098/rstb.2003.1430.
35. Li, Y., Kang, W., Han, Y., Song, Y., 2018: *Spatial and temporal patterns of microclimates at an urban forest edge and their management implications*. Environmental Monitoring and Assessment 190(93), 13 p, DOI: 10.1007/s10661-017-6430-4.
36. Liao, X., Liu, Z., Wang, Y., Jin, J., 2013: *Spatiotemporal variation in the microclimatic edge effect between wetland and farmland.* Journal of Geophysical Research Atmospheres 118, 7640–7650, DOI: 10.1002/jgrd.50573.
37. Marcu, M., 1983: *Meteorologie și climatologie forestieră.* Editura Ceres, București, România, 238 p.
38. Marcu, M., Marcu, V., 1998: *Meteorologie și climatologie forestieră*. Editura Universității Transilvania din Braşov, Braşov, România, 143-148.
39. Matlack, G. R., 1993: *Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States*. Biological Conservation 66(3), 185–194, DOI: 10.1016/0006-3207(93)90004-k.
40. Mattsson, J.O., 1979: *Introduktion till Mikro-och LokalKlimatologin*. Liber Läromedel, Malmö, Sweden.
41. Maxim, V., Puțuntică, A., 2010: *Factorii climatici și rețeaua de transport*. În: GEOREVIEW: Scientific Annals of „Ștefan cel Mare" University, Mîndrescu M., „Ștefan cel Mare" University Press, Suceava, România, 19 (1), 59-67, e-ISSN: 2343 - 7391 , DOI: 10.4316/GEOREVIEW.2010.19.1.45.
42. Măciucă, A., 2006: *Îndrumar teoretic și practic de ecologie generală și aplicată.* Editura Universității „Ştefan cel Mare", Suceava, România, 190-226.
43. Messaoud, Y., Chen, H.Y.H., 2011: *The influence of recent climate change on tree height growth differs with species and spatial environment*. PLoS ONE. 6(2), e14691, DOI: 10.1371/journal.pone.0014691.
44. MM, 2011: *Normativ privind proiectarea drumurilor forestiere PD 003-11*.Ministerul Mediului, București, România. Disponibil online la: http://apepaduri.gov.ro/wp-content/uploads/2014/07/Normativ-proiectare-drumuri-forest.pdf).
45. Niemi, H., 2013: *A small-scale study of microclimatic effects on vegetation changes in tundra ecosystems*. Degree of Bachelor of Science with a major in Geography. University of Gothenburg, Göteborg.
46. Norton, D.A., 2002: *Edge effects in a lowland temperate New Zealand rainforest*. În: DOC Science Internal Series, Mackenzie I., DOC Science Publishing, Science & Research Unit, Wellington, Noua Zeelandă, 27, 33p, ISBN – 0-478-22195-9.
47. Olteanu, N., 2008: *Drumuri Forestiere. Vol. 2: Construcția, întreținerea și repararea drumurilor forestiere*. Editura Universității Transilvania din Braşov, Braşov, România, ISBN 9789735983338.
48. Pohlman C.L., Turton S.M., Goosem M., 2007: *Edge Effects of Linear Canopy Openings on Tropical Rain Forest Understory Microclimate*. Biotropica, 39(1), 62-71, DOI: 10.1111/j.1744-7429.2006.00238.x.
49. Popovici, V., Bereziuc, R., Clinciu, I., 2003: *Extinderea rețelei de drumuri pentru accesibilizarea fondului forestier și, în general, a pădurii*. Bucovina forestieră XI (2), 36–40.
50. Programul Națiunilor Unite pentru Dezvoltare (PNUD), 2009/2010: Schimbările climatice în Republica Moldova. Impactul socio-economic și opțiunile de politici pentru adaptare. Disponibil online la: http://hdr.undp.org/sites/default/files/nhdr_moldova_2009-10_rom.pdf
51. RPLP Săcele, 2008: *Amenajamentul U.P VIII Gîrcin*. Regia Publică Locală a Pădurilor Săcele R.A., Brașov

52. Ryan, M.G., 2010. *Temperature and tree growth*. Tree Physiology 30, 667–668, DOI: 10.1093/treephys/tpq033.
53. Schmidt, M., Jochheim, H., Kersebaum, K.C., Lischeid, G., Nendel, C., 2017: *Gradients of microclimate, carbon and nitrogen in transition zones of fragmented landscapes - a review*. Agricultural and Forest Meteorology 232, 659–671, DOI: 10.1016/j.agrformet.2016.10.022.
54. Seserman, D.M., Pohle, I., Veste, M., Freese, D., 2018: *Simulating Climate Change Impacts on Hybrid-Poplar and Black Locust Short Rotation Coppices.* Forests 9 (7), 419, DOI: 10.3390/f9070419.
55. Şofletea, N., Curtu, L., 2008: *Dendrologie* Ediția a doua. Editura „Pentru Viață", Braşov, România, 22, 47, 139, 335-336, ISBN 978-973-85874-4-1.
56. The World Bank, 2010: *The Republic of Moldova- Climate change and agriculture country note.* Disponibil online la: http://siteresources.worldbank.org/ECAEXT/Resources/258598-1277305872360/7190152-1303416376314/moldovacountrynote.pdf
57. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., 2017: *Variația diametrului, a temperaturii și umidității relative a aerului într-o cultură tânără de plop euramerican*. Revista Pădurilor 4/2017, 38-54.
58. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., 2017: *Edge effects in forest due to transportation infrastructure and operational management: a short review of drivers and responses*. Proceedings of the Biennial International Symposium Forest and sustainable development, Brașov, 7-8th October 2016, 127-132.
59. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., Sfeclă, V., Talmaci, I., 2019. *Evaluarea efectului de margine generat de drumuri forestiere, prin variabile microclimatice selectate, în păduri de foioase din zona deluroasă a Republicii Moldova*. Revista Pădurilor 1/2019, 17-36.
60. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., Borz, S.A., Ignea, G., 2019. *Near the Forest Road: Small Changes in Air Temperature and Relative Humidity in Mixed Temperate Mountainous Forests*. Transportation Research Part D (74), 82-92, DOI: 10.1016/j.trd.2019.07.016.
61. Vitali, V., Brang, P., Cherubini, P., Zingg, A., Simeonova Nikolova, P., 2016: *Radial growth changes in Norway spruce montane and subalpine forests after strip cuttings in the Swiss Alps*. Forest Ecology and Management, 364, 145-153, DOI: 10.1016/j.foreco.2016.01.015.
62. Way, D.A., Oren, R., 2010: *Differential responses to changes in growth temperature between trees from different functional groups and biomes: a review and synthesis of data.* Tree Physiology 30, 669–688, DOI: 10.1093/treephys/tpq015.
63. Wicklein, H.F., Christopher, D., Carter, M.E., Smith, B.H., 2012: *Edge effects on sapling characteristics and microclimate in a small temperate deciduous forest fragment*. Natural Areas Journal 32, 110–116, DOI: 10.3375/043.032.0113
64. Wright T.E., Kasel S., Tausz M., Bennett L.T., 2010: *Edge microclimate of temperate woodlands affected by adjoining land use.* Agricultural and Forest Meteorology, 150, 1138–1146, DOI: 10.1016/j.agrformet.2010.04.016.
65. www.rp5.ru. Disponibil online la: https://rp5.ru/Weather_archive (accesat în 10.06.2018)
66. www.vvse.com. Disponibil online la: https://www.vvse.com/products/en/lunasolcal.html (accesat în 21.06.2018)

Scurt rezumat

Cercetările efectuate în cadrul prezentei teze de doctorat au vizat analizarea efectului pe care îl determină drumurile forestiere asupra microclimatului (temperatura și umiditatea relativă a aerului) ce caracterizează ecosistemele forestiere învecinate. Astfel de cercetări sunt importante pentru elaborarea unor recomandări temeinice privind amplasarea infrastructurii de transport forestier, în așa fel încât efectul negativ asupra ecosistemelor forestiere să fie minimizat. În vederea îndeplinirii scopului cercetărilor, au fost efectuate măsurători în trei tipuri de ecosisteme forestiere, care au condus la caracterizarea și evaluarea modificărilor parametrilor climatici analizați. Analiza s-a bazat pe monitorizarea parametrilor climatici la marginea și în interiorul pădurii, la diferite distanțe de drum, pe o perioadă de aproximativ un an, urmată de compararea rezultatelor cu datele provenite de la cele mai apropiate stații meteorologice din sistemul național. Rezultatele obținute confirmă teoria conform căreia temperatura aerului este mai mare în teren descoperit și umiditatea relativă a aerului mai mică comparativ cu mediul forestier. De asemenea, a fost dovedit faptul că există o influență a efectului de margine asupra gradienților de temperatură și umiditate relativă a aerului, în zonele de munte și câmpie-luncă. Aceste rezultate constituie primii pași în cadrul unei arii noi și importante de cercetare, care poate contribui la atingerea obiectivului de optimizare a amplasării infrastructurii de transport forestier din perspectiva efectului de margine al acesteia asupra structurii și funcționalității ecosistemelor forestiere.

Short abstract

The research of the present PhD thesis has focused on analyzing the effect of forest roads on the microclimate of neighboring forest ecosystems (temperature and air humidity). This kind of research is important because it helps elaborating sound recommendations for forest transport infrastructure planning and design aiming to minimize the negative impact on forest ecosystems. To reach the aim of this research, measurements were carried out in three types of forest ecosystems, to evaluate and describe the changes in the values of the analyzed climatic parameters. The assessment was based on monitoring the climate parameters both at the forest edge and in the forest interior, at different distances from the road, for a period of approximately one year, followed by comparisons with the same climate parameters measured at the closest meteorological station from the national system. The research results confirm the fact that air temperature is higher and the humidity is lower at the edge compared to forest interior. At the same time, the research proved that there is a forest road edge effect on the temperature and humidity gradients in the mountain and plain-meadows areas. These results stand for the first steps in a new and important research area which has the potential to contribute to the aim of optimizing planning and design of the forest roads infrastructure, from the perspective of its edge effects on the forest ecosystems structure and functionality.

CURRICULUM VITAE

1. **Nume:** TIȚĂ
2. **Prenume:** GABRIELA-CODRINA
3. **Adresa de e-mail:** tita.gabriela.codrina@unitbv.ro,
4. **Studii:** superioare

Instituția	Universitatea Transilvania din Brașov Facultatea de Silvicultură și Exploatări Forestiere	Universitatea Transilvania din Brașov Facultatea de Silvicultură și Exploatări Forestiere	Liceul Teoretic „Spiru Haret" Moinești Profilul Matematică-Informatică
Perioada	2013-2015	2009-2013	2005-2009
Grade sau diplome obținute	Diplomă de studii aprofundate	Inginer geodez	Diplomă de bacalaureat

5. **Experiența profesională și didactică:**

Instituția	Universitatea Transilvania din Brașov Facultatea de Silvicultură și Exploatări Forestiere	S.C. Gis-Services T.D. S.R.L.
Perioada	2015-prezent	2013-2015
Funcția	Student doctorand	Inginer geodez

6. **Limbi străine cunoscute:** engleză, spaniolă
7. **Lucrări publicate în reviste de specialitate:**

1. **Tiță, G.C.**, 2015. Oferta de sisteme de încălzire cu biocombustibili lemnoşi din România-analiza principalilor parametri. Revista Pădurilor, nr. 3-4/2015, pp. 89-97.
2. Vișan, J., Niță, M.D., Derczeni, R.A., **Tiță, G.C.**, Fornea, M., Apăfăian, I.A., Borz, S.A., 2015. Evaluarea eficienței la colectarea de date prin măsurători GPS în aplicații de dezvoltare și actualizare a unui sistem informatic de gestiune a rețelei de transport auto forestier. Revista Pădurilor, nr. 5-6/2015, pp. 50-65.
3. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., 2017. Edge effects in forest due to transportation infrastructure and operational management: a short review of drivers and responses. Simpozionul internațional „Pădurea și dezvoltarea durabilă", Brașov 7-8 octombrie, 2016, pp. 127-132.
4. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., 2017. Variația diametrului, a temperaturii și umidității relative a aerului într-o cultură tânără de plop euramerican. Revista Pădurilor, nr. 4/2017, pp. 38-54.
5. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., 2017. Modelling the tree growth response in relation to forest roads in poplar stands. Simpozionul internațional FORMEC 2017, Brașov 25-29 septembrie, 2017, pp. 273.
6. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., Sfeclă, V., Talmaci, I., 2019. Evaluarea efectului de margine generat de drumuri forestiere, prin variabile microclimatice selectate, în păduri de foioase din zona deluroasă a Republicii Moldova. Revista Pădurilor, nr. 1/2019, pp. 17-36.
7. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., Borz, S.A., Ignea, G., 2019. Near the Forest Road: Small Changes in Air Temperature and Relative Humidity in Mixed Temperate Mountainous Forests. Transportation Research Part D (74), 82-92, DOI: 10.1016/j.trd.2019.07.016.

CURRICULUM VITAE

1. **Surname:** TIȚĂ
2. **First name:** GABRIELA-CODRINA
3. **E-mail:** tita.gabriela.codrina@unitbv.ro,
4. **Studies:**

Institution	Transilvania University of Brașov Faculty of Silviculture and Forest Engineering	Transilvania University of Brașov Faculty of Silviculture and Forest Engineering	„Spiru Haret" High School Moinești Math-Informatics
Period	2013-2015	2009-2013	2005-2009
Degree(s) or Diploma(s)	Master Degree	Bachelor degree	High School Diploma

5. **Professional experience record:**

Institution	Transilvania University of Brașov Faculty of Silviculture and Forest Engineering	S.C. Gis-Services T.D. S.R.L.
Period	2015-present	2013-2015
Position	PhD student	Geodesic Engineer

6. **Language skills: english, spanish**
7. **Publications:**

1. **Tiță, G.C.**, 2015. Oferta de sisteme de încălzire cu biocombustibili lemnoşi din România-analiza principalilor parametri. Revista Pădurilor, nr. 3-4/2015, pp. 89-97.
2. Vișan, J., Niță, M.D., Derczeni, R.A., **Tiță, G.C.**, Fornea, M., Apăfăian, I.A., Borz, S.A., 2015. Evaluarea eficienței la colectarea de date prin măsurători GPS în aplicații de dezvoltare și actualizare a unui sistem informatic de gestiune a rețelei de transport auto forestier. Revista Pădurilor, nr. 5-6/2015, pp. 50-65.
3. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., 2017. Edge effects in forest due to transportation infrastructure and operational management: a short review of drivers and responses. Simpozionul internațional „Pădurea și dezvoltarea durabilă", Brașov 7-8 octombrie, 2016, pp. 127-132.
4. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., 2017. Variația diametrului, a temperaturii și umidității relative a aerului într-o cultură tânără de plop euramerican. Revista Pădurilor, nr. 4/2017, pp. 38-54.
5. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., 2017. Modelling the tree growth response in relation to forest roads in poplar stands. Simpozionul internațional FORMEC 2017, Brașov 25-29 septembrie, 2017, pp. 273.
6. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., Sfeclă, V., Talmaci, I., 2019. Evaluarea efectului de margine generat de drumuri forestiere, prin variabile microclimatice selectate, în păduri de foioase din zona deluroasă a Republicii Moldova. Revista Pădurilor, nr. 1/2019, pp. 17-36.
7. **Tiță, G.C.**, Marcu, M.V., Borz, S.A., Ignea, G., 2019. Near the Forest Road: Small Changes in Air Temperature and Relative Humidity in Mixed Temperate Mountainous Forests. Transportation Research Part D (74), 82-92, DOI: 10.1016/j.trd.2019.07.016.