



Universitatea Babeş-Bolyai

Facultatea de Ştiinţa Şi Ingineria Mediului, Cluj-Napoca

**Influenţa radiaţiilor solare asupra
evoluţiei caracteristicilor climatice în
arealul municipiului Cluj-Napoca Şi
împrejurimi**

Rezumatul tezei de doctorat

Conducător ştiinţific

Doctorand

Prof. Univ. Dr. Constantin COSMA

Sandu-Valer TAHÂŞ

Cluj-Napoca, 2011

Cuprins

INTRODUCERE	6
CAPITOLUL 1. Istoricul dezvoltării oraşului și a observațiilor climatice la Cluj-Napoca	13
1.1 Scurt istoric al dezvoltării oraşului Cluj-Napoca	13
1.2 Istoricul observațiilor și a cercetărilor climatologice.....	22
CAPITOLUL 2. Factorii genetici ai climei în arealul oraşului Cluj-Napoca	30
2.1 Factorii radiativi	30
2.1.1 Radiația solară directă.....	35
2.1.1.1 Intensitatea radiației	35
2.1.1.2 Insolația pe o suprafață orizontală.....	41
2.1.2 Radiația solară difuză.....	44
2.1.3 Radiația solară totală (globală)	45
2.1.3.1 Intensitatea radiației	45
2.1.3.2 Cantitatea de energie radiantă	51
2.1.3.3 Repartiția teritorială a radiației solare totale în zona oraşului Cluj-Napoca.....	55
2.1.4 Durata de strălucire a Soarelui (Orele de strălucire solară)	58
2.2 Factorii dinamici	61
2.2.1 Circulația generală a atmosferei.....	61

2.2.1.1	Circulația zonală (vestică).....	61
2.2.1.2	Circulația polară	63
2.2.1.3	Circulația tropicală	64
2.2.1.4	Circulația de blocare (blocaj)	65
2.2.2	Centrii barici de acțiune	66
2.2.2.1	Centrii barici principali	67
2.2.2.2	Centrii barici secundari	68
2.3	Factorii geografici	71
2.3.1	Relieful	72
2.3.3.1	Zona dealurilor înalte	73
2.3.3.2	Zona colinelor periferice Someșeni-Apahida și Dezmir.....	75
2.3.3.3	Zona culoarului depresionar Someș-Nadăș.....	75
2.3.2	Rețeaua hidrografică	78
2.3.3	Solurile	80
2.3.4	Vegetația	82
2.3.5	Suprafața orașului.....	86
CAPITOLUL 3.	Caracteristici climatice	89
3.1	Temperatura aerului.....	92
3.1.1	Temperatura medie anuală	92
3.1.1.1	Evoluția temperaturii aerului.....	94
3.1.1.2	Abaterile temperaturilor medii anuale față de media multianuală	96
3.1.2	Temperatura medie lunară.....	105
3.1.2.1	Evoluția temperaturilor medii lunare	105
3.1.2.2	Variațiile anuale neperiodice ale temperaturilor medii lunare.....	109
3.1.3	Repartiția temperaturii pe verticală.....	113
3.1.3.1	Inversiunile de temperatură.....	113
3.1.3.2	Condițiile de vreme și inversiunile	114
3.1.4	Concluzii	115

3.2	Umiditatea aerului	116
3.2.1	Umiditatea relativă	116
3.2.1.1	Evoluția anuală a umidității relative	117
3.2.2	Umiditatea absolută.....	119
3.2.2.1	Evoluția anuală a umidității absolute	120
3.3	Nebulozitatea și durata de strălucire a Soarelui	123
3.3.1	Norii	123
3.3.1.1	Evoluția anuală a nebulozității	124
3.3.2	Durata de strălucire a Soarelui	126
3.3.3	Importanța nebulozității și a gradului de strălucire a Soarelui.....	128
3.4	Precipitațiile atmosferice	130
3.4.1	Cantitățile medii anuale ale precipitațiilor și evoluția lor multianuală....	130
3.4.2	Cantitățile sezoniere de precipitații și variabilitatea lor în timp	135
3.4.3	Cantitățile lunare de precipitații și evoluția lor anuală.....	136
3.4.4	Cantitățile maxime și minime absolute lunare de precipitații	139
3.4.5	Cantitățile decadale de precipitații și evoluția lor anuală.....	140
3.4.6	Repartiția teritorială a precipitațiilor atmosferice în zona municipiului Cluj-Napoca și împrejurimi	142
3.4.7	Concluzii	143
3.5	Presiunea atmosferică	145

CAPITOLUL 4. Influența radiațiilor solare asupra evoluției principalelor caracteristici climatice în arealul municipiului

	Cluj-Napoca.....	148
4.1	Radiațiile solare. Prezentare generală.....	148
4.2	Evoluția tendinței radiației solare globale la Cluj-Napoca pentru perioada 1921-2009	154
4.2.1	Introducere	154
4.2.2	Localizarea zonei de studiu.....	155
4.2.3	Date și metode de lucru.....	156
4.2.4	Rezultate și discuții	160
4.2.4.1	Tendințele anuale ale radiației solare globale	160
4.2.4.2	Tendințele sezoniere ale radiației solare globale	162
4.2.4.3	Testul Runs (Runs Test).....	163
4.3	Radiațiile solare și temperatura.....	166
4.3.1	Introducere	167
4.3.2	Date și metodologia de lucru.....	169
4.3.3	Rezultate și discuții	173
4.3.3.1	Testele de omogenitate.....	173
4.3.3.2	Analiza tendințelor radiației solare globale, duratei de strălucire solară și temperaturii.....	178
4.3.3.3	Testul Runs (Runs Test).....	186
4.3.3.4	Curbele cumulative ale anomaliilor standardizate de radiație solară globală și temperatură.....	188
4.3.3.5	Corelația dintre radiația solară și temperatură	190

4.4 Radiațiile solare și precipitațiile	193
4.4.1 Introducere	194
4.4.2 Date și metodologia de lucru.....	195
4.4.3 Rezultate și discuții	197
4.4.3.1 Testele de omogenitate.....	197
4.4.3.2 Analiza tendințelor radiației solare globale, duratei de strălucire solară și precipitațiilor.....	198
4.4.3.3 Testul Runs (Runs Test).....	203
4.4.3.4 Curbele cumulative ale anomaliilor standardizate de radiație solară globală și precipitații	205
4.4.3.5 Corelația dintre radiația solară și precipitații	207
 CAPITOLUL 5. Concluzii	209
 BIBLIOGRAFIE.....	213
 Anexa 1. Valorile lunare și anuale ale radiației solare globale la Cluj-Napoca (1921-2009)	229
Anexa 2. Valorile lunare și anuale ale duratei de strălucire solară la Cluj-Napoca (1921-2009)	232
Anexa 3. Valorile medii lunare și anuale ale temperaturii aerului la Cluj-Napoca (1921-2009)	235
Anexa 4. Cantitățile lunare și anuale de precipitații la Cluj-Napoca (1921-2009).....	238
Anexa 5. Valorile medii lunare și anuale ale temperaturii aerului la Cluj-Napoca (1881-2009).....	241
Anexa 6. Cantitățile lunare și anuale de precipitații la	

Cluj-Napoca (1866-2009).....	244
LISTA DE LUCRĂRI.....	248

CUVINTE CHEIE: radiația solară globală, temperatura, cantitățile de precipitații, ecuația lui Ångström-Prescott, evoluția celor trei variabile (radiație solară globală, temperatură și precipitații), testele de omogenitate, testul Runs, curbele cumulative ale anomaliilor standardizate, Corelația lui Pearson.

Introducere

Pentru înțelegerea gradului de modificare al climatului din perimetrul orașului și cunoașterea tendințelor actuale ale radiației solare globale, duratei de strălucire solară, temperaturilor și precipitațiilor (principalele caracteristici climatice care au fost luate în calcul în acest studiu), cercetările întreprinse cuprind atât condițiile generale de climă ale zonei în care este situat orașul Cluj-Napoca, cât și condițiile climatice specifice perimetrului orașului.

Analiza factorilor și a elementelor climatice, respectiv radiația solară globală, numărul de ore de strălucire solară (durata de strălucire solară), temperatura, precipitațiile, umiditatea și presiunea, s-a făcut pe baza datelor anuale și lunare luate din Anuarele Meteorologice ale Bibliotecii Facultății de Geografie din Cluj-Napoca și de pe site-ul de la NCDC-NOAA (National Climatic Data Center – National Oceanic and Atmospheric Administration), <http://www7.ncdc.noaa.gov/IPS/mcdw/mcdw.html>, la secțiunea “Monthly Climatic Data for the World (MCDW)”.

În această lucrare, accentul se pune pe studiul valorilor medii ale radiației solare globale, duratei de strălucire solară, temperaturii și cantității de precipitații din regiunea analizată (arealul orașului Cluj-Napoca).

Intensitatea radiației solare (forțarea radiativă) modifică încălzirea, iar la suprafața Pământului aceasta afectează direct evaporarea, precum și ușor încălzirea. În plus, creșterea temperaturii tinde să crească evaporarea, ceea ce duce la o creștere mai mare a cantității de precipitații (Solomon et al., 2007). La nivel global, nu a existat o tendință generală semnificativă din punct de vedere statistic de creștere a cantităților de precipitații pe parcursul secolului trecut, deși tendințele au variat foarte mult în funcție de regiune și de-a lungul timpului.

Temperaturile analizate generează, uneori, fenomene climatice de risc prin valorile foarte ridicate sau foarte scăzute care pot afecta populația și nivelul de trai, pot compromite culturile agricole (vara), pot afecta rezervele de apă, pot cauza probleme căilor de comunicații, etc.

De asemenea, accentul se pune în această lucrare și pe studiul cantităților de precipitații care sunt responsabile de producerea unor fenomene declanșate în lanț, într-o evoluție de tip „sistem-cascadă” (Bogdan, 2003; Bogdan, 2004). Efectele constau în alunecări de teren, distrugerea căilor de comunicații, apariția unor epidemii, reducerea nivelului de trai, etc.

Analiza statistică aplicată în acest studiu încearcă să conecteze tendințele radiației solare globale, temperaturii și cantităților de precipitații din această zonă, cu așa-numitele schimbări climatice globale. În ciuda diferitelor teorii care infirmău sau confirmău schimbările climatice, este în general acceptată ideea că Soarele joacă un rol principal în încălzirea globală, în special din cauza ciclurilor solare (Tung and Camp, 2008) ceea ce duce la o creștere a temperaturii. Aceasta a crescut în ultimii 100 de ani, iar în ultimele decenii, rata de încălzire a fost accelerată (Solomon et al, 2007). Mulți oameni de știință cred că o creștere a temperaturii ar putea duce la un circuit al apei în natură mai intens. Ratele de evaporare ale suprafeței solului și a apei, precum și cele rezultate din transpirația plantelor, ar putea crește. Prin urmare, și cantitatea de precipitații ar putea crește.

În acest context se înscrie și această Teză de doctorat al cărei scop principal constă în analiza și interpretarea fenomenelor și a proceselor climatice (ex.: radiațiile solare, temperatura și precipitațiile) în care s-a pus accentul pe principiul cauzalității lor reciproce, fapt ce permite nu numai înțelegerea stadiului de modificare al fenomenelor, ci și tendința lor de evoluție. Aduc mulțumiri, în mod deosebit prof. univ. dr. Constantin Cosma și Dumitru Ristoiu, care mi-au călăuzit primii pași în domeniul cercetării științifice, dar și pentru modul în care, cu deosebită competență profesională, cu multă înțelepciune și generozitate m-a sprijinit de la începerea lucrării și până la finalizarea ei.

Sunt recunoscător soției mele pentru căldura și înțelegerea cu care m-a înconjurat, pentru sprijinul oferit și pentru încrederea permanentă pe care mi-a acordat-o pe tot parcursul studiilor de doctorat.

Capitolul 1

Istoricul dezvoltării oraşului și a observațiilor climatice la Cluj-Napoca

Capitolul 1 reprezintă un scurt istoric al dezvoltării oraşului Cluj-Napoca și istoricul observațiilor și al cercetărilor climatologice în acest oraș.

Capitolul 2

Factorii genetici ai climei în arealul oraşului Cluj-Napoca

Ca și în orice regiune de pe Glob, clima din arealul oraşului Cluj-Napoca este generată de trei categorii importante de factori: factorii radiativi, factorii dinamici și factorii fizico-geografici. Fondul general al climatului este dat de localizarea geografică a oraşului, de ansamblul condițiilor de relief în care este situat, și de poziția lui față de componentele principale ale circulației generale a atmosferei.

Capitolul 3

Caracteristici climatice

Condițiile climatice generale ale orașului Cluj-Napoca reflectă, în mare, specificul climatului regiunilor de dealuri din sectorul vestic al țării. Unele aspecte care îl deosebesc de zonele învecinate rezultă din poziția sa la interferența celor trei mari unități fizico-geografice: Munții Apuseni, Câmpia Transilvaniei și Podișul Someșan cu condiții climatice bine individualizate, și din aspectul reliefului în ansamblul căruia este situat.

Dintre caracteristicile climatice care stau la baza stabilirii specificului climatic al zonei de studiu și analizate în acest capitol 3 amintim: temperatura aerului, umiditatea aerului, nebulozitatea și durata de strălucire a Soarelui, precipitațiile atmosferice și presiunea aerului.

Capitolul 4

Influența radiațiilor solare asupra evoluției principalelor caracteristici climatice în arealul municipiului Cluj-Napoca

4.1 Radiațiile solare. Presentare generală.

Radiațiile solare reprezintă un ansamblu de unde sau de particule emise de Soare cu o temperatură de aproximativ 5.800 K (5.527°C) și sunt principala sursă naturală de energie a Pământului. La distanța de 150×10^6 km intensitatea radiației monocromatice primită de la Soare pentru o mare parte a spectrului este mult mai mică decât cea emisă de sistemul Atmosferă-Pământ la lungimi de undă echivalente (*Ristoiu, 2005*). Asta reprezintă radiația din partea vizibilă a spectrului.

Din cauza distanței mari dintre Soare și Pământ (150×10^6 km) și a razei terestre relativ mici (6.370 km), doar a întâia miliarda parte din energia totală emisă de Soare ajunge la partea superioară a atmosferei (1368 Wm^2), cantitate suficientă însă pentru a asigura baza resurselor energie terestră. Luând în considerare faptul că 30% din radiația

incidentă este reflectată înapoi în spațiu (albedou), energia totală primită de către Terra reprezintă aproximativ 10^{17} W (Beer et al., 2006).

Radiațiile solare sunt transmise spre Pământ direct (radiații termice) sau mijlocite de anumite particule (radiații corpusculare). Aceste radiații sunt emise sub forma unui spectru, din care pentru fenomenele meteorologice o importanță mai mare o au radiațiile ultraviolete, radiațiile vizibile, și radiațiile infraroșii.

Străbătând atmosfera terestră, radiațiile solare suferă influența acesteia, iar rezultatul acestei influențe îl constituie reducerea energiei solare care ajunge la suprafața scoarței terestre. Un factor important îl reprezintă masa atmosferei străbătute, care diferă foarte mult în funcție de înălțimea Soarelui deasupra orizontului. Străbătând atmosfera, anumite radiații solare sunt absorbite în mod selectiv de diferite gaze și elemente ale acesteia (O_2 , CO_2 , O_3 , H_2O) sau global de particulele aflate în suspensie (pulberi, praf). Alte radiații sunt difuzate în masa atmosferei sau reflectate de aceasta.

4.2 Evoluția tendinței radiației solare globale la Cluj-Napoca pentru perioada 1921-2009

4.2.1 Introducere

Cunoașterea radiației solare locale este esențială pentru numeroase aplicații, inclusiv design arhitectural, sisteme de energie solară și irigare, modelele de creștere a culturilor și estimări ale evapotranspirației (Almorox și Hontoria, 2004). De-a lungul anilor, au fost propuse mai multe modele pentru a afla cantitatea de radiații solare globale folosindu-se diferiți parametri. Metoda cea mai larg utilizată este cea a lui Ångström (Ångström, 1924), care a propus o relație liniară privind raportul dintre valoarea radiației solare globale medii zilnice într-o zi cu timp senin și valoarea relativă a duratei de strălucire solară zilnică. Prescott (1940) a pus ecuația într-o formă mai convenabilă, prin înlocuirea radiației medii globale pe timp senin cu radiația solară extraterestră.

4.2.2 Localizarea zonei de studiu

Cluj-Napoca, aparținând de județul Cluj, este localizat în partea centrală a Transilvaniei (nord-vestul României), într-o regiune înconjurată de dealuri, mai exact în Valea Râului Someșul Mic (vezi Figura 4.1). Acesta se află la confluența cu Munții Apuseni, Podișul Someșan și Câmpia Transilvaniei.

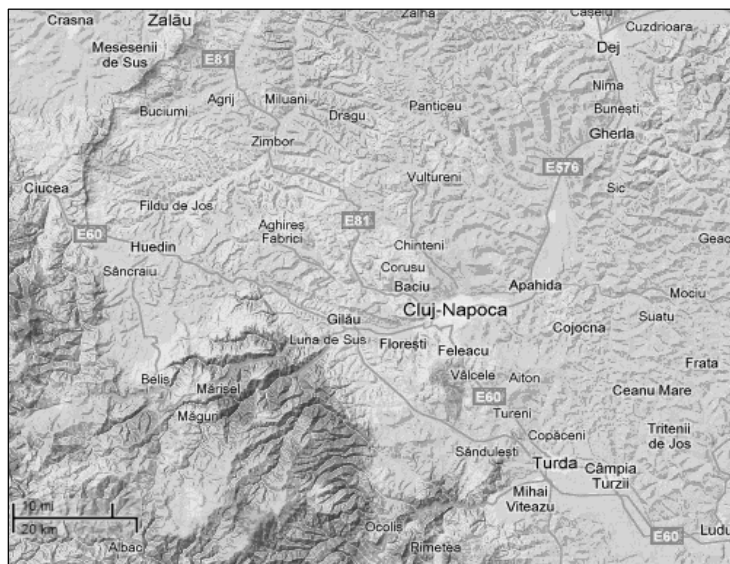


Figura 4.1. Localizarea geografică a zonei de studiu (Cluj-Napoca).

Stația meteorologică din Cluj-Napoca este situată la aproximativ $46^{\circ}47'N$ / $23^{\circ}34'E$ și înălțimea de aproximativ 414 m deasupra nivelului mării.

4.2.3 Date și metode de lucru

Datele radiațiilor solare globale (RSG) au fost calculate din orele de strălucire solară lunare utilizând ecuația lui Ångström-Prescott, și au fost luate din Anuarele Meteorologice din România ale Bibliotecii Facultății de Geografie din Cluj-Napoca și de pe site-ul de la NCDC-NOAA (National Climatic Data Center – National Oceanic and Atmospheric Administration) la secțiunea Date climatice lunare la nivel global (Monthly Climatic Data for the World). Analiza a fost făcută pe termen lung, mai exact pentru o perioadă de 89 de ani (1921-2009).

În cazul în care radiația solară globală (R_s) nu s-a măsurat cu un piranometru (Instrument pentru măsurarea intensității radiației solare), s-a estimat, de obicei, din ore de strălucire solară putând fi calculată cu ajutorul formulei lui Ångström-Prescott (Martinez-Lazono et al, 1984; Gueymard et al., 1995) redată mai jos:

$$R_s = \left[a + b \frac{n}{N} \right] \cdot R_a, \quad (4.1)$$

unde R_s și R_a reprezintă radiația solară globală ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{zi}$) și, respectiv, radiația extraterestră ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{zi}^1$) pe o suprafață orizontală; n este numărul real (efectiv) de ore lunare de strălucire solară (h), iar N este numărul maxim posibil de ore lunare de strălucire solară (h); n / N este durata de strălucire solară relativă; a reprezintă fracția din R_a care ajunge pe Pământ în zilele cu cer acoperit (nori) când $n = 0$, b este coeficientul de regresie; $(a + b)$ reprezintă fracția din R_a care ajunge pe Pământ în zilele cu cer senin (fără nori pe cer), atunci când $n = N$.

Pe baza măsurătorilor efectuate în diferite locații de pe Pământ, Allen et al. (1998) a recomandat folosirea valorilor lui $a = 0,25$ și $b = 0,50$ (care vor fi folosite și în acest studiu) pentru estimarea R_s , atunci când există date disponibile pentru durata de strălucire solară, iar măsurătorile directe pentru R_s lipsesc.

Radiația extraterestră (R_a) și durata maximă posibilă de strălucire solară lunară (N) sunt date de formula (Allen et al., 1998):

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (4.2)$$

$$N = \frac{24 \cdot \omega_s}{\pi}, \quad (4.3)$$

unde G_{sc} este constanta solară = 0.0820 ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{min}$), d_r este distanța medie inversă Pământ-Soare, ω_s este unghiul orar la apus de soare. Unghiul orar, exprimat în radiani, este măsurat la apus de soare atunci când centrul Soarelui ajunge la orizont. φ este latitudinea locului (exprimată în radiani), iar δ este declinația solară (radiani).

$$d_r = 1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi J}{365}\right) \quad (4.4)$$

$$\delta = 0.409 \cdot \sin\left[\frac{2\pi J}{365} - 1.39\right] \quad (4.5)$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)], \quad (4.6)$$

unde J reprezintă a 15-a zi a fiecărei luni din an (pentru calcule lunare).

Folosind metoda celor mai mici pătrate, a fost ales modelul liniar în acest studiu, deoarece este cel mai folosit și cel mai simplu model pentru o tendință necunoscută în acest tip de analiză. Pentru a identifica tendințele radiației solare globale, s-a folosit pentru analiza datelor și media mobilă de ordin 5, iar pentru a simplifica trendul, a fost adăugată o linie la seriile de timp reprezentând trendul liniar.

Este cunoscut faptul că există diferite teste statistice care fac o analiză detaliată a tendințelor seriilor de timp (Haan, 1977; Bobee și Ashkar, 1991; Salas, 1992). Prin urmare, pentru a analiza orice posibilă tendință a seriilor de timp, semnificația statistică a fost determinată cu ajutorul testelor Mann-Kendall și Student's t test.

4.2.4 Rezultate și discuții

4.2.4.1 Tendințele anuale ale radiației solare globale

Evoluția radiației solare globale medie anuale, împreună cu media mobilă de ordin 5 și trendul liniar, este prezentată în Figura 4.2. Tabelul 4.1 prezintă media, estimarea pantei de regresie, valorile statistice obținute prin aplicarea testelor Mann-Kendall (MK) și t -test, deviația standard (DS) și coeficientul de variație (CV) ale radiației solare globale lunare, sezoniere și anuale la Cluj-Napoca pentru perioada 1921-2009.

Tabelul 4.1. Rezultate statistice pentru radiația solară globală (RSG) la Cluj-Napoca pentru perioada 1921–2009.

	Media (W/m ²)	Panta (Wm ⁻² /an)	Testul Mann-Kendall	Testul t	D.S. (W/m ²)	C.V. (%)
LUNA						
Decembrie	38.019	0.029	0.106	1.766	4.097	10.8
Ianuarie	46.635	0.068	0.223**	3.049**	5.729	12.3
Februarie	78.254	0.108	0.191**	2.624*	10.384	13.3
Martie	128.995	0.086	0.110	1.538	13.702	10.6
Aprilie	176.828	0.251	0.253***	3.749***	17.430	9.9
Mai	226.801	0.164	0.146*	1.873	21.621	9.5
Iunie	247.536	0.246	0.169*	2.652**	23.240	9.4
Iulie	255.865	-0.008	-0.031	-0.112	18.014	7.0
August	224.297	0.044	0.068	0.627	17.303	7.7
Septembrie	161.879	-0.021	-0.013	-0.350	14.486	8.9

Octombrie	106.199	0.130	0.158*	2.788**	11.774	11.1
Noiembrie	55.432	0.009	0.050	0.321	6.830	12.3
SEZON						
Iarnă	54.303	0.070	0.243***	3.921***	4.674	8.6
Primăvară	177.541	0.168	0.246***	4.031***	10.913	6.1
Vară	242.566	0.094	0.144*	1.958	11.845	4.9
Toamnă	107.837	0.039	0.073	1.300	7.401	6.9
ANUAL	145.562	0.093	0.268***	4.380***	5.628	3.9

*Semnificativ la nivelul de 0.05, **semnificativ la nivelul de 0.01, ***semnificativ la nivelul de 0.001.

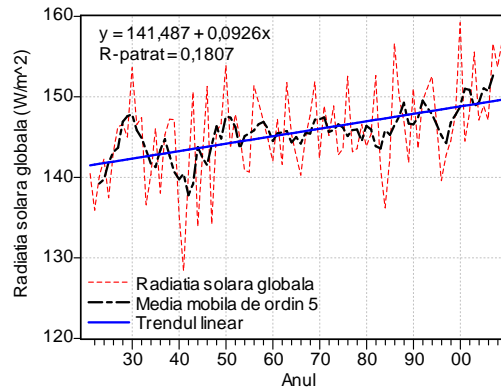


Figura 4.2. Media mobilă de ordin 5 și linia trendului (trendul liniar) radiației solare globale anuale la Cluj-Napoca (1921-2009).

La Cluj-Napoca a fost observată o variabilitate considerabilă între diferiți ani, cu o deviație standard de $5,628 \text{ W/m}^2$ și un coeficient de variație de $3,9 \%$, în timp ce media multianuală a radiației solare globale (RSG) pentru perioada 1921-2009 (89 de ani) a fost de $145,562 \text{ W/m}^2$ (Tahâș et al., 2011 a). O pantă pozitivă de $0,093 \text{ Wm}^{-2}/\text{an}$ a fost observată pentru radiația solară globală medie anuală. Potrivit testelor Mann-Kendall și *t*-test, această tendință de creștere este semnificativă statistic la nivel de $0,001$. În perioada studiată, anul 2000 a avut cea mai mare valoare medie anuală ($159,21 \text{ W/m}^2$), în timp ce anul 1941, cu $128,373 \text{ W/m}^2$, a avut cea mai mică valoare.

4.2.4.2 Tendințele sezoniere ale radiației solare globale

Pe scară sezonală, se observă o estimare a pantei pozitive pentru toate anotimpurile (Figura 4.3). Cea mai mare creștere a radiației solare globale în cursul anului a avut loc primăvara ($0,168 \text{ Wm}^{-2}/\text{an}$). Dimpotrivă, sezonul de toamnă a avut cea mai mică creștere ($0,039 \text{ Wm}^{-2}/\text{an}$).

Celelalte două anotimpuri, vara și de iarna, au avut o rată de creștere a tendinței

de $0,094 \text{ Wm}^{-2}/\text{an}$ și, respectiv de $0,070 \text{ Wm}^{-2}/\text{an}$. Testele Mann-Kendall și t -test indică faptul că tendința de creștere este semnificativă statistic la nivelul de 0,001 pentru anotimpurile de iarnă și primăvară. Pentru anotimpul de vară, tendința este semnificativă la nivelul de 0,05 potrivit testului Mann-Kendall, în timp ce testul t nu indică nici o tendință semnificativă în mod special. Anotimpul de toamnă nu prezintă nici o tendință de creștere semnificativă.

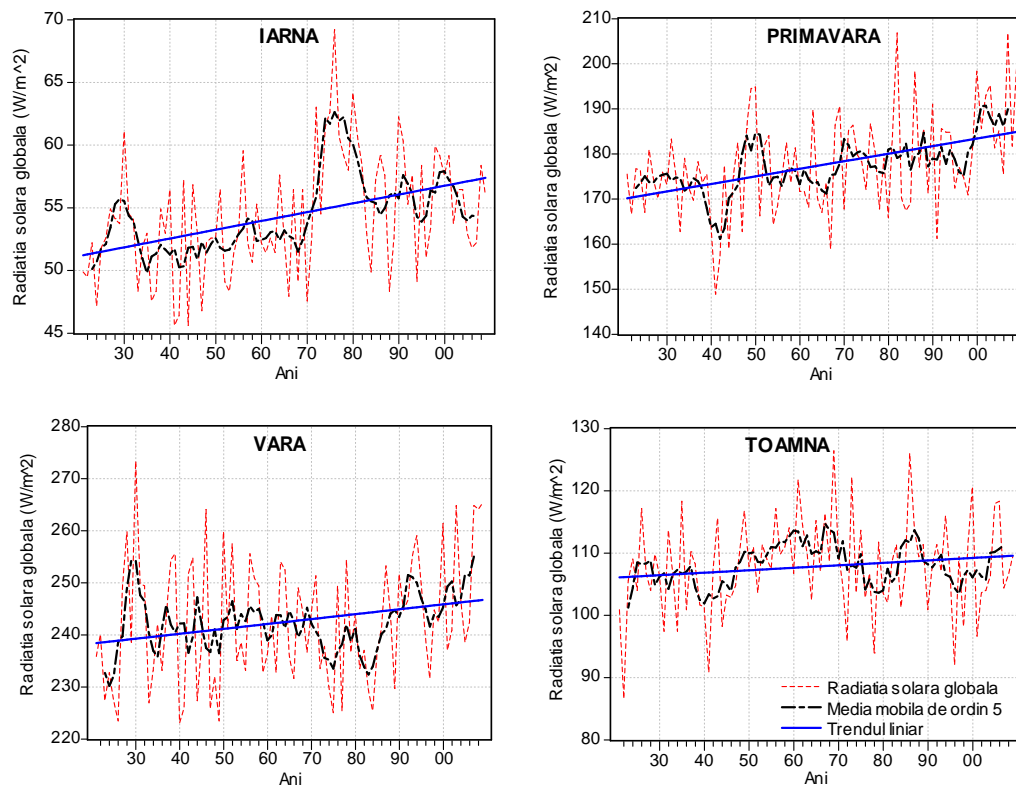


Figura 4.3. Mediile mobile de ordin 5 și trendurile liniare ale radiației solare globale sezonale la Cluj-Napoca (1921-2009).

Rezultatele pentru mediile lunare sunt, de asemenea, afișate în Tabelul 4.1. O estimare a pantei pozitive se observă în majoritatea lunilor din an, cu excepția lunilor Iulie și Septembrie, care arată o pantă negativă.

4.2.4.3 Testul Runs (Runs Test)

Un alt mod de a testa dacă există o tendință sau o oscilație în șirul de date este reprezentat de testul non-parametric Runs (Runs Test). Acest test este o alternativă la modelele de trend liniar și neliniar, deoarece nu presupune că datele urmează o distribuție specifică și este mai puțin sensibil la valori extreme. Testul Runs, numit și

Wald-Wolfowitz după Abraham Wald (1902 - 1950) și Jacob Wolfowitz (1910 - 1981) și recomandat de Organizația Meteorologică Mondială (1983), este considerat a fi unul dintre cele mai usoare teste utilizate în aplicarea procedurii pentru testarea aleatorie (Koutras și Alexandrou, 1997) sau atunci când se dorește a se constata dacă ordinea răspunsurilor, peste sau sub valoarea specificată, este aleatorie.

Testul Runs reprezintă o serie de puncte consecutive care sunt ori toate deasupra, ori toate sub linia de regresie (medie). De asemenea, testul Runs arată dacă seriile de timp sunt influențate de unele cauze speciale. Folosind numărul de seturi (runs) (peste sau sub medie), programul Minitab efectuează un test pentru a determina dacă există variații în șirul de date datorate tendințelor sau oscilațiilor.

Testul compară numărul de seturi observat cu numărul de seturi estimat peste sau sub medie. În cazul în care numărul de seturi observat este, din punct de vedere statistic, mai mare decât numărul de seturi estimat, atunci este sugerată o oscilație; când numărul de seturi observat este, din punct de vedere statistic, mai mic decât numărul de seturi estimat, atunci este sugerată o tendință.

Într-o distribuție normală standard, formula valorii p (p -value) pentru tendințe, notată aici cu p' (p' -value), este următoarea:

$$p' - \text{value} = cdf(Z), \quad (4.7)$$

unde cdf reprezintă probabilitatea cumulativă în raport cu Z , care se calculează cu formula:

$$Z = \frac{O(\text{runs}) - E(\text{runs})}{\sqrt{\sigma^2}}, \quad (4.8)$$

unde: $O(\text{runs})$ este numărul observat al seturilor (runs) peste sau sub medie, $E(\text{runs})$ este numărul estimat al seturilor (runs) peste sau sub medie, iar σ^2 este variația numărului estimat al distribuției de seturi (runs). $E(\text{runs})$ se calculează cu formula:

$$E(\text{runs}) = 1 + \frac{2 \cdot A \cdot B}{N}, \quad (4.9)$$

unde: A este numărul de observații peste criteriul de comparație (k), B este numărul de observații sub sau egal cu k , iar N este numărul total de observații (suma dintre A și B). Variația σ^2 este dată de formula:

$$\sigma^2 = \frac{2 \cdot A \cdot B \cdot (2 \cdot A \cdot B - N)}{N^2 (N - 1)}. \quad (4.10)$$

Valoarea p (p -value) pentru oscilație, notată aici cu p'' (p'' -value), într-o distribuție

normală standard este:

$$p' - \text{value} = 1 - \text{cdf}(Z), \quad (4.11)$$

unde $\text{cdf}(Z)$ are aceeași semnificație ca și mai sus.

La Cluj-Napoca, pentru radiația solară globală anuală, numărul seturilor (runs) observat peste și sub medie (44) este mai mic decât numărul seturilor (runs) estimat (45,5), astfel încât putem spune că se sugerează o tendință, dar diferența dintre ele (medii) este foarte mică. Valorile p (p -values) pentru tendințe (0,750) și oscilații (0,250) sunt mai mari decât nivelul de 0,05 (α -level), așa că rezultatele testului Runs nu sunt semnificative. Prin urmare, putem trage concluzia că datele nu indică o tendință sau oscilație puternică, dar pentru că valoarea p (p -value) pentru oscilație este mai mică decât valoarea p (p -value) pentru trend, atunci ar fi mai potrivit să spunem că o oscilație are o probabilitate mai mare de a fi sugerată decât o tendință.

Referitor la anotimpuri, testul Runs nu arată nici o variație specială, deși acesta ar putea indica un trend pentru sezonul de vară și iarnă, pentru că valorile p (p -values) pentru trend sunt mai mici decât valorile p (p -values) pentru oscilație, și o oscilație pentru sezonul de primăvară și toamnă, deoarece valorile p (p -values) pentru oscilație sunt mai mici decât valorile p (p -values) pentru trend.

Singura lună în care testul Runs indică o variație specială este Aprilie. Pentru că numărul observat al seturilor (runs) peste și sub medie (34) este statistic mai mic decât numărul estimat al seturilor (45,5), putem spune că se sugerează o tendință. Valoarea p (p -value) pentru tendință (0,014) este mai mică decât nivelul de 0,05 (α -level) și putem spune că datele indică mai mult ca sigur o tendință.

Rezultatele acestui test arată că, deși nu există nici o valoare p (p -value) obținută pentru radiația solară globală anuală și sezonieră sub nivelul α (α -level), cele mai multe dintre aceste valori p (p -values) sunt mai aproape de acest nivel. Prin urmare, putem considera că acest lucru este un semn pentru o posibilă oscilație în evoluția radiației solare globale.

4.3 Radiațiile solare și temperatura

4.3.1 Introducere

Numeroase studii ale variabilității temperaturii aerului de la suprafața terestră au relevat clar tendințe de variabilitate descrescătoare așa cum reiese din evidențele temperaturii aerului de la suprafața terestră (*Karl et al, 1995; Moberg et al, 2000; Rebetz, 2001; Bodri and Cermak, 2003*). Situația este chiar remarcabilă atunci când sunt luate în calcul mai multe variabile climatice, cum ar fi precipitațiile, radiația solară, etc. De exemplu, în zona orașului Cluj-Napoca, analiza seriilor de timp a temperaturii și radiației solare făcută pe termen scurt a relevat tendințe de creștere a acestor variabile, fiind semnificative din punct de vedere statistic (*Tahâș et al., 2011 b*).

Cauza principală care influențează temperatura este atribuită activității solare deoarece este știut faptul că de-a lungul secolelor variațiile solare au influențat temperaturile pe Terra.

4.3.2 Date și metodologia de lucru

Datele privind temperaturile medii lunare și orele de strălucire solară au fost luate din Anuarele meteorologice (AM) din România și de pe pagina web (<http://www7.ncdc.noaa.gov/IPS/mcdw/mcdw.html>) a NCDC-NOAA.

Pentru analiza statistică a trebuit să se ia în calcul încă două orașe (stații) din zona Transilvaniei, și anume, Bistrița (367m altitudine) și Sibiu (444m altitudine), deoarece folosirea informațiilor statistice numai de la o stație meteorologică sau oraș ar putea fi considerată irelevantă. Chiar dacă aceste două orașe nu sunt situate în zona analizată, variațiile radiațiilor solare și ale temperaturii la Cluj-Napoca ar fi mai credibile dacă ar fi susținute de rezultate similare la stațiile învecinate. De asemenea, am analizat și durata orelor de strălucire solară pentru a face o comparație mai bună cu evoluția radiației solare globale.

Au fost efectuate patru metode de testare pe date pentru a testa omogenitatea seriilor (teste de omogenitate), după cum urmează: testul Pettitt (*Pettitt, 1979*), testul de omogenitate standard normal pentru o singură ruptură în seria de timp (*Alexandersson, 1986*), testul Buishand (*Buishand, 1982*), și testul Von Neumann (*Von Neumann, 1941*). Primele trei dintre ele, sub ipoteza alternativă, presupun că în evoluția seriei de timp este prezentă o ruptură/întrerupere a sensului evoluției și permit identificarea

momentului (anului) în care are loc schimbarea. Testul raportului Von Neumann, sub ipoteza alternativă, presupune că seria nu este distribuită aleatoriu (la întâmplare) și nu permite detectarea momentului în care a survenit schimbarea (acesta nu oferă informații cu privire la anul de întrerupere). Efectuarea acestor teste de omogenitate a fost făcută cu ajutorul unui soft de analiză statistică numit XLSTAT.

Pentru a afla care este cel mai potrivit model de trend în acest studiu, a trebuit să alegem dintre modelul liniar, pătratic și exponențial calculat prin metoda celor mai mici pătrate.

Pentru a face o analiză corectă a acestor tendințe, am folosit, pentru setul de date privind radiația solară globală, durata de strălucire solară și temperatura, două programe statistice, Eviews (3.0) și Minitab. Seriile de timp anuale au fost calculate cu ajutorul programului Eviews. De asemenea, coeficientul de determinare (R^2) a fost efectuat cu programul Eviews. R^2 are valori cuprinse între 0 și 1. Cu cât R^2 este mai aproape de 1, cu atât este mai puternică intensitatea legăturii dintre cele două variabile, care aici sunt date de radiația solară sau temperatura și timpul. Atunci când R^2 este egal cu 1, relația este perfect liniară. Programul Minitab a fost folosit pentru a calcula cele trei măsuri de acuratețe cu scopul de a determina precizia valorilor corespunzătoare: Eroarea Procentuală Medie Absolută (RPMA), Deviația Medie Absolută (DMA) și Deviația Medie Pătratică (DMP). Deși acești trei indicatori nu au un caracter foarte informativ, ei sunt folosiți pentru a compara valorile obținute prin folosirea diferitelor modele de trend. În ceea ce privește cele trei măsuri, cu cât valoarea este mai mică, cu atât aceasta se potrivește mai bine modelului. Folosind aceste teste de statistică, putem decide care este modelul cel mai adecvat prin compararea valorilor, de la fiecare metodă folosită, care se potrivește cel mai bine modelului.

Eroarea Procentuală Medie Absolută (EPMA) măsoară acuratețea valorilor corespunzătoare seriilor de timp. Aceasta exprimă acuratețea sub formă de procentaj prin următoarea formulă:

$$EPMA = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right|}{n} \cdot 100, \quad (y_t \neq 0) \quad (4.12)$$

unde y_t reprezintă valoarea actuală, \hat{y}_t este valoarea corespunzătoare, iar n reprezintă numărul de observații.

Deviația Medie Absolută (DMA) măsoară acuratețea valorilor corespunzătoare seriilor de timp. Aceasta exprimă precizia în aceleași unități de măsură ca și datele, ceea ce ajută să conceptualizeze valoarea de eroare:

$$DMA = \frac{\sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|}{n}. \quad (4.13)$$

Deviația Medie Pătratică (DMP) este întotdeauna calculată folosind același numitor, n , indiferent de model, astfel încât să se poată compara valorile DMP în toate modelele. DMP este o măsură mai sensibilă decât DMA a unei erori neobișnuit de mare:

$$DMP = \frac{\sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|^2}{n}. \quad (4.14)$$

Un alt mod de a testa dacă există o tendință sau o oscilație în șirul de date este reprezentat de testul non-parametric Runs (Runs Test).

O modalitate de a scoate în evidență perioadele cu excedent sau deficit de radiații solare globale medii anuale și temperaturi comparativ cu media multianuală este reprezentată de curbele cumulative ale anomaliei standardizate de radiație solară globală și temperatură. În cercetarea climatică, conceptul de analiză cumulativă este folosit pe scară largă (*Lozowski, 1989; Jin et al., 2005*), deoarece se bazează pe ideea că climatul exprimă nu numai parametrii lui la un moment dat, ci și efectele lor cumulative.

Anomalia standardizată de radiație solară globală (ASRSG) și temperatură (AST) se calculează în același mod ca și anomalia standardizată de precipitații (*Maheras et al., 1999*) cu formulele:

$$ASRSG_i = \frac{X_i - X}{\sigma_i}; \quad AST_i = \frac{X_i - X}{\sigma_i}. \quad (4.15)$$

unde i este perioada pentru care se calculează ASRSG sau AST (anul în acest caz), X_i este radiația solară globală sau temperatura medie a intervalului i , X este radiația solară globală sau temperatura medie multianuală, σ_i reprezintă deviația standard anuală a valorii medii lunare a radiației solare globale sau temperaturii.

Deviația standard este calculată cu formula:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n-1}}, \quad (4.16)$$

unde n reprezintă lungimea seriilor de timp, care aici este de 89. Curba cumulativă a anomaliei standardizate de radiație solară globală (ASRSG) și temperatură (AST) utilizează valorile ASRSG și AST calculate pentru ani consecutivi. Punctele reprezentate grafic au valorile a_n calculate cu formula:

$$a_n = \sum_{i=1}^n ASRSG_i, \quad a_n = \sum_{i=1}^n AST_i. \quad (4.17)$$

4.3.3 Rezultate și discuții

4.3.3.1 Testele de omogenitate

A fost probată omogenitatea seriilor de timp privind radiația solară globală, durata de strălucire solară și temperatura pentru perioada 1921-2009. În Tabelul 4.2, sunt arătate rezultatele anuale ale testelor Pettitt, Testului de Omogenitate Standard Normal (TOSN), Buishand și Von Neumann aplicate radiației solare globale, duratei de strălucire solară și temperaturii.

Tabelul 4.2. Rezultatele anuale ale testelor de Omogenitate pentru radiația solară globală (RSG), durata de strălucire solară (N) și temperatura (T) medie anuală la Cluj-Napoca, Bistrița și Sibiu pentru perioada 1921–2009.

TESTUL DE OMOGENITATE	CLUJ-NAPOCA			BISTRITĂ			SIBIU		
	Anual			Anual			Anual		
	RSG	T	N	RSG	T	N	RSG	T	N
Testul Pettitt	742,0** 1985 ¹	557,0 1993 ¹	820,0** 1967 ¹	1124,0*** 1985 ¹	709,0* 1993 ¹	1133,0*** 1985 ¹	610,0 1989 ¹	637,0* 1958 ¹	708,0* 1944 ¹
Testul de Omogenitate Standard Normal (TOSN)	13,611** 1985 ¹	11,662* 2006 ¹	16,052*** 1947 ¹	27,954*** 1989 ¹	16,461** 1998 ¹	27,727*** 1989 ¹	9,707* 1989 ¹	9,911* 2006 ¹	10,564* 1944 ¹
Testul Buishand	15,502** 1985 ¹	11,929 1993 ¹	17,510*** 1955 ¹	21,837*** 1985 ¹	14,681** 1993 ¹	21,821*** 1985 ¹	12,318 1989 ¹	11,471 1958 ¹	13,474* 1944
Testul Von Neumann	1,518* 1985 ¹	1,493** 1993 ¹	1,460** 1955 ¹	0,937*** 1985 ¹	1,505** 1993 ¹	0,914*** 1985 ¹	1,248*** 1989 ¹	1,421** 1958 ¹	1,262*** 1944

*Semnificativ la nivelul de 0,05; **semnificativ la nivelul de 0,01; ***semnificativ la nivelul de 0,001.

¹Anul în care a survenit schimbarea (anul de întreprere).

4.3.3.2 Analiza tendintelor radiatiei solare globale, duratei de strălucire solară și temperaturii

La Cluj-Napoca, se poate observa o tendință de creștere a radiatiei solare globale, duratei de strălucire solară și temperaturii medii în perioada 1921-2009 (Figura 4.4).

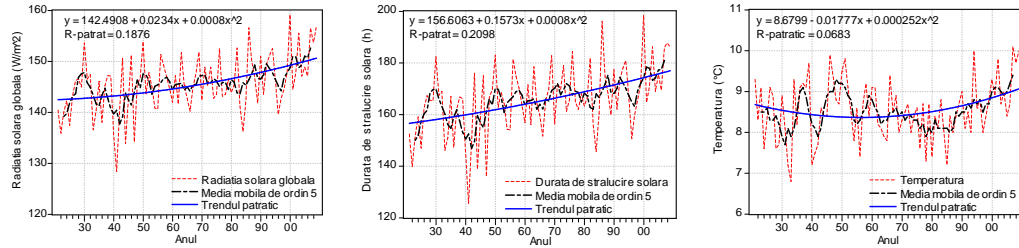
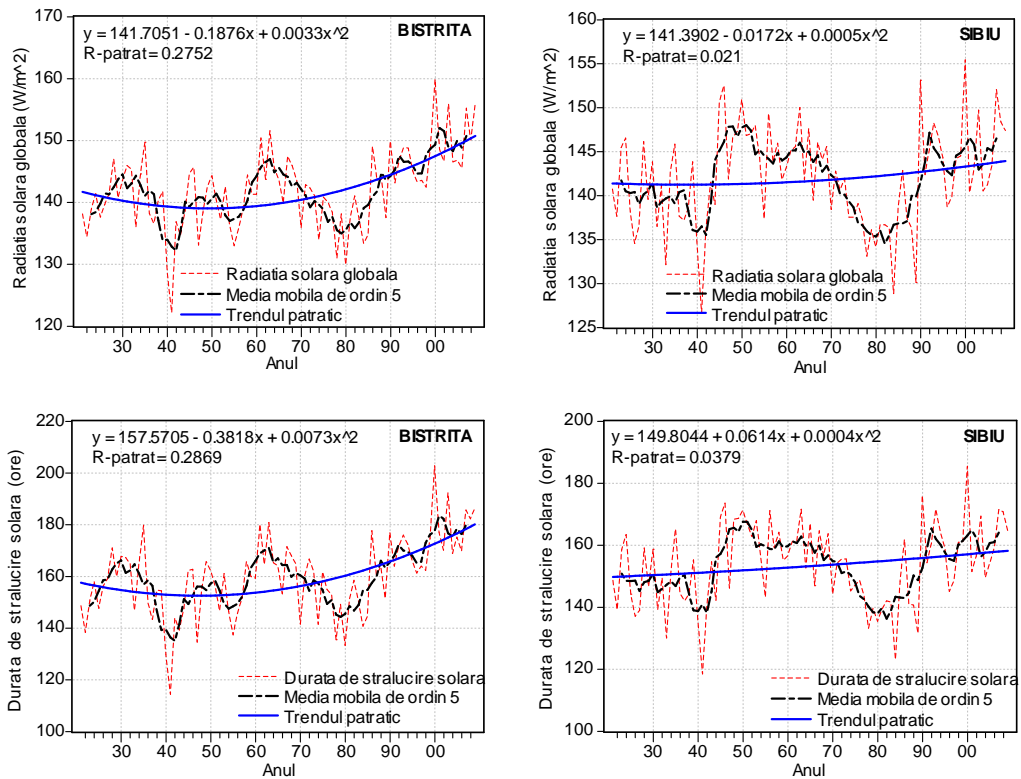


Figura 4.4. Mediile mobile de ordin 5 și trendurile pătratice ale radiatiei solare globale, duratei de strălucire solară și temperaturii medii anuale la Cluj-Napoca, (1921-2009).



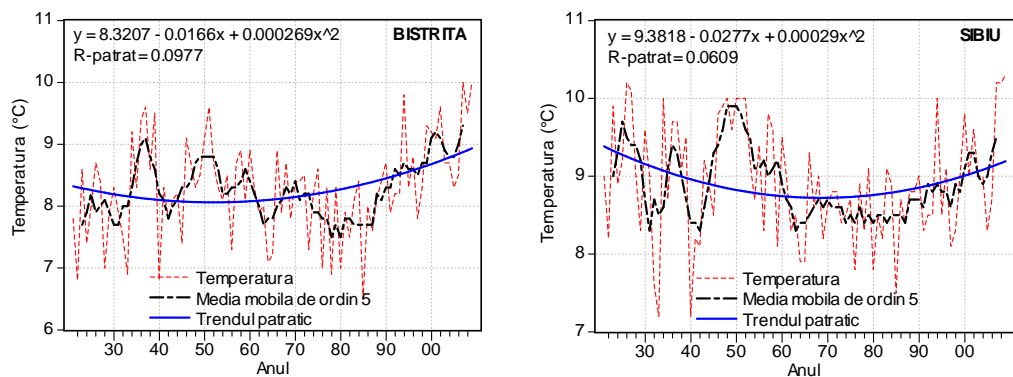


Figura 4.5. Mediile mobile de ordin 5 și trendurile pătratice ale radiației solare globale, duratei de strălucire solară și temperaturii medii anuale la Bistrița și Sibiu, (1921-2009).

În Tabelul 4.3 și 4.4 este prezentată realizarea/performața fiecărui model pentru Cluj-Napoca, respectiv Bistrița și Sibiu.

Tabelul 4.3. Caracteristicile tipurilor de modele folosite în analiza radiației solare globale, duratei de strălucire solară și temperaturii medii anuale la Cluj-Napoca (1921-2009).

Radiația solară globală medie anuală (RSG)					
TIPUL DE MODEL	TREND	EPMA (%)	DMA (W/m ²)	DMP [(W/m ²) ²]	R ²
Liniar	+	2,8599	4,1464	25,6601	0,1807
Pătratic	+	2,8541	4,1374	25,4445	0,1876
Exponențial	+	2,8528	4,1385	25,6519	0,1794
Durata de strălucire solară anuală					
TIPUL DE MODEL	TREND	EPMA (%)	DMA (h)	DMP (h ²)	R ²
Liniar	+	5,778	9,403	134,414	0,2084
Pătratic	+	5,765	9,381	134,167	0,2098
Exponențial	+	5,761	9,398	134,499	0,2054
Temperatura medie anuală					
TIPUL DE MODEL	TREND	EPMA (%)	DMA (°C)	DMA (°C ²)	R ²
Liniar	+	6,6658	0,5625	0,4967	0,0249
Pătratic	+	6,5994	0,5558	0,4746	0,0683
Exponențial	+	6,6331	0,5616	0,4974	0,0258

* + Denotă tendință pozitivă.

Tabelul 4.4. Caracteristicile tipurilor de modele folosite în analiza radiației solare globale, duratei de strălucire solară și temperaturii medii anuale la Bistrița și Sibiu (1921-2009).

	BISTRITA					SIBIU				
	Radiația solară globală medie anuală (RSG)					Radiația solară globală medie anuală (RSG)				
Tipul de model	TREND	EPMA (%)	DMA (W/m ²)	DMP [(W/m ²) ²]	R ²	TREND	EPMA (%)	DMA (W/m ²)	DMP [(W/m ²) ²]	R ²
Liniar	+	3,0829	4,3442	32,1676	0,1783	+	3,1616	4,4691	30,3865	0,0179
Pătratic	+	2,9488	4,1554	28,3726	0,2752	+	3,1778	4,4922	30,2902	0,0210
Exponențial	+	3,0761	4,3382	32,0992	0,1724	+	3,1633	4,4749	30,3970	0,0174
	Durata de strălucire solară anuală					Durata de strălucire solară anuală				
	TREND	EPMA (%)	DMA (h)	DMP (h ²)	R ²	TREND	EPMA (%)	DMA (h)	DMP (h ²)	R ²
Liniar	+	6,529	10,138	171,621	0,2017	+	6,863	10,352	155,845	0,0376
Pătratic	+	6,378	9,903	153,306	0,2869	+	6,876	10,372	155,791	0,0379
Exponențial	+	6,516	10,151	170,944	0,1900	+	6,853	10,372	156,104	0,0362
	Temperatura medie anuală					Temperatura medie anuală				
	TREND	EPMA (%)	DMA (°C)	DMA (°C ²)	R ²	TREND	EPMA (%)	DMA (°C)	DMA (°C ²)	R ²
Liniar	+	7,1404	0,5801	0,5527	0,0547	-	6,6198	0,5836	0,5287	0,0057
Pătratic	+	7,1280	0,5778	0,5275	0,0977	-	6,4610	0,5692	0,4993	0,0609
Exponențial	+	7,1063	0,5796	0,5533	0,0522	-	6,6048	0,5843	0,5295	0,0045

* + Denotă tendință pozitivă; - denotă tendință negativă.

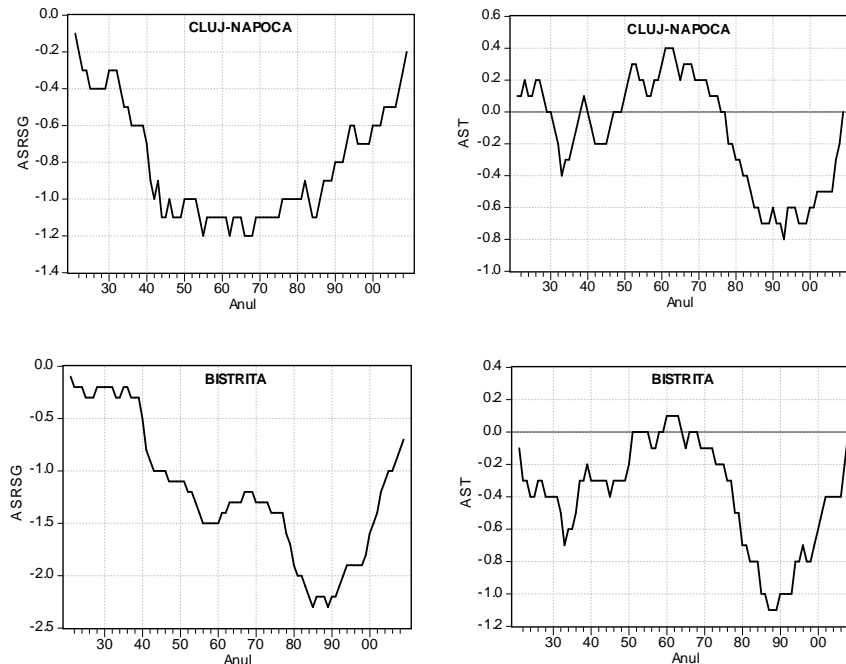
Prin folosirea corelației Pearson, s-a arătat că există relații liniare pozitive între radiația solară globală și temperatură.

4.3.3.3 Testul Runs (Runs Test)

Ca o consecință, rezultatele acestui test de arată că situația de la Cluj-Napoca este diferită de cea a celorlalte două orașe/stații meteo, deoarece este indicată mai degrabă o oscilație pentru radiația solară globală și temperatură, și o tendință pentru durata de strălucire solară, chiar dacă valorile p (p -values) nu sunt semnificative statistic. Dar pentru că valorile p indică tendințe pentru radiația solară globală Bistrița și Sibiu, care sunt și semnificative statistic, am putea considera aceasta ca un semn privind o posibilă tendință la această stație. Tendința pentru durata de strălucire solară, la Cluj-Napoca, este susținută de tendințele semnificative statistic de la celelalte două stații. În ceea ce privește temperatura, posibila oscilație sugerată la Cluj-Napoca nu este susținută de rezultatele celorlalte două stații deoarece, aici, probabilitatea sugerării unui trend este mai mare. Prin urmare, este dificil să spunem că un trend ar fi mai potrivit pentru temperatura de la această stație (Cluj-Napoca) deoarece nu s-a găsit nici o variație specială datorată tendinței sau oscilației.

4.3.3.4 Curbele cumulative ale anomaliilor standardizate de radiație solară globală și temperatură

Perioadele caracterizate prin acumulări ale excedentului sau deficitului de radiație solară globală/temperatură pot fi văzute pe curbele reprezentate în Figura 4.6.



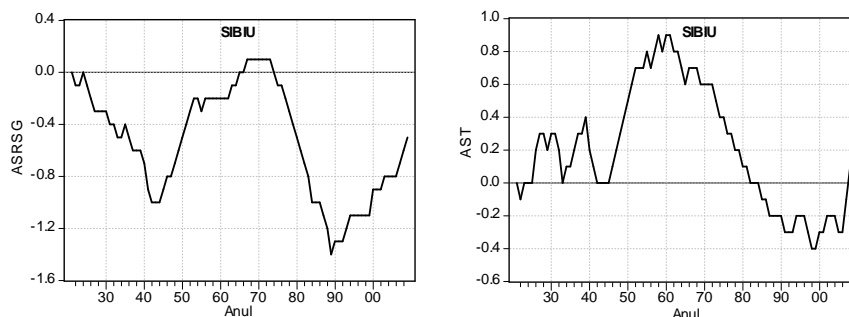


Figura 4.6. Curbele cumulative ale anomaliilor standardizate de radiație solară globală și temperatură la Cluj-Napoca, Bistrița și Sibiu (1921–2009).

4.3.3.5 Corelația dintre radiația solară și temperatură

Prin folosirea corelației r a lui Pearson, s-a găsit o relație de legătură pozitivă între radiația solară globală și temperatură, atât la Cluj-Napoca, cât și la Bistrița și Sibiu pentru perioada 1921-2009. Pe termen scurt, la Cluj-Napoca avem tot o relație pozitivă (Tahâș et al., 2011 b).

Tabelul 4.5. Statistica corelațiilor dintre radiația solară globală și temperatura medie anuală la Cluj-Napoca, Bistrița și Sibiu (1921-2009).

ORAȘUL	STATISTICA CORELAȚIEI	
	Coeficienții de corelație	p (necorelație)
CLUJ-NAPOCA	0,30	0,00345*
BISTRIȚA	0,39	0,00010**
SIBIU	0,35	0,00064**

*Semnificativ la nivelul de 0,01; **semnificativ la nivelul de 0,001.

4.4 Radiațiile solare și precipitațiile

4.4.1 Introducere

Conform mai multor opinii ale oamenilor de știință, există dovezi clare că modificările survenite în cantitatea de precipitații asociate cu încălzirea globală au deja loc atât pe scară globală, cât și regională (Schönwiese și Rapp, 1997; Hulme et al, 1998; Rodriguez-Puebla et al, 1998; Trenberth, 1998; Doherty et al, 1999; Osborn et al, 2000; IPCC, 2001). Tendința a fost pozitivă la nivel global pe tot parcursul secolului 20, cu toate că suprafețe mari s-au caracterizat prin tendințe negative (IPCC, 2001).

Ei au demonstrat că în cursul deceniilor recente precipitațiile a tins să crească la latitudinile mijlocii, să scadă în zonele subtropicale din Emisfera Nordică, și să crească, în general, în întreaga Emisfera Sudică. Totuși, aceste fenomene pe scară largă includ o variabilitate spațială considerabilă.

De exemplu, în zona orașului Cluj-Napoca, analiza seriilor de timp a precipitațiilor și radiației solare făcută pe termen lung a relevat, în general, tendințe de creștere a acestor variabile, fiind semnificative din punct de vedere statistic (*Tahâș et al., 2011 a*).

4.4.2 Date și metodologia de lucru

Datele privind precipitațiile au fost luate din Anuarele meteorologice (AM) din România și de pe pagina web (<http://www7.ncdc.noaa.gov/IPS/mcdw/mcdw.html>) a NCDC-NOAA.

4.4.3 Rezultate și discuții

4.4.3.1 Testele de omogenitate

A fost probată omogenitatea seriilor de timp privind radiația solară globală, durata de strălucire solară și precipitațiile pentru o perioadă de 89 de ani (1921-2009). În Tabelul 4.6, sunt arătate rezultatele anuale ale testelor Pettitt, ale Testului de Omogenitate Standard Normal (TOSN), Buishand și Von Neumann aplicate radiației solare globale, duratei de strălucire solară și precipitațiilor.

Tabelul 4.6. *Rezultatele anuale ale testelor de omogenitate pentru radiația solară globală (RSG), durata de strălucire solară (N) și precipitațiile (PP) medii la Cluj-Napoca, Bistrița și Sibiu pentru perioada 1921–2009.*

TESTUL DE OMOGENITATE	CLUJ-NAPOCA			BISTRIȚA			SIBIU		
	Anual			Anual			Anual		
	RSG	PP	N	RSG	PP	N	RSG	PP	N
Testul Pettitt	742,0** 1985 ¹	488,0 1991 ¹	820,0** 1967 ¹	1124,0*** 1985 ¹	388,0 1994 ¹	1133,0*** 1985 ¹	610,0 1989 ¹	359,0 1982 ¹	708,0* 1944 ¹
Testul de Omogenitate Standard Normal (TOSN)	13,611** 1985 ¹	7,270 1993 ¹	16,052*** 1947 ¹	27,954*** 1989 ¹	5,895 2003 ¹	27,727*** 1989 ¹	9,707* 1989 ¹	4,616 2003 ¹	10,564* 1944 ¹
Testul Buishand	15,502** 1985 ¹	9,811 1993 ¹	17,510*** 1955 ¹	21,837*** 1985 ¹	6,763 1994 ¹	21,821*** 1985 ¹	12,318 1989 ¹	8,095 1982 ¹	13,474* 1944
Testul Von Neumann	1,518*	1,763	1,460**	0,937***	1,753	0,914***	1,248***	1,691	1,262***

*Semnificativ la nivelul de 0,05; **semnificativ la nivelul de 0,01; ***semnificativ la nivelul de 0,001.

¹Anul în care a survenit schimbarea (anul de întrerupere).

4.4.3.2 Analiza tendințelor radiației solare globale, duratei de strălucire solară și precipitațiilor

Evoluția tendințelor radiației solare globale, duratei de strălucire solară și precipitațiilor la cele trei stații luate în analiză se poate vedea în Figura 4.7 și 4.8. Se poate observa o ușoară creștere a precipitațiilor, dar acest lucru este din cauza unei oscilații (Tahâș et al., 2011 a).

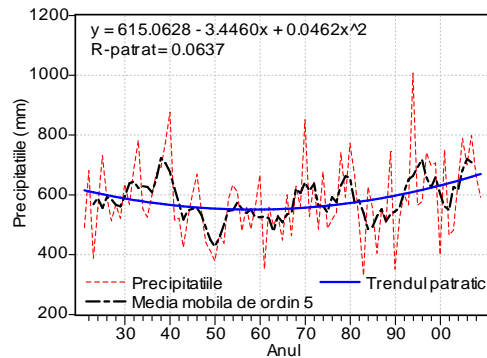


Figura 4.7. Media mobilă de ordin 5 și trendul pătratic al precipitațiilor medii anuale la Cluj-Napoca, (1921-2009).

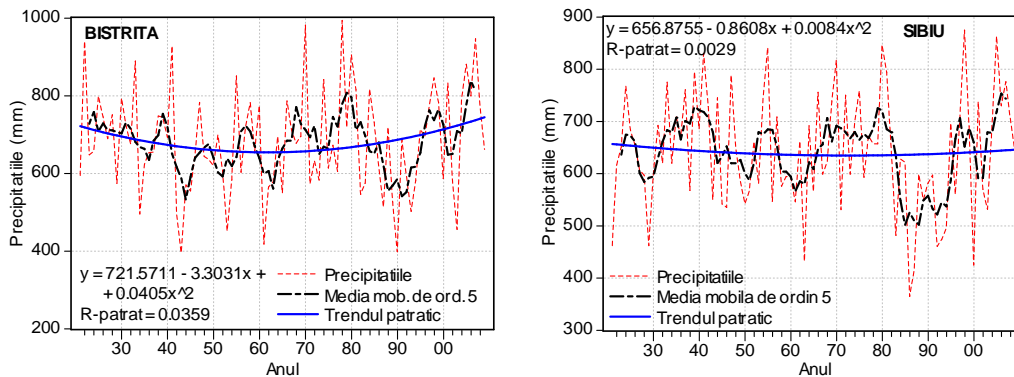


Figura 4.8. Mediile mobile de ordin 5 și trendurile pătratice ale radiației solare globale, duratei de strălucire solară și precipitațiilor anuale la Bistrița și Sibiu, (1921-2009).

Prin folosirea corelației Pearson, s-a arătat că există relații liniare pozitive între radiația solară globală și precipitații.

Deși procesul fizic al influenței solare rămâne încă neclar, este foarte posibil că

variabilitatea activității solare poate afecta evoluția precipitațiilor în zona de studiu. Cu toate acestea, așa cum spunea și Zhao et al. (2004), este destul de dificil de a interpreta rezultatele în termeni de cauză și efect, deoarece avem nevoie de mai mult timp și studii noi pentru a înțelege care este relația dintre radiația solară și precipitații. De asemenea, trebuie să se cunoască mai multe despre interacțiunea proceselor fizice care determină evoluția climei.

Tabelul 4.7. Caracteristicile tipurilor de modele folosite în analiza radiației solare globale, duratei de strălucire solară și precipitațiilor medii anuale la Cluj-Napoca (1921-2009).

Radiația solară globală medie anuală (RSG)					
Tipul de model	TREND	EPMA (%)	DMA (W/m ²)	DMP [(W/m ²) ²]	R ²
Liniar	+	2,8599	4,1464	25,6601	0,1807
Pătratic	+	2,8541	4,1374	25,4445	0,1876
Exponențial	+	2,8528	4,1385	25,6519	0,1794
Durata de strălucire solară anuală					
Tipul de model	TREND	EPMA (%)	DMA (h)	DMP (h ²)	R ²
Liniar	+	5,778	9,403	134,414	0,2084
Pătratic	+	5,765	9,381	134,167	0,2098
Exponențial	+	5,761	9,398	134,499	0,2054
Precipitațiile medii anuale					
Tipul de model	TREND	EPMA (%)	DMA (mm)	DMA (mm ²)	R ²
Liniar	+	17,7	97,4	15426,0	0,0163
Pătratic	+	17,1	94,1	14681,6	0,0637
Exponențial	+	17,1	96,5	15597,0	0,0116

* + Denotă tendință pozitivă.

Table 4.8. Caracteristicile tipurilor de modele folosite în analiza radiației solare globale, duratei de strălucire solară și precipitațiilor medii anuale la Bistrița și Sibiu (1921-2009).

	BISTRITA					SIBIU				
	Radiația solară globală medie anuală (RSG)					Radiația solară globală medie anuală (RSG)				
Tipul de model	TREND	EPMA (%)	DMA (W/m ²)	DMP [(W/m ²) ²]	R ²	TREND	EPMA (%)	DMA (W/m ²)	DMP [(W/m ²) ²]	R ²
Liniar	+	3,0829	4,3442	32,1676	0,1783	+	3,1616	4,4691	30,3865	0,0179
Pătratic	+	2,9488	4,1554	28,3726	0,2752	+	3,1778	4,4922	30,2902	0,0210
Exponențial	+	3,0761	4,3382	32,0992	0,1724	+	3,1633	4,4749	30,3970	0,0174
Durata de strălucire solară anuală						Durata de strălucire solară anuală				
Tipul de model	TREND	EPMA (%)	DMA (h)	DMP (h ²)	R ²	TREND	EPMA (%)	DMA (h)	DMP (h ²)	R ²
Liniar	+	6,529	10,138	171,621	0,2017	+	6,863	10,352	155,845	0,0376
Pătratic	+	6,378	9,903	153,306	0,2869	+	6,876	10,372	155,791	0,0379
Exponențial	+	6,516	10,151	170,944	0,1900	+	6,853	10,372	156,104	0,0362
Precipitațiile medii anuale						Precipitațiile medii anuale				
Tipul de model	TREND	EPMA (%)	DMA (mm)	DMA (mm ²)	R ²	TREND	EPMA (%)	DMA (mm)	DMA (mm ²)	R ²
Liniar	+	16,4	104,9	17150,4	0,0026	-	14,9	89,5	11993,3	0,0009
Pătratic	+	16,0	102,6	16578,5	0,0359	-	14,8	89,1	11968,9	0,0029
Exponențial	+	16,1	105,1	17318,2	0,0014	-	14,7	89,7	12094,6	0,0026

* + Denotă tendință pozitivă; – denotă tendință negativă.

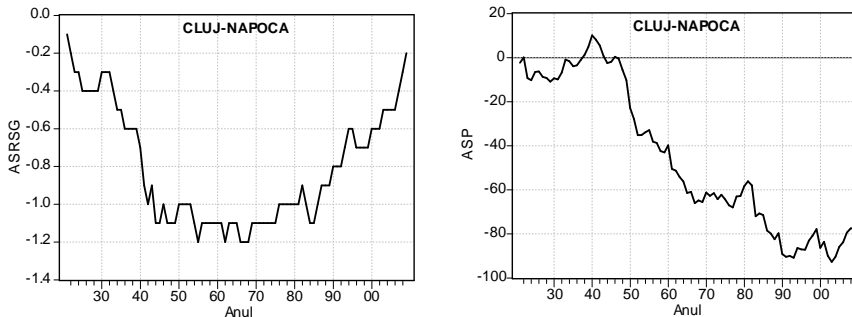
4.4.3.3 Testul Runs (Runs Test)

Ca urmare, rezultatele acestui test arată că, în ceea ce privește precipitațiile, o oscilație este, probabil, mai sugerată decât o tendință la Cluj-Napoca, fiind susținută de o posibilă oscilație la Bistrița. Deoarece valorile p (p -values) pentru trend și oscilație sunt aproape egale la Sibiu, iar celelalte două stații au indicat o oscilație, putem spune că o oscilație este, probabil, mai sugerată decât o tendință la această stație. Pentru că am obținut patru valorile p (p -values) sub nivelul α de 0,05, putem concluziona că există o variație puternică și specială care afectează tendințele radiației solare globale și duratei de strălucire solară care se datorează activității solare. Pentru precipitații, nu s-a găsit nicio variație specială datorată tendinței sau oscilației.

4.4.3.4 Curbele cumulative ale anomaliilor standardizate de radiație solară globală și precipitații

Perioadele caracterizate prin acumulări ale excedentului sau deficitului de radiație solară globală/precipitații pot fi văzute pe curbele reprezentate în Figura 4.9.

Forma curbei cumulative a anomaliilor standardizate de precipitații la Cluj-Napoca este, în general, similară cu cea de la Bistrița (Figura 4.9) și Sibiu (Figura 4.9). Diferențele dintre ele sunt foarte mici, cum ar fi faptul că neutralizarea excedentului de precipitații a început un pic mai rapid la Bistrița și Sibiu, comparativ cu Cluj-Napoca.



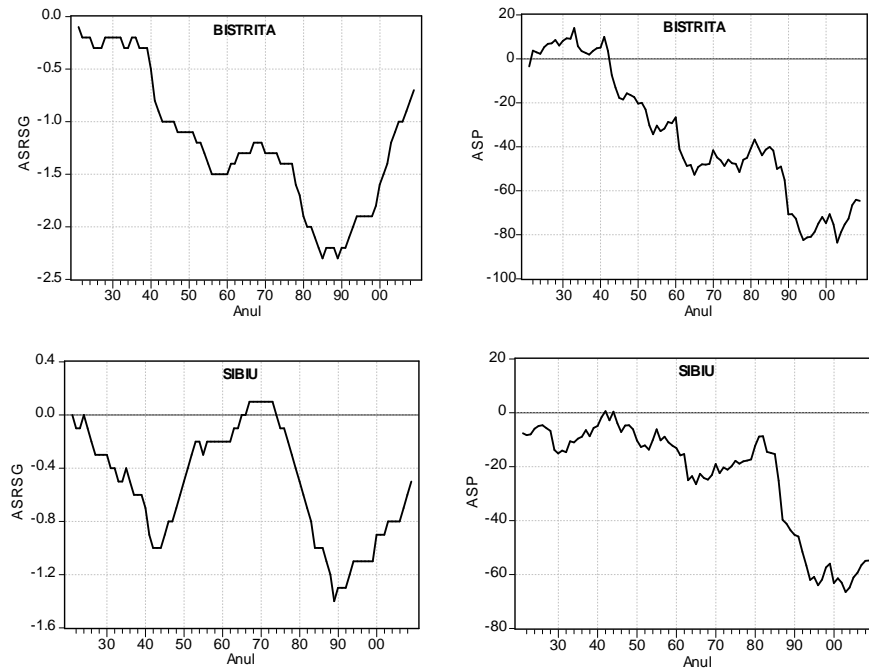


Figura 4.9. Curbele cumulative ale anomaliilor standardizate de radiație solară globală și precipitații la Cluj-Napoca, Bistrița și Sibiu (1921–2009).

Tendința de scădere a precipitațiilor anuale ar putea fi atribuită activității solare, care se cunoaște că joacă un rol important în influențarea precipitațiilor terestre, iar o consecință a acestui fapt este, așa cum am mai spus și înainte, că precipitațiile sunt strâns legate de variația numărului de pete solare.

4.4.3.5 Corelația dintre radiația solară și precipitații

Prin folosirea corelației r a lui Pearson, s-a găsit o relație de legătură negativă între radiația solară globală și precipitații, atât la Cluj-Napoca, cât și la Bistrița și Sibiu pentru perioada 1921-2009.

Tabelul 4.9. Statistica corelațiilor dintre radiația solară globală și precipitațiile medii anuale la Cluj-Napoca, Bistrița și Sibiu (1921-2009).

ORAȘUL	STATISTICA CORELAȚIEI	
	Coeficienții de corelație	p (necorelație)
CLUJ-NAPOCA	-0,15	0,16037
BISTRIȚA	-0,31	0,00295*
SIBIU	-0,33	0,00173*

*Semnificativ la nivelul de 0,01.

Capitolul 5

Concluzii

Radiația solară reprezintă factorul climatogenetic cel mai important. Ea se constituie în sursa energetică de bază în geneza și desfășurarea proceselor și fenomenelor care au loc la suprafața Pământului, și reprezintă factorul fundamental determinant în formarea și evoluția proceselor și fenomenelor atmosferice.

Cercetarea și interpretarea proceselor radiative în interacțiune cu ceilalți factori climatogenetici, respectiv circulația generală a atmosferei și suprafața activă, permite înțelegerea tuturor particularităților locale privind regimul tuturor elementelor climatice.

Pe de altă parte, cunoașterea regimului radiației solare permite evaluarea surselor de energie solară ceea ce asigură rezolvarea unor probleme de ordin practic aplicativ legate de cerințele celor mai variate domenii de activitate.

În acest studiu, a fost analizată evoluția tendințelor radiației solare globale, temperaturii și precipitațiilor la Cluj-Napoca pentru perioada 1921-2009 (89 ani). Pentru a susține rezultatele de la Cluj-Napoca, s-au folosit în analiză date de la încă două stații vecine, și anume Bistrița și Sibiu, deoarece folosirea informațiilor statistice numai de la o stație meteorologică/oraș ar putea fi considerată irelevantă. Chiar dacă aceste două orașe nu sunt situate în zona analizată, variațiile radiațiilor solare, temperaturii și precipitațiilor la Cluj-Napoca ar fi mai credibile dacă ar fi susținute de rezultate similare

la stațiile învecinate. De asemenea, am adăugat în analiză și durata de strălucire solară pentru a face o comparație bună cu evoluția radiației solare globale.

S-a observat că, în cursul perioadei studiate, radiația solară globală anuală, susținută de durata de strălucire solară, temperatura și, în general, precipitațiile anuale, au arătat o tendință de creștere conform ecuației pătratice.

Valorile lui R^2 (coeficientul de determinare) și cei trei indicatori precizie/acuratețe (EPMA/MAPE, DMA/MAD, DMP/MSD) au indicat că, în general, modelul pătratic este cel mai potrivit pentru evoluția radiației solare globale, duratei de strălucire solară, temperaturii și precipitațiilor anuale la toate cele trei stații meteorologice luate în considerare, deoarece oferă o ajustare/potrivire mai bună decât modelele liniare și exponențiale. Potrivit modelului pătratic, radiația solară globală (RSG), durata de strălucire solară, temperatura și precipitațiile anuale au crescut la Cluj-Napoca și Bistrița, în timp ce la Sibiu, situația a fost un pic diferită. Aici, doar RSG și durata de strălucire solară au arătat o tendință de creștere, în timp ce temperatura și precipitațiile au arătat o tendință ușor descrescătoare.

Radiația solară globală (RSG), durata de strălucire solară, temperatura și precipitațiile anuale au fost, de asemenea, examinate din punct de vedere statistic cu ajutorul testului Runs. Rezultatele testului, în funcție de numărul de puncte consecutive care sunt ori toate deasupra, ori toate sub valoarea medie (linia de regresie), nu au indicat nici o variație importantă/specială în seriile de date ale radiației solare globale, duratei de strălucire solară, temperaturii și precipitațiilor la Cluj-Napoca, și că o oscilație ar fi, probabil, mai sugerată/recomandată decât o tendință. Dar pentru că valorile p (p -values) indică tendințe/trenduri semnificative statistic pentru RSG și durata de strălucire solară la Bistrița și Sibiu, putem considera acest lucru ca un semn privind o posibilă tendință la această stație. Tendința pentru durata de strălucire solară la Cluj-Napoca este susținută de tendințele semnificative de la celelalte două stații. În ceea ce privește temperatura, valorile p (p -values) pentru tendință și oscilație sunt aproape egale la Cluj-Napoca, iar celelalte două stații au indicat un posibil trend, ar fi indicat să afirmăm că este mai sugerată o posibilă tendință decât o posibilă oscilație. Pentru precipitații, o oscilație este, probabil, mai sugerată decât o tendință la Cluj-Napoca, deoarece ar fi susținută de o oscilație posibilă la Bistrița. Deoarece valorile p (p -values) pentru tendință și oscilație sunt aproape egale la Sibiu, iar celelalte două stații au indicat o

oscilație, putem spune că o oscilație este, probabil, mai sugerată decât o tendință și la această stație. La Bistrița și Sibiu, testul indică faptul că există o variație semnificativă în evoluția radiației solare globale și duratei de strălucire solară și că se sugerează o tendință deoarece valorile p (p -values) sunt sub nivelul α de 0,05. Nu există nici o variație specială/semnificativă pentru temperatură și precipitații la aceste două stații, dar este sugerată o tendință, respectiv o oscilație.

Deoarece testul Runs a arătat unele variații speciale/semnificative, credem că microciclurile, sugerate în această lucrare, sunt cauzate în principal de variabilitatea naturală a climei, în special prin activitatea solară. Putem trage concluzia că aceste microcicluri (succesiune de fenomene sau manifestări care se realizează într-un anumit interval de timp scurt și care epuizează, în ansamblul lor, evoluția unui anumit proces repetabil) sunt periodice, deoarece seriile de timp de 89 de ani înregistrare la aceste stații sunt lungi și ne ajută să determinăm cu exactitate periodicitățile pe termen lung și să facem o generalizare, o extragere a informațiilor esențiale despre fenomenele climatice.

Aceste micro-oscilații ale radiației solare globale, temperaturii și precipitațiilor multianuale sunt, de asemenea, susținute de către forma curbei cumulative a anomaliei standardizate de radiație solară globală (ASRSG), temperatură (AST) și precipitații (ASP) la toate cele trei stații implicate.

Tendință de creștere semnificativă a RSG poate fi atribuită activității solare. Există tot mai multe dovezi că suma (cantitatea) radiației solare incidente la suprafața Pământului nu este constantă de-a lungul anilor, ci suferă variații decadice semnificative. Prin urmare, putem concluziona că tendința de creștere a radiației solare globale poate fi atribuită variațiilor care au loc în activitatea solară (*Tahâș et al., 2011 a*).

Creșterea sau scăderea temperaturii s-ar putea datora, în parte, fenomenului de încălzire globală sau poate fi legată de variabilitatea naturală a climatului sau de variațiile solare sau poate fi un rezultat al tuturor acestor influențe.

Creșterea de tendinței de temperatură pentru orașul Cluj-Napoca poate fi atribuită unei creșteri a nebulozității. Creșterea nebulozității este, de obicei, asociată cu creșterea temperaturii (*Gadgil și Dhorde, 2005*). De asemenea, efectul de insulă de căldură este responsabil pentru creșterea temperaturii, deoarece zonele construite (orașele) sunt mai

calde decât zonele rurale învecinate (*Tahâş et al., 2011 b*).

În acest studiu, creşterea sau descreşterea cantităţilor de precipitaţii poate fi explicată printr-o variaţie climatică neperiodică la scară microregională. Deoarece schimbările climatice sunt produse pe o scară de timp foarte mare, această tendinţă a precipitaţiilor este mai probabil nu o expresie a schimbărilor climatice globale, ci o variaţie meteorologică (*Tahâş et al., 2011 a*). Deşi procesul fizic al influenţei solare rămâne încă neclar, este foarte posibil ca variabilitatea activităţii solare să poată afecta evoluţia precipitaţiilor în zona de studiu. Cu toate acestea, este destul de dificil de a interpreta rezultatele obţinute în acest studiu, în termeni de cauză şi efect, deoarece avem nevoie de mai mult timp şi să facem studii noi în viitor pentru a înţelege legătura dintre radiaţia solară şi precipitaţii. De asemenea, este necesar să se cunoască mai multe lucruri despre interacţiunea proceselor fizice care determină evoluţia climei.

Prin urmare, cel mai probabil este că această creştere a radiaţiei solare globale şi creşterea sau scăderea temperaturii şi cantităţilor de precipitaţii reprezintă părţi ascendente sau descendente ale unor micro-oscilaţii naturale datorate activităţii sau variaţiilor solare şi variabilităţii naturale a climei (*Tahâş et al., 2011 a*).

Prin folosirea corelaţiei r a lui Pearson, s-a arătat că există o relaţie de legătură pozitivă între radiaţia solară globală şi temperatură, atât la Cluj-Napoca, cât şi la Bistriţa şi Sibiu pentru perioada 1921-2009. Pe termen scurt, la Cluj-Napoca avem tot o relaţie pozitivă (*Tahâş et al., 2011 b*). În ceea ce priveşte cantitatea de precipitaţii, s-a găsit o relaţie de legătură negativă între radiaţia solară globală şi precipitaţii, atât la Cluj-Napoca, cât şi la Bistriţa şi Sibiu pentru perioada 1921-2009.

Bibliografie (selecție)

1. Alexandersson H., (1986). *A homogeneity test applied to precipitation data*. J. of Climatology, 6, 661-675.
2. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, 301.
3. Almorox J. and Hontoria C., (2004). *Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain*. Energy Conversion and Management, 45, 1529–1535.
4. Ångström A., (1924). *Solar and terrestrial radiation*. Quart. J. Roy. Met. Soc., 50, 121–125.
5. Beer J., Vonmoos M., Muscheler R., (2006). *Solar variability over the past several millennia*. Space Science Reviews, 125: 67–79, DOI: 10.1007/s11214-006-9047-4.
6. Bobee B., Ashkar F., (1991). *The Gamma family and derived distribution applied in hydrology*. Water Resources Publications, USA.
7. Bodri L. și Cermak V., (2003). *High frequency variability in recent climate and the North Atlantic Oscillation*. Theor. Appl. Climatol. 74, 33–40.
8. Bogdan Octavia, (2003). *Riscul de mediu și metodologia studierii lui. Puncte de vedere*. Riscuri și catastrofe, II, Editor: Sorocovschi, V., Editura Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, pp. 27-38.
9. Bogdan Octavia, (2004). *Riscuri climatice. Implicații pentru societate și mediu*. Rev. Geogr., Serie nouă, X/2003, pp. 73-81.
10. Buishand T.A., (1982). *Some methods for testing the homogeneity of rainfall data*. Journal of Hydrology, 58, 11-27.

11. Doherty R.M., Hulme M., Jones C.G., (1999). *A gridded reconstruction of land and ocean precipitation for the extended Tropics from 1974–1994*. Int. J. Climatol. 19, 119–142.
12. Gadgil A. și Dhorde A., (2005). *Temperature trends in twentieth century at Pune, India*. Atmospheric Environment **39**, 6550–6556.
13. Gueymard C., Jindra P., Estrada-Cajigal V., (1995). *A critical look at recent interpretations of the Angström approach and its future in global solar radiation prediction*. Solar Energy, 54(5):357–63.
14. Haan C.T., (1977). *Statistical Methods in Hydrology*. The Iowa State Univ. Press, Ames.
15. Hulme M., Osborn T.J., Johns T.C., (1998). *Precipitation sensitivity to global warming: comparison of observations with HadCM2 simulations*. Geophys. Res. 94, 1195– 1210.
16. Jin Y.-H., Kawamura A., Jinno K., Berndtsson R., (2005). *Nonlinear multivariable analysis of SOI and local precipitation and temperature*. Nonlinear Processes in Geophysics 12, 1, 67–74.
17. Karl T.R., Knight R.W., și Plummer N., (1995). *Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century*. Nature 377, 217–220.
18. Koutras M.V., Alexandrou V.A., (1997). *Non-parametric randomness tests based on success runs of fixed length*. Statistics & Probability Letters 32, 4, 393-404.
19. Lozowski E.P., Charlton R.B., Nguyen C.D., Wilson J.D., (1989). *The use of cumulative monthly mean temperature anomalies in the analysis of local interannual climate variability*. Journal of Climate, 2, 9, 1059-1068.
20. Maheras P., Xoplaki E., Kutiel H., (1999). *Wet and dry monthly anomalies across the mediterranean basin and their relationship with circulation, 1860-1990*. Theoretical and Applied Climatology, 64, 3-4, 189-199.
21. Martinez-Lazono J.A., Tena F., Onrubia J.E., De La Rubai J., (1984). *The*

historical evolution of the Angström formula and its modifications: review and bibliography. Agric Forest Meteorol, 33:109–18.

22. Moberg A., Jones P.D., Barriendos M., Bergström H., Camuffo D., Cocheo C., Davies T.D., Demarée C., Martin-Vide J., Mangeri M., Rodriguez R., Şi Verhoeve T., (2000). *Day-today temperature variability trends in 160- to 275-year-long European instrumental records.* J. Geophys. Res. 105, 22, 849–22, 868.
23. Osborn T.J., Hulme M., Jones P.D., Basnett T.A., (2000). *Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation.* Int. J. Climatol. 20, 347–364.
24. Pettitt A.N., (1979). *A non-parametric approach to the change-point problem.* Appl. Statist., 28(2), 126-135.
25. Prescott J.A., (1940). *Evaporation from a water surface in relation to solar radiation.* Trans. R. Soc. Sci. Austr., 64, 114–125.
26. Rebetz M., (2001). *Changes in daily and nightly day-to-day temperature variability during the twentieth century for two stations in Switzerland.* Theor. Appl. Climatol. 69, 13–21.
27. Ristoiu D., (2005). *Fizica mediului-Atmosfera.* Editura Napoca Star, Cluj-Napoca.
28. Rodriguez-Puebla C., Encinas A.H., Nieto S., Garmendia J., (1998). *Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula.* Int. J. Climatol. 18, 299–316.
29. Salas J.D., (1992). *Analysis and modeling of hydrologic time series.* In: Handbook of Hydrology, (Ed. D.R. Maidment), McGraw Hill Book Company, USA, chapter 19.
30. Schönwiese C.D., Rapp J., (1997). *Climate Trend Atlas of Europe Based on Observations 1891–1990.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
31. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. and Miller H.L. (eds.), (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.

32. **Tahâş S.V.**, Ristoiu D., Cosma C., (2011 a). *Analysis of global solar radiation and precipitation trends in Cluj-Napoca, Romania, over the period 1921-2009*. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 6, No. 2, p. 289 – 302.
33. **Tahâş S.V.**, Ristoiu D., Cosma C., (2011 b). *Trends of the global solar radiation and air temperature in Cluj-Napoca, Romania (1984-2008)*. Rom. Journ. Phys., Vol. 56, Nos. 5-6, P. 784-789, Bucharest.
34. Trenberth K.E., (1998). *Atmospheric moisture residence times and cycling: implications for rainfall rates with climate change*. Clim. Change 39, 667– 694.
35. Tung K.K. și Camp C.D., (2008). *Solar Cycle Warming at the Earth's Surface in NCEP and ERA-40 data: A linear Discriminant Analysis*. Journal of Geophysical Research, 113, D05114, doi:10.1029/2007JD009164.
36. Von Neumann J., (1941). *Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance*. Ann. Math. Stat., 12, 367-395.
37. World Meteorological Organization, (1983). *Guide to climatological practices*, Second edition. No. 100, 5.30 p.
38. Zhao J., Han Y.B. și Li Z.A., (2004). *The Effect of Solar Activity on the Annual Precipitation in the Beijing Area*. Chin. J. Astron. Astrophys. Vol. 4, No. 2, 189– 197.
39. ***Clima Republicii Socialiste România, (1962), vol. I, p.115, București.
40. ***IPCC (2001). *Climate change 2001: synthesis report. Contribution of Working Group I and III to the Third Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge.
41. *** <http://www7.ncdc.noaa.gov/IPS/mcdw/mcdw.html>

42. *** <http://www.tutiempo.net/en/Climate/Romania/RO.html>