

UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA DE GEOLOGIE ȘI GEOFIZICĂ
ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOLOGIE

Rezumat teză de doctorat:

*Studiul variației temporale a fenomenelor
geomagnetice tranzitorii de perioadă scurtă din
date de observator*

Conducător științific:

Prof. dr. ing. Victor MOCANU

Doctorand:

Ing. Luminița IANCU

București, 2019

CUPRINS

INTRODUCERE	4
Partea I. CONTEXTUL ȘTIINȚIFIC PE PLAN NAȚIONAL ȘI INTERNAȚIONAL	5
CAPITOLUL 1 - INTRODUCERE ÎN CÂMPUL MAGNETIC AL PĂMÂNTULUI	6
1.1 SCURT ISTORIC	6
1.2 CÂMPUL MAGNETIC TERESTRU	7
1.2.1 Elementele câmpului magnetic terestru	7
1.3 SURSELE CÂMPULUI MAGNETIC	8
1.3.1 Sursele interne.....	9
1.3.2 Sursele externe.....	9
1.4 FUNDAMENTAREA FIZICO - MATEMATICĂ.....	10
1.4.1 Descrierea spațială	11
1.4.2. Exemple de modele globale	14
1.4.2.1 IGRF	14
1.4.2.2 CM 4	14
1.4.2.3 GRIMM (GFZ Reference Internal Magnetic Models).....	14
CAPITOLUL 2 - VARIAȚIILE GEOMAGNETICE TEMPORALE ÎNREGISTRATE ÎN OBSERVATOARE GEOMAGNETICE	15
2.1 TIPURI DE VARIAȚII GEOMAGNETICE.....	15
2.1.1 Variațiile diurne calme	17
2.2 VARIAȚII SPAȚIO TEMPORALE DE PERIOADĂ SCURTĂ DE TIMP	18
2.3. VARIAȚIILE CALME CU DESFĂȘURARE LUNGĂ ÎN TIMP	18
2.4. VARIAȚIILE REGULATE ALE CÂMPULUI GEOMAGNETIC	19
2.5 EVENIMENTE MAGNETICE INDIVIDUALE PRODUSE DE PERTURBAȚIILE GEOMAGNETICE.....	20
2.5.1. Impulsuri bruște (SI) și începuturi bruște de furtuni (ssc)	20
2.5.2. Erupții cromosferice (sfê)	20
2.5.3. Golfurile magnetice (b).....	21
2.5.4. Spectrul geomagnetic și pulsațiile magnetice	22
2.6 INDICII GEOMAGNETICI	22
2.6.1 Indicele K.....	23
2.6.2 Indicii C, Ci.....	24
2.6.3 Indicele Ap.....	24
2.6.4 Indicele aa.....	25
2.6.5 Indicele Dst.....	25
CAPITOLUL 3 - MĂSURAREA CÂMPULUI GEOMAGNETIC ÎN OBSERVATOARE GEOMAGNETICE	26

3.1 OBSERVATOARE GEOMAGNETICE	26
3.4 EVOLUȚIA APARATURII PENTRU MĂSURĂTORI ABSOLUTE UTILIZATĂ ÎN OBSERVATORUL GEOMAGNETIC NAȚIONAL SURLARI.....	28
PARTEA a –II – a CONTRIBUȚII LA ÎNȚELEGEREA VARIATIILOR TEMPORALE ALE CÂMPULUI GEOMAGNETIC	29
CAPITOLUL 4 - ANALIZA VARIATIILOR TEMPORALE DE PERIOADĂ SCURTĂ PENTRU PERIOADA 1996 – 2016.....	30
4.1 ACHIZIȚIONAREA DATELOR ÎNREGISTRATE ÎN DIVERSE OBSERVATOARE GEOMAGNETICE.....	31
4.1.1 Noțiuni introductive	32
4.1.2 Observatoare utilizate.....	33
4.1.3 Descrierea observatoarelor și a aparaturii folosite	33
4.1.3.1 Observatorul Geomagnetic Național Surlari (SUA)	33
4.1.3.2 Chambon la Foret (CLF).....	34
4.1.3.3 Observatorul Kakioka	34
4.1.3.4 Observatorul Hermanus (HER).....	34
4.1.3.5 Observatorul Novosibirsk (NVS).....	34
4.1.3.6 Observatorul Niemegk (NGK).....	34
4.1.3.7 Observatorul Tamanrasset (TAM).....	35
4.1.3.8 Observatorul Ottawa (OTT).....	35
4.2. VARIATIILE TEMPORALE.....	35
4.2.1 SSC	36
4.2.2 Indici planetari Kp	37
4.2.3 Petele solare	38
4.2.4 Dst.....	40
4.3 CORELAȚII ÎNTRE SSC, PETE SOLARE, Dst, Kp	41
CAPITOLUL 5 - ANALIZA SPAȚIO - TEMPORALĂ A CÂMPULUI GEOMAGNETIC PENTRU EUROPA ÎN PERIOADA 1996 – 2016.....	46
5.1 NOȚIUNI INTRODUCTIVE	46
5.2 MODELAREA CÂMPULUI GEOMAGNETIC.....	47
5.2.1 Declinația (D).....	49
5.2.2 Înclinația (I).....	50
5.2.3 Intensitatea totală (F).....	50
5.2.4 Componenta X	50
5.2.5 Componenta Y	50
5.2.6 Componenta Z.....	51
CONCLUZII	53
BIBLIOGRAFIE.....	55

INTRODUCERE

În acest studiu se analizează perturbațiile geomagnetice, cu precădere furtunile geomagnetice intense, astfel la prelucrarea datelor de observație de la 8 observatoare din cadrul INTERMAGNET, s-a avut în vedere aplicarea a două procedee specifice: separarea câmpului magnetic perturbat de partea sa periodică, regulată, și evaluarea cât mai obiectivă, prin metode cantitative, a gradului de perturbație magnetică.

Lucrarea de față, intitulată "*Studiul variației temporale a fenomenelor geomagnetice tranzitorii de perioadă scurtă din date de observator*", are ca obiectiv pe de-o parte comparația datelor geomagnetice înregistrate în perioada 1996-2016 de 8 observatoare care fac parte din rețeaua INTERMAGNET, acestea aflându-se la latitudini diferite, cât și modelarea câmpului geomagnetic pentru aceeași perioadă din zona Europei între $30^\circ / 80^\circ$ latitudine N și $-10^\circ / -50^\circ$ longitudine E .

Structura lucrării este împărțită în două părți și anume : Partea I "*Contextul științific pe plan național și internațional*" și Partea a II-a "*Contribuții la înțelegerea variațiilor temporale ale câmpului geomagnetic*".

În capitolul 1 începe cu un scurt istoric, mai apoi este descris câmpul magnetic terestru, elementele și sursele acestuia, fundamentarea fizico-matematică ce cuprinde o descriere spațială și urmată de câteva exemple ale modelelor globale.

În capitolul 2 sunt descrise variații geomagnetice, evenimente magnetice individuale produse de perturbațiile geomagnetice și indici geomagnetici.

În capitolul 3 sunt prezentate informații despre observatoarele geomagnetice, aparatura utilizată în cadrul acestora și în cadrul Observatorului Geomagnetic Național Surlari.

În capitolul 4 este prezentată achiziționarea datelor înregistrate în diverse observatoare geomagnetice, variațiile temporale și corelații între acestea.

În capitolul 5 sunt prezentate noțiuni introductive și modelarea câmpului geomagnetic pentru fiecare componentă în parte.

Teza se încheie cu secțiunea Concluzii, urmată de Bibliografia lucrării și Anexe.

**Partea I. CONTEXTUL ȘTIINȚIFIC PE PLAN
NAȚIONAL ȘI INTERNAȚIONAL**

CAPITOLUL 1 - INTRODUCERE ÎN CÂMPUL MAGNETIC AL PĂMÂNTULUI

1.1 SCURT ISTORIC

Câmpul magnetic terestru (geomagnetic) a fost printre primele subiecte de studiu din istoria omenirii.

În anul 1492 când Columb naviga în Atlantic a descoperit că în zona centrală a oceanului orientarea acului magnetic se schimbă de la o orientare spre est la una spre vest, ceea ce sugerează o modificare a declinației către valori negative.

În 1634, Henry Gellibrand a dovedit că declinația variază în funcție de poziție și are și o ușoară variație în timp. Două secole mai târziu, în 1830, Gauss, Humbold și Weber pun bazele primei rețele de măsurători geomagnetice sincrone, cu ajutorul a 50 de observatoare geomagnetice din care doar 15 erau din afara Europei.

Gauss a fost cel care a făcut posibilă pentru prima dată măsurarea intensității câmpului geomagnetic datorită dezvoltării unor instrumente specifice. Nouă ani mai târziu, în 1839, tot Gauss a făcut posibilă separarea efectelor surselor magnetice interne de cele externe prin utilizarea unei tehnici matematice bazate pe expansiunea funcțiilor armonice sferice, tehnică standardizată astăzi ca soluție în analiza câmpului geomagnetic.

În 1851 Von Humboldt publică lucrarea lui Heinrich Schwabe care din 1843 face cunoscute primele descoperiri legate de existența petelor solare. Sabine pune în evidență furtunile magnetice iar Richard Carrington observă corelația dintre petele și erupțiile solare care sunt urmate de cele mai multe ori de furtuni magnetice.

În prezent fenomenologia spațio-temporală a câmpului magnetic al Pământului este monitorizată continuu, atât din spațiu, cu ajutorul constelației de sateliți SWARM ai Agenției Spațiale Europene, cât și de la sol, cu ajutorul a aproximativ 130 de observatoare geomagnetice planetare din rețeaua INTERMAGNET și a numeroase stații de repetiție. Observatorul Geomagnetic Național Surlari, înființat în 1943 ca stație de referință.

În ultimii ani, precizia măsurătorilor de câmp magnetic a crescut simțitor datorită instrumentelor de măsură perfecționate atât pentru observatoare cât și pentru sateliți.

1.2 CÂMPUL MAGNETIC TERESTRU

Câmpul geomagnetic este definit ca și câmpul magnetic produs de totalitatea surselor din interiorul și din afara planetei noastre, începând de la nivelul nucleului lichid-mantaua inferioară până la partea superioară a magnetosferei-magnetopausa. Și dincolo de această limită, considerăm și contribuția câmpului magnetic interplanetar ce este generat de activitatea solară, respectiv de deplasarea plasmei ejectate de soare sub forma vântului solar.

1.2.1 Elementele câmpului magnetic terestru

Câmpul magnetic este o mărime fizică vectorială ce caracterizează spațiul din vecinătatea unui magnet, electromagnet sau a unei sarcini electrice în mișcare.

În figura 1.1 sunt reprezentate elementele câmpului magnetic terestru, unde D reprezintă declinția magnetică, I - înclinația magnetică, X - componenta orizontală pe direcția nordică, Z - componenta verticală a câmpului magnetic, Y - componenta orizontală pe direcția estică, H - componenta orizontală a câmpului magnetic și F intensitatea totală.

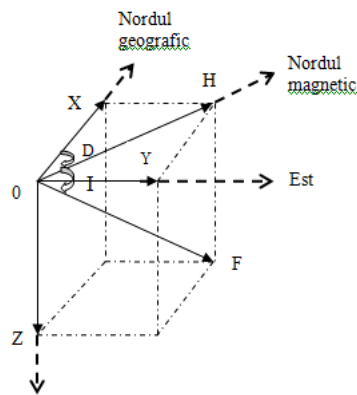


Fig. 1.1 Elementele câmpului magnetic terestru raportate la sistemul de coordonate geografice
(adaptat după Manda și Thebault 2007)

Legătura dintre elemente este dată de următoarele relații:

$$F^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 = H^2 + Z^2, H^2 = X^2 + Y^2$$

$$\operatorname{tg} I = \frac{Z}{H}, \operatorname{tg} D = \frac{Y}{X}$$

$$X = H \cos D, Y = H \sin D, H = F \cos I, Z = F \sin I$$

Vectorii câmp pot fi reprezentați și în coordonate sferice astfel:

$$X = -B_\theta, Y = B_\phi, Z = -B_r,$$

iar câmpul total (scalar) este :

$$B = (B_r^2 + B_\theta^2 + B_\phi^2)^{-\frac{1}{2}} \quad (1.1)$$

Declinația magnetică este unghiul dintre direcția nordului geografic și direcția nordului magnetic într-un punct dat și se măsoară în grade. Declinația se măsoară în sens orar și are valori în intervalul $0 - 360^\circ$. Liniile care unesc punctele cu aceeași valoare a declinației magnetice se numesc izogone.

Înclinația magnetică este unghiul dintre orizontala locului și planul acului magnetic, aceasta are valori în intervalul $-90^\circ \div +90^\circ$.

Descrierea completă a câmpului geomagnetic poate fi posibilă prin determinarea a cel puțin trei dintre elementele câmpului descrise mai sus : (D,H,Z) , (X,Y,Z) sau (D,I,H) .

1.3 SURSELE CÂMPULUI MAGNETIC

Câmpul magnetic al Pământului, numit și câmp geomagnetic, este definit ca și câmpul magnetic produs de toate sursele din interiorul și exteriorul Pământului solid până la magnetopauza, limita în care se manifestă câmpul magnetic. Dincolo de această limită se manifestă câmpul magnetic interplanetar (IMF), generat de activitatea solară, transportat fiind de vântul solar.

Câmpul magnetic măsurat la suprafața Pământului provine din suma vectorială a mai multor câmpuri, având surse diferite.

1.3.1 Sursele interne

Planetele sistemului nostru solar sunt categorisite în funcție de compoziția lor primară: cele terestre, cum ar fi Pământul, Marte, Venus, Mercur, la care se adaugă și satelitul Luna, sunt compuse în principal din roci silicatică, oxizi și elemente metalice. Pentru aceste corpuri terestre trei mecanisme pot fi considerate generatoarele câmpului intern : un dinam activ, sursele remanente din crustă și inducția magnetică.

Câmpul magnetic principal este generat de curenții electrici din nucleul lichid al Pământului și de scurgerile de curent în mantaua adâncă, iar câmpul magnetic crustal rezultă din magnetizarea indusă sau remanentă a materialelor din crustă.

Structura internă a Pământului, este format din nucleu, manta și crustă .

Câmpul magnetic principal

Câmpul magnetic principal reprezintă partea cea mai importantă a câmpului geomagnetic aproximativ 94 %, acesta se menține aproximativ constant în timp.

Câmpul magnetic principal este produs de sursele din nucleul Pământului, iar intensitatea acestuia variază între 70000 nT la poli și aproximativ 20000 nT la ecuator.

Cea mai importantă variație a câmpului magnetic principal, observată la nivel planetar este Anomalia Atlanticului de Sud. Schimbarea pe termen lung a câmpului magnetic de bază, pentru scalele temporale care acoperă intervalul de zeci de ani până la secole, se numește *variație seculară*. Măsurătorile pentru cele două unghiuri ale câmpului, declinația și înclinația, s-au realizat mai devreme decât observațiile vectorului complet.

1.3.2 Sursele externe

Componenta principală a câmpului magnetic este creată de procesele și materialele din interiorul Pământului, totuși la această componentă internă trebuie adăugate sursele externe generate de curenții din ionosferă și magnetosferă. Câmpurile magnetosferice și ionosferice sunt rezultatul interacțiunii dintre Soare și Pământ. Ele variază în timp, de la secunde la decade, cu o periodicitate zilnică, sezonieră, semianuală și anuală. Alte variații sunt ciclurile solare de 11 și 22 de ani.

Magnetosfera este regiune din spațiu dominată de câmp magnetic, această

regiune este modelată de interacțiunea mișcărilor plasmei din vântul solar cu câmpul geomagnetic.

Lățimea magnetosferei este de aproximativ 190000 km.

Pământul este înconjurat de o magnetosferă, însă și Mercur, Jupiter, Saturn, Uranus și Neptun au câmp magnetic intrinsec.

Ionosfera este partea superioară a atmosferei, caracterizată de o ionizare produsă de radiația solară, aceasta fiind divizată în trei straturi și anume : stratul D (60-90 km), E (90 – 150 km) și stratul F (150 – 800 km) (Isac A., 2012).

Ionosfera se extinde până la altitudini de peste 1000 km, iar la latitudini joase și medii se conturează plasmafera. Plasmasfera este un volum în forma de cerc tridimensional (torus) în interiorul curențului.

În atmosferă, mai ales la altitudini de 100 -150 km, în stratele conductive ale ionosferei Pământului există numeroase sisteme de curenți, printre care amintim : electrojetul auroral (AEJ) în zonele polilor magnetici, electrojetul ecuatorial (EEJ), în zona ecuatorului magnetic și variația diurnă solară –Sq-în zonele medii și joase ale ionosferei.

În timpul furtunilor magnetice, fluxurile pot fi mai puternice, asemenea câmpului magnetic interplanetar apărut între două corpuri celeste, determinând conturbarea ionosferei ca răspuns la furtuni. Aceste tulburări afectează calitatea comunicațiilor radio și a sistemelor de navigare, putând afecta astronauții din aceste regiuni, celulele solare ale sateliților artificiali, indicația busolelor și acțiunea radarelor.

1.4 FUNDAMENTAREA FIZICO - MATEMATICĂ

Începând cu Gauss, oamenii de știință și matematicieni au pus la punct tehnici pentru a descrie forma câmpului magnetic al Pământului. În funcție de datele disponibile și funcțiile de bază, aceste modele pot fi globale sau regionale, dependente de timp sau static.

Descrierea matematică a diferitelor tipuri de modele de câmp, trecutul lor fizic și aplicabilitate sunt subiectul din acest capitol.

1.4.1 Descrierea spațială

Câmpul magnetic al Pământului este un fenomen mondial, prin urmare abordarea cea mai evidentă este de a-l descrie la nivel global. Pentru a descrie câmpul magnetic al Pământului, un bun punct de plecare îl constituie ecuațiile Maxwell:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (1.3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (1.4)$$

unde \vec{H} este câmpul magnetic, \vec{B} este inducția magnetică, \vec{J} este densitatea curentului electric, iar $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ este deplasarea curentului electric. Cu excepția regiunilor cu furtuni însoțite de descărcări electrice, regiunea cuprinsă între suprafața Pământului și altitudinea de 50 km pot fi considerate ca fiind un vid electromagnetic. Este rezonabil să presupunem că $\vec{J} = \mathbf{0}$ și $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \mathbf{0}$. Se știe că $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ la suprafața Pământului, unde $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H} \cdot \text{m}^{-1}$ este permeabilitatea în vid.

În continuare vom nota cu \vec{B} câmpul magnetic și poate fi scris $\nabla \times \vec{B} = 0$, ceea ce înseamnă că vectorul câmp este conservativ în zona de interes iar \vec{B} poate fi exprimat ca $\vec{B} = \vec{\nabla}V$, unde V este potențialul scalar. În general rezultă că $\nabla \times \vec{B} = 0$, iar V trebuie să satisfacă ecuația lui Laplace :

$$\nabla^2 V = 0 \quad (1.5)$$

În coordonate sferice (r, θ, Φ) ecuația lui Laplace devine:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial^2 (rV)}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \Phi^2} = 0 \quad (1.6)$$

unde r este distanța de la centrul Pământului, θ este colatitudinea (unghiul polar) măsurat de la polul nord și Φ este longitudinea (unghiul de azimut) măsurată de la meridianul Greenwich. În geomagnetism această ecuație este exprimată sub forma:

$$V(r, \theta, \Phi) = a \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left\{ [A_{n,m} \cos m\Phi + B_{n,m} \sin m\Phi] \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} + [C_{n,m} \cos m\Phi + D_{n,m} \sin m\Phi] \left(\frac{r}{a}\right)^n \right\} P_{n,m}(\cos\theta) \quad (1.7)$$

unde : $A_{n,m}$, $B_{n,m}$, $C_{n,m}$, $D_{n,m}$ sunt funcțiile armonice sferice și $P_{n,m}(\cos\theta)$ sunt polinoamele Legendre asociate.

În geomagnetism sunt folosite funcțiile Schmidt parțial normalizate (Stacey,1992):

$$P_n^0(\theta) = P_{n,0}(\theta) \quad m=0$$

$$P_n^m(\theta) = \left[\frac{2(n-m)!}{(n+m)!} \right]^{\frac{1}{2}} P_{n,m}(\theta) \quad m>0$$

iar soluția poate fi rescrisă astfel:

$$V(r, \theta, \Phi) = a \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left\{ [g_n^m \cos m\Phi + h_n^m \sin m\Phi] \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} + [q_n^m \cos m\Phi + s_n^m \sin m\Phi] \left(\frac{r}{a}\right)^n \right\} P_n^m(\cos\theta) \quad (1.8)$$

Suprafața armonicelor $P_n^m(\cos\theta)\sin m\phi$ și $P_n^m(\cos\theta)\cos m\phi$ divide suprafața sferei în regiuni definite de intersecția zonelor latitudinale și a sectoarelor longitudinale. Apar următoarele trei situații:

- 1) când $m = 0$, suprafața armonicelor sferice este descrisă de polinoamele Legendre și se referă la armonicile zonale;
- 2) când $n = m$, suprafața armonicelor sferice se referă la armonicile sectoriale;
- 3) când $0 < m < n$, suprafața este împărțită în : $2m(n-m+1)$ regiuni și suprafața armonicelor se referă la armonicile tesseral.

Aplicarea armonicelor sferice la nivelul câmpului magnetic al Pământului implică scrierea potențialului scalar magnetic ca suma a două contribuții:

$$V = V_{\text{int}} + V_{\text{ext}} \quad (1.9)$$

unde V_{int} și V_{ext} reprezintă potențialul scalar intern respectiv extern. Acestea două potențiale pot fi reprezentate de armonicile sferice :

$$V_{\text{int}} = a \sum_{n=1}^{N_i^{\text{max}}} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos(m\Phi) h_n^m \sin(m\Phi)) P_n^m(\cos(\theta)) \quad (1.10)$$

$$V_{\text{ext}} = a \sum_{n=1}^{N_e^{\text{max}}} \left(\frac{r}{a}\right)^n \sum_{m=0}^n (q_n^m \cos(m\Phi) s_n^m \sin(m\Phi)) P_n^m(\cos(\theta)) \quad (1.11)$$

unde : a – este raza de referință a Pământului, de 6371,2 km

r – distanța de la punctul de măsură la centrul Pământului

g_n^m și h_n^m - sunt coeficienții Gauss pentru sursele interne, iar q_n^m și s_n^m pentru sursele externe, exprimați în nT, iar n este gradul, iar m ordinul termenilor dezvoltării funcțiilor armonice sferice.

P_n^m - reprezintă funcția asociată polinomului Legendre de ordin m și grad n.

Înlocuind componentele câmpului magnetic în ecuația (1.8) vom obține următoarea dezvoltare în armonice sferice :

$$X = -\frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left\{ [g_n^m \cos m\Phi + h_n^m \sin m\Phi] \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} + [q_n^m \cos m\Phi + s_n^m \sin m\Phi] \left(\frac{r}{a}\right)^{n-1} \right\} \frac{dP_n^m(\theta)}{d\theta} \quad (1.12)$$

$$Y = -\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \Phi} = \frac{1}{\sin \theta} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n m \left\{ [g_n^m \sin m\Phi - h_n^m \cos m\Phi] \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} + [q_n^m \sin m\Phi - s_n^m \cos m\Phi] \left(\frac{r}{a}\right)^{n-1} \right\} P_n^m \quad (1.13)$$

$$Z = -\frac{\partial V}{\partial r} = -\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left\{ (n+1) [g_n^m \cos m\Phi + h_n^m \sin m\Phi] \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} - n [q_n^m \cos m\Phi + s_n^m \sin m\Phi] \left(\frac{r}{a}\right)^{n-1} \right\} P_n^m(\theta) \quad (1.14)$$

Ținând cont de aceste formule și dacă se cunosc coeficienții Gauss, g_n^m și h_n^m , atunci putem determina câmpul magnetic în orice punct de pe suprafața Pământului. Coeficienții Gauss pot fi determinați folosind metoda celor mai mici pătrate din

valorile măsurate ale câmpului geomagnetic în observatoarele geomagnetic. Particularizând expresiile componentelor pentru o sferă de rază $r=a$ unde cunoaştem aceste valori se va obţine:

$$X = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \{[(g_n^m + q_n^m)\cos m\Phi + (h_n^m + s_n^m)\sin m\Phi]\} \frac{dP_n^m(\theta)}{d\theta} \quad (1.15)$$

$$Y = \frac{1}{\sin\theta} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n m\{[(g_n^m + q_n^m)\sin m\Phi - (h_n^m + s_n^m)\cos m\Phi]\} P_n^m(\theta) \quad (1.16)$$

$$Z = - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \{[(n+1)g_n^m - nq_n^m]\cos m\Phi - [(n+1)h_n^m - ns_n^m]\sin m\Phi\} P_n^m(\theta) \quad (1.17)$$

1.4.2. Exemple de modele globale

1.4.2.1 IGRF

IGRF reprezintă câmpul geomagnetic internaţional de referinţă, acesta permite valori la faţa locului a vectorul câmp geomagnetic şi poate fi calculat oriunde în afara miezului Pământului în spaţiu.

Este furnizat de către IAGA (Asociaţia Internaţională de Geomagnetism şi Aeronomie) încă din anul 1969 şi a fost produs de Grupul de lucru V – MOD.

1.4.2.2 CM 4

Cea de-a patra versiune a modelului a fost dezvoltată de Sabaka et. al. în 2004 şi iau în calcul pe lângă sursele interne ale câmpului geomagnetic şi sursele externe şi le determină în mod separat.

Modelul CM4 este aplicat si pentru câmpul magnetosferic asemănător câmpului ionosferic, existând o modelare funcţie de indicele de perturbaţie geomagnetică Dst.

1.4.2.3 GRIMM (GFZ Reference Internal Magnetic Models)

GRIMM este un acronim pentru un model magnetic propus de GFZ şi are ca scop descrierea a două dintre principalele surse interne ale câmpului geomagnetic:

nucleul și litosfera.

În decursul timpului au fost lansate mai multe modele GRIMM (GRIMM-1, GRIMM-2, GRIMM-3).

Modelul GRIMM este agreeat și de alte modele existente și nu diferă cu mult de alte modele.

CAPITOLUL 2 - VARIAȚIILE GEOMAGNETICE TEMPORALE ÎNREGISTRATE ÎN OBSERVATOARE GEOMAGNETICE

Când interacionează vântul solar cu câmpul magnetic al Pământului se creează un sistem de curenți magnetosferici și ionosferici.

Efectele acestor curenții se manifestă la suprafața Pământului, mai ales în zonele polare ca subfurtuni, iar în cazul unor curenți mai puternici se pot însuma, devenind furtuni magnetice la scara întregului Glob.

Variațiile geomagnetice pot fi împărțite în : variații calme și variații perturbate.

Variațiile calme, prezintă un mers monoton, neted, pe când variațiile perturbate au un mers mai mult sau mai puțin haotic, după gradul de perturbare. Perturbațiile mai haotice (furtunile magnetice), prezintă o foarte mare intensitate, acestea se resimt simultan pe întregul glob și pot dura câteva zile.

2.1 TIPURI DE VARIAȚII GEOMAGNETICE

Prelucrarea datelor obținute din înregistrări la observatoarele magnetice pun în evidență o serie de tipuri de variații geomagnetice, ele pot fi puse în evidență prin cercetarea înregistrărilor obținute la un observator magnetic în felul următor:

a) curbele de variație diurnă pentru o lună ale elementelor care se înregistrează în mod obișnuit la un observator magnetic se obțin luând toate valorile medii orare, pentru aceeași oră, și efectuând media pentru toate zilele lunii. Din reprezentarea

acestor valori în funcție de timp se obține curba de *variație diurnă pentru luna respectivă*. Aceasta se notează de obicei cu S (figura 2.1) .

b) dacă, în loc sa se ia în considerație toate zilele lunii, se iau numai cinci zile, cele mai liniștite din lună, și se efectuează media, se va pune în evidență variația diurnă solară în zilele liniștite, notată de obicei cu S_q . Cu excepția observatoarelor aflate la latitudini mari și cu excepția lunilor în care au loc multe furtuni magnetice, curba de *variație diurnă* obținută *pentru cele cinci zile mai liniștite ale lunii* se aseamănă cu curba obținută pentru toate zilele (figura 2.2). dacă se iau în considerare cele cinci zile mai agitate ale lunii și se face și pentru acestea media și apoi se reprezintă grafic, se va pune în evidență un alt tip de variație și anume *variația diurnă solară în zile perturbate*, care de obicei se notează cu S_d (figura 2.3).

c) dacă se compară variațiile S_q , S și S_d , se observă că diferența între ele, adică S_q , pe de o parte, S și S_d , pe de altă parte, prezintă deosebiri sistematice. Această diferență este mai mare pentru $S_d - S_q$ decât pentru $S - S_q$ și se datorează perturbațiilor. Acest tip se numește *variație diurnă de perturbație* și se notează cu S_p .

d) printr-o prelucrare puțin diferită care ține seama de ziua lunară, adică de faptul că o rotație completă a Lunii în jurul Pământului se face în aproximativ 24 ore 50 minute (ore solare), se poate pune în evidență un tip de variație numit *variație diurnă lunară*, se notează cu L .

Variațiile elementelor magnetice, care au loc în timpul furtunilor magnetice, nu sunt cu totul neregulate, ele prezintă o parte cu caracter regulat.

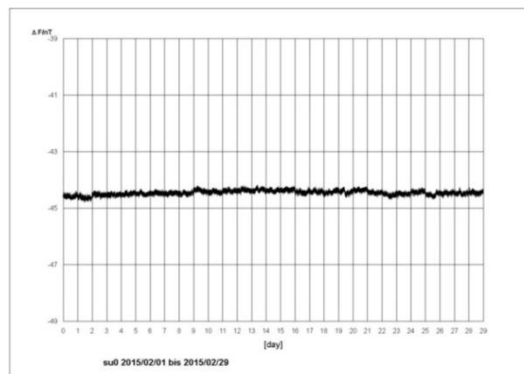


Fig.2.1 Reprezentarea grafică a mediilor orare zilnice pentru luna Februarie 2015, folosind valorile la minut ale Observatorului Geomagnetic Național Surlari (SUA)

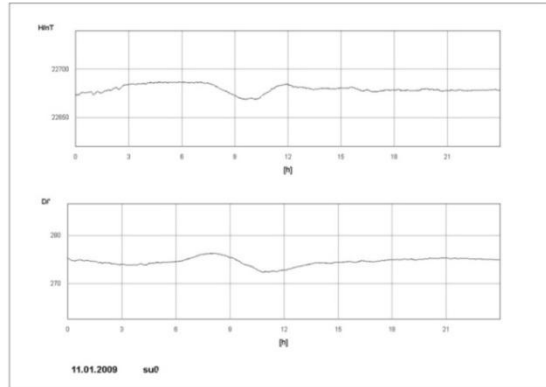


Fig. 2.2 Reprezentarea grafică a unei zile calme din luna Ianuarie 2009, înregistrată la Observatorul Geomagnetic Național Surlari (11.01.2009)

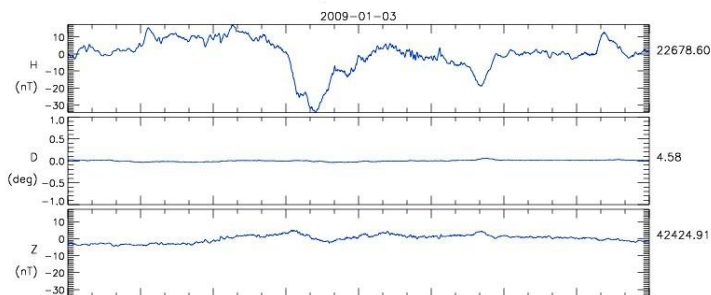


Fig. 2.3 . Reprezentarea grafică a unei zile agitate din luna Ianuarie 2009, înregistrată la Observatorul Geomagnetic Național Surlari 03.01.2009;

2.1.1 Variațiile diurne calme

Variațiile calme diurne sunt caracterizate în special prin stricta lor periodicitate, prin dependența lor de timpul local și de latitudine și prin cvasiindependența de longitudine.

a) Variația S_q

Caracteristicile principale ale variației S_q . Materialul care stă la baza studiului asupra variației diurne solare calme constă îndeosebi din curbele medii de variație obținute pe baza înregistrărilor la diferite observatoare.

Aceasta este *variația anuală* și se notează cu A .

b) Variația diurnă lunară L , este caracterizată prin amplitudinea ei redusă (Ionescu F., 1968), (aproximativ o zecime din cea a variației S_q), ca și perioada de 25 ore și dependența de timpul lunar local, variația L poate fi determinată statistic ca o medie pentru toate zilele dintr-un interval de timp dat sau pentru toate zilele dintr-un grup de aceleași luni din diferiți ani.

2.2 VARIAȚII SPAȚIO TEMPORALE DE PERIOADĂ SCURTĂ DE TIMP

Putând fi puse în evidență exclusiv prin prelucrări adecvate ale înregistrărilor continue și caracterizate în comun prin amplitudinea mică a lor, variațiile calme cu o foarte lentă desfășurare în timp a lor, variațiile calme cu o foarte lentă desfășurare în timp sunt la fel lipsite de importanță practică.

a) *Variația anuală*. O bună determinare a ei necesită efectuarea de medii pentru mai mulți ani.

b) *Variația bienală*. Această variație are o amplitudine extrem de mică (1 – 3 nT) și studiul ei se efectuează cu ajutorul procedurilor statistice adaptate special acestui scop.

c) *Variația undecenală*. Are amplitudinile la fel ca și variația anuală, dar întinzându-se în timp pe un întreg ciclu de activitate solară, variația undecenală necesită de asemenea mijloace statistice pentru punerea ei în evidență.

2.3. VARIAȚIILE CALME CU DESFĂȘURARE LUNGĂ ÎN TIMP

Variațiile geomagnetice sunt rezultatul unor fenomene petrecute în magnetosferă și ionosferă, însă un rol important îl au curenți electrici de origine ionosferică și magnetosferică, dar și undele electromagnetice dintr-un domeniu larg de frecvență.

Vântul solar este una dintre sursele de energie pentru magnetosfera Pământului. Caracteristicile vântului solar prezintă variații puternice ce influențează forma și dimensiunea magnetosferei.

Variația seculară se determină din valorile medii anuale succesive ale elementelor geomagnetice. Curbele de variație seculară se obțin prin diferențierea curbelor de câmp geomagnetic și în general prezintă un aspect liniștit care reflectă mișcările corespunzătoare ale nucleului fluid al Pământului.

2.4. VARIAȚIILE REGULATE ALE CÂMPULUI GEOMAGNETIC

Variațiile regulate ale câmpului geomagnetic sunt legate de mișcările de rotație/sau orbitale ale Pământului, Soarelui și Lunii. Cea mai importantă este variația diurnă sau variația diurnă solară, care are o amplitudine de ordinul 10 – 100 nT.

Există două variații periodice bine cunoscute, variația solară diurnă și variația lunară diurnă.

Variația solară diurnă regulată depinde de perioada anului, de activitatea solară și de latitudinea geomagnetică și este importantă în acest context deoarece aprecierea obiectivă a "stării de perturbație geomagnetică" trebuie raportată în mod convențional la așa – numitul "mers diurn neperturbat" evidențiat pe înregistrările din zilele de calm magnetic (figura 2.2).

Observatoarele furnizează variația solară diurnă medie pentru diferite luni ale anului precum și pentru toate zilele calme și perturbate. Pe baza activității indicilor K, cele 5 zile calme și perturbate sunt selectate foarte rapid după sfârșitul fiecărei luni a anului de către International Service of Geomagnetic Indices (Paris) și distribuite tuturor celor interesați de această informație. Variația câmpului magnetic din zilele calme se numește variație solară calmă sau *variație Sq* (Ionescu F., 1968). Pentru zilele perturbate, variația corespunzătoare timpului local se numește *variație S_D* (Ionescu F., 1968). Variația corespunzătoare unei furtuni magnetice se numește *variație D_{st}*. Astfel furtuna are aceeași desfășurare pe întreg globul.

Orice procedeu de evaluare a gradului de perturbație magnetică trebuie să debuteze cu separarea, în cadrul câmpului magnetic datorat cauzelor externe, a fenomenelor variaționale produse de radiația EM de cele produse de radiația corpusculară.

2.5 EVENIMENTE MAGNETICE INDIVIDUALE PRODUSE DE PERTURBAȚIILE GEOMAGNETICE

Pe magnetogramele analogice se evidențiază și evenimentele magnetice aperiodice cu o morfologie foarte diferită. Pentru acest motiv este util ca observatoarele geomagnetice să păstreze în funcțiune și înregistratoarele analogice. Câteva caracteristici de alură și amplitudine permit individualizarea acestor evenimente în câteva tipuri, interesante de studiat, datorită faptului că ele reflectă cauze externe legate de zone diferite din magnetosferă. În prezent sunt adoptate de comunitatea științifică internațională următoarele tipuri individuale:

2.5.1. *Impulsuri bruște (SI) și începuturi bruște de furtuni (ssc)*

Impulsurile bruște SI (sudden impulses) sunt adesea urmărite pe magnetograme ca niște salturi bruște ale traselor de câteva minute cu amplitudinea fie pozitivă, fie negativă, de câțiva nT. Uneori ele preced începutul unei furtuni magnetice. În unele cazuri, impulsul brusc se identifică cu un început brusc de furtună *ssc (storm sudden commencement)*. Ssc este o schimbare rapidă a câmpului magnetic în sus sau jos, cu câțiva nT sau zeci de nT (figura 2.4).

2.5.2. *Erupții cromosferice (sfe)*

Sfe (solar flare effect) este un alt grup de fenomene aproape bruște, vizibile pe înregistrările magnetice. Ele se produc fără o anumită frecvență și este dificil să fie distinse pe magnetograme. Sfe este provocat de o creștere bruscă a radiațiilor solare UV și X care ionizează atmosfera înaltă și intensifică curenții electrici (figura 2.4).

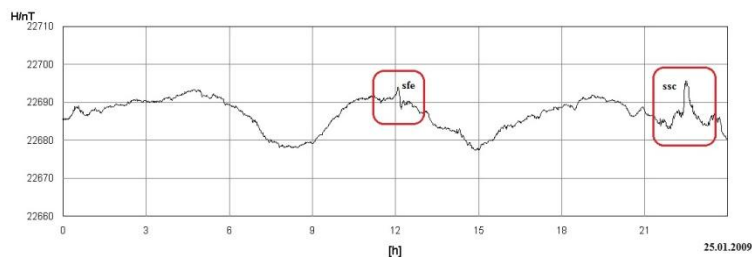


Fig. 2.4 Reprezentarea fenomenelor ssc și sfe înregistrate la Observatorul Geomagnetic Național Surlari in data de 25.01.2009

În figura 2.4 este reprezentată o înregistrare din data de 25 ianuarie 2009 de la observatorul Surlari. Am ales acesta înregistrare deoarece aici se poate vizualiza cele două fenomene și anume *ssc* și *sfe*, iar în figura 2.5 este reprezentată ziua de 26 ianuarie 2009, zi în care este înregistrată furtuna anunțată de fenomenul vizualizat în data de 26 ianuarie 2009.

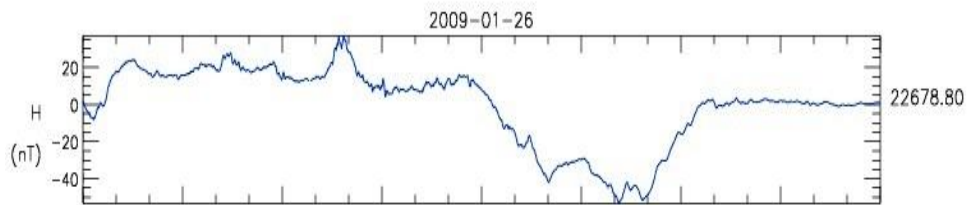


Fig. 2.5 Reprezentarea furtunii magnetice anunțată de fenomenul *ssc* din data de 25.01.2009. Magnetograma se continua dupa cea din graficul anterior.

Sfe nu apar decât în timpul orelor de zi. Acesta prezintă asimetrie în desfășurare, în sensul că faza de maximum a fenomenului este atinsă într-un timp scurt, după care urmează o dispariție lentă a lui care are loc într-un interval de timp mai lung.

2.5.3. Golfurile magnetice (*b*)

Golfurile magnetice b (bays) sunt fenomene de formă aproape regulată, care durează aproximativ 1 sau 2 ore. Ele sunt considerate a fi o consecință a intensificării electrojeturilor polare în timpul nopții.

După cum variază componenta orizontală, golfurile pot fi pozitive (X crește) sau negative (X scade).

În figura 2.7 se poate identifica un golf magnetic din data de 19 ianuarie 2009, înregistrat la observatorul Surlari.

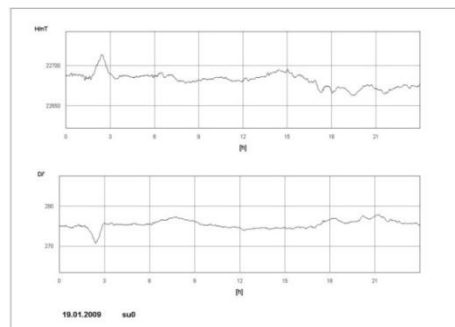


Fig. 2.7 Reprezentarea golfului geomagnetic înregistrat la Observatorul Geomagnetic Național Surlari (SUA)

2.5.4. Spectrul geomagnetic și pulsațiile magnetice

Se știe că variațiile câmpului geomagnetic pot acoperi o variație de la câteva fracțiuni de secundă la milioane de ani.

Pulsațiile geomagnetice au fost împărțite în grupuri denumite pulsați continue și neregulate, Pc și Pi, corespunzătoare la apariția lor pe un timp – versus – amplitudine.

Pulsațiile magnetice sunt intens studiate astăzi datorită corelației lor cu fenomenele și condițiile din ionosferă și magnetosferă. Multe observatoare magnetice le înregistrează continuu, conform recomandărilor IAGA. Pulsațiile magnetice sunt clasificate în funcție de frecvența și forma de bază.

Oscilațiile cu o perioadă mai lungă au fost interpretate ca oscilații de rezonanță în magnetosfera.

Pulsațiile continue de joasă frecvență sunt generate în special de instabilitățile de tip magneto – hidrodinamic, ale contactului dintre plasma reprezentată de vântul solar și magnetopauză. Multe pulsații din banda de frecvență medie sunt cauzate de instabilitatea proton ciclotron din vântul solar. Pulsațiile continue de înaltă frecvență se datorează în special instabilităților ion - ciclotron din magnetosferă unde energia instabilității provine de la perturbațiile anizotropice ale protonilor energetici.

Studiul acestora este necesar în diagnosticarea plasemi din apropierea Pământului.

2.6 INDICII GEOMAGNETICI

Mult timp activitatea geomagnetică a fost corelată cu activitatea solară, ea este rezultatul sistemelor de curenți variabili formați în magnetosferă și ionosferă.

Legrand și Simon (1989) au clasificat activitatea geomagnetică în patru clase : activitate magnetică calmă, activitate recurentă, activitate fluctuantă și activitate șoc.

Pentru analizarea activității geomagnetice sunt folosiți indici geomagnetici : indicele K cu indici Ks și Kp, indicii C,Ci, indicele Ap, indicele aa, indicii AE și indicele Dst (Mayaud, 1980; Rangarajan, 1989; Campbell, 2003).

2.6.1 Indicele K

Activitatea geomagnetică este descrisă de serii discrete de indici ce caracterizează variația locală sau globală a câmpului magnetic, în intervale de timp mai mari decât intervalul de achiziție a datelor în observatoare.

Cel mai folosit indice pentru astfel de evaluari pe termen lung este indexul K (Kennziffer). El descrie pe o scară de la 0 la 9, perturbațiile iregulate ale câmpului geomagnetic, cauzate de radiația solară corpusculară, într-un interval triorar. El a fost introdus pentru prima dată la Observatorul Niemeqk, rămânând până astăzi un index local, descriind nivelul perturbațiilor în vecinătatea fiecărui observator.

Indicele are o creștere cvasilogaritmică, după cum se poate vedea din tabelul nr. 2.1 și este bazat pe amplitudinea variației geomagnetice din intervalul triorar caracterizat.

Tabelul nr. 2. 1

K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Amplitudinea	0	5	10	20	40	70	120	200	300	450

Puncte slabe: intervalul triorar ales filtrează în domeniul frecvență, eliminând porțiunea de frecvență înaltă din spectrul perturbațiilor magnetice, în favoarea perturbațiilor cu perioadă mare, întrucât amplitudinea perturbațiilor magnetice crește odată cu creșterea perioadei.

Indicele K este evaluat prin urmărirea uneia dintre cele două componente orizontale (elementele geomagnetice X, Y sau H, D) fiind luat în considerare elementul cu amplitudinea cea mai mare din intervalul triorar. Măsura amplitudinii este dată de diferența dintre cele două valori extreme ale elementului geomagnetic, raportate la valoarea nivelată a curbei care reprezintă cel mai bine mersul elementului neperturbat.

Indicii K, propuși de 13 observatoare geomagnetice, repartizate în diferite zone ale globului, sunt utilizați pentru calculul indicilor planetari K_p , folosiți în mod curent la studiul unor fenomene la scară planetară.

Calculul indicilor planetari K_p și ai echivalentului lor liniar, indicii A_p , este realizat lunar de ISGI.

2.6.2 Indicii C , C_i

Pentru a descrie schimbările câmpului geomagnetic pe durata unei zile (24 h) o putem face cu ajutorul indicelui geomagnetic zilnic C .

Ținându-se cont de acest lucru zilele au fost clasificate astfel:

- pentru indicele $C=0$ - zile calme;
- pentru indicele $C=1$ - zile normale;
- pentru indicele $C=2$ - zile perturbate.

Indicele local C a fost înlocuit cu indicele geomagnetic internațional C_i , acesta având valori cuprinse între 0,0 și 2,0.

Începând cu anul 1980,indici C_i stau la baza alegerii celor cinci zile calme și a celor mai perturbate cinci zile ale fiecărei luni din punct de vedere geomagnetic.

2.6.3 Indicele A_p

Este indice zilnic care este obținut prin medierea celor opt valori dintr-o zi ale lui a_p , acesta fiind un indice calculat pe o perioadă de 3 ore, derivat din valorile indicelui K_p . În comparație cu scala indicelui K_p care este cvasi-logaritmică, scala lui a_p este liniară. Conversia de la K_p la A_p este arătată în tabelul nr. 2.2.

Pentru calculul indicilor a_p și A_p se folosesc date de la 13 observatoare, acestea situându-se la latitudini medii.

Tabelul nr. 2.2 Conversia de la K_p la A_p (Greculeasa R.,2016)

K_p	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A_p	0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
39	48	46	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	400

2.6.4 Indicele aa

Indicele aa este index planetar sau global (Mayaud, 1972) și este derivat din indecele K și se definește cu ajutorul domeniului de variație a câmpului geomagnetic mai exact cu componenta orizontală pe intervale de 3 ore (Bartels et. al.,1939) la două observatoare aproximativ antipodale, unul în Anglia și unul în Australia .Variația solară calmă Sq este eliminată din date.

Acesta poate fi folosit la identificarea intervalelor de calm și perturbație geomagnetică.

2.6.5 Indicele Dst

Indicele Dst, introdus de Sugiura în anul 1964, reprezintă perturbația axială simetrică a câmpului magnetic la suprafața Pământului la ecuatorul dipolului. Perturbațiile majore ale indicelui Dst sunt negative acest lucru indicând scăderi ale câmpului geomagnetic.

În prezent indecele Dst este obținut din înregistrările componentei orizontale a câmpului magnetic de la patru observatoare magnetice de latitudine joasă. Cele patru observatoare sunt: Honolulu (HON), San Juan(SJG), Hermanus (HER) și Kakioka (KAK).

În rețeaua celor patru observatoare, valoarea indicelui Dst este calculată ca medie a câmpului rezidual pentru fiecare oră de timp universal. Câmpul rezidual este obținut prin eliminarea variației seculare a câmpului geomagnetic și mai apoi a variației diurne calme Sq.

Furtunile geomagnetice (tabelul nr. 2.3) au fost clasificate pe baza indicelui Dst în furtuni intense, moderate și mici (subfurtună).

Tabelul nr. 2.3 Clasificarea furtunilor pe baza indicelui Dst (Greculeasa R.,2016)

<i>Dst (nT)</i>	<i>Intensitatea furtunii</i>
-50	<i>Mică</i>
-100	<i>Moderată</i>
-150	<i>Intensă</i>

CAPITOLUL 3 - MĂSURAREA CÂMPULUI GEOMAGNETIC ÎN OBSERVATOARE GEOMAGNETICE

3.1 OBSERVATOARE GEOMAGNETICE

Observatoarele magnetice sunt stații de măsurare permanente care monitorizează variațiile câmpului geomagnetic cu o precizie foarte mare atât în timp cât și în amplitudine.

Există aproximativ 200 de observatoare pe întreaga suprafață a Globului. Acestea sunt așezate la latitudini și longitudini diferite, fără a putea asigura o acoperire uniformă a întregii suprafețe a globului. În România există un singur observator geomagnetic și anume Observatorul Geomagnetic Național Surlari.

3.2 APARATURA UTILIZATĂ ÎN OBSERVATOARELE GEOMAGNETICE

Magnetometrele reprezintă instrumente de mare precizie utilizate în geofizică în vederea explorării nondistructive a scoarței terestre. Acestea măsoară cu mare precizie valorile inducției câmpului magnetic al Pământului și sunt utilizate pentru identificarea anomaliilor de câmp ce se manifestă la suprafața Pământului pe suprafețe ce sunt cuprinse între milioane de km și câțiva metri.

Dupa principiul de funcționare acestea se împart în: magnetometre mecano-optice cu magneți permanenți, magnetometre protonice (variante clasică și varianta cu efect Overhauser) și magnetometre fluxgate (Reda et. al., 2011).

3.3 APARATURA FOLOSITĂ DE-A LUNGUL TIMPULUI ÎN CADRUL OBSERVATORULUI GEOMAGNETIC NAȚIONAL SURLARI

În anul 1943 la Observatorul Geomagnetic Surlari a fost instalat un sistem analogic de înregistrare a variațiilor componentelor câmpului geomagnetic D, H și Z. Sistemul este compus dintr-un mecanism orologiu cu contragreutate ce antrenează un

tambur pe care se montează hârtie fotografică și 3 variometre cu magneți permanenți și fir de cuarț . Mecanismul asigură avansarea hârtiei fotografice cu vitezele de 20, 60 și 120 mm/h.

Aceste variometre sunt de fabricație germană (Askania).

Variometrul Bobrov are o mai bună stabilitate în timp, o sensibilitate mai redusă la schimbările de temperatură și sunt mai puțin sensibile la șocuri. Mecanismul *Mating & Wiesenberg* are 4 trepte de viteză: 20, 60, 120, 240 mm/h. *Magnetometrul triaxial MAG – 03MC* permite înregistrarea simultană a componentelor pe direcția Nord (H_x), pe direcția Est (H_y) și pe direcția verticală în jos (H_z) ale câmpului geomagnetic cu ajutorul unor senzori magnetici de tip inductiv, realizați sub forma unor bobine cu un număr foarte mare de spire și un miez magnetic cu permeabilitate magnetică mare (Asimopolos L., et. al., 2012).

Loggerul MAG 03 DAM dispune de două conectoare pentru intrarea semnalului analogic de la două magnetometre fluxgate și un conector RS 232 cu 25 de pini pentru ieșirea semnalului. Loggerul este comandat de un soft realizat în limbajul Fortran ce permite selectarea numărului de canale de achiziție, alegerea ratei de eșantionare (între 0 secundă și 10 secunde) și a domeniului de măsură.

Magnetometrul vectorial FGE este construit de Danish Meteorological Institute folosindu-se de trei senzori fluxgate comerciali montați într-un cub de marmură de $12 \times 12 \times 12 \text{ cm}^3$ prin intermediul unor tuburi de cuarț în care se află bobine de compensare ce asigură o stabilitate sau un drift maxim până la 3 nT/an . Coeficientul de variație cu temperatura al sensorului este sub $0,2 \text{ nT/}^\circ\text{C}$ iar a părții electronice sub $0,1 \text{ nT/}^\circ\text{C}$.

Magnetomerul protonic Overhauser GSM 90 este un magnetometru scalar proiectat pentru observatoare magnetice sau alte aplicații, unde stabilitatea și acuratețea sunt strict necesare. Cu o rezoluție de $0,01 \text{ nT}$, acuratețe absolută de $0,02 \text{ nT}$ și un drift de $0,05 \text{ nT/an}$ poate fi folosit cu succes în calculul valorilor de bază pentru un observator magnetic.

Data loggerul Magdalog a fost creat special pentru achiziția de date

geomagnetice (de observator) având 4 canale (H_x , H_y , H_z și temperatura ambiantă T), rata de eșantionare de 2 Hz pentru magnetometrul FGE și 0,2 Hz pentru magnetometrul GSM. Acest logger este prevăzut și cu un GPS pentru sincronizarea achiziției în timp universal.

3.4 EVOLUȚIA APARATURII PENTRU MĂSURĂTORI ABSOLUTE UTILIZATĂ ÎN OBSERVATORUL GEOMAGNETIC NAȚIONAL SURLARI

De asemenea este foarte importantă obținerea nivelului de baza al înregistrărilor pe baza măsurătorilor absolute efectuate cu teodolitul Matting Wiessenberg , inductorul terestru și căsuța de oscilații într-o prima fază și apoi cu teodolitul Matting Wiessenberg și magnetometrul cu fir de cuarț pentru componenta H , QHM. Pe lângă aceste aparate în anul 1968 a fost adus magnetometrul cu precizie protonică Varian pentru măsurarea valorii scalare a câmpului total. În anul 1995 a fost adus la observator magnetometrul MAH 01 H al cărui sensor este atașat pe un teodolit amagnetic THEO 010 B (figura 3.9) produs de Karl Zeiss. Acesta este folosit și în prezent pentru determinarea înclinației și declinației câmpului geomagnetic.

Cele două sisteme au funcționat continuu până în anul 2003 producând înregistrări analogice pe hârtie fotografică.

**PARTEA a –II – a CONTRIBUȚII LA
ÎNȚELEGEREA VARIAȚIILOR TEMPORALE
ALE CÂMPULUI GEOMAGNETIC**

CAPITOLUL 4 - ANALIZA VARIAȚIILOR TEMPORALE DE PERIOADĂ SCURTĂ PENTRU PERIOADA 1996 – 2016

Cea de a doua parte este dedicată caracterizării stării magnetice din perioada 1996-2016 cu ajutorul indicilor triorari Kp, indicilor de furtună Dst, a numărului petelor solare, a precursorilor de furtună geomagnetică - fenomenele ssc,cât și asupra studiului variației seculare în diverse observatoare.

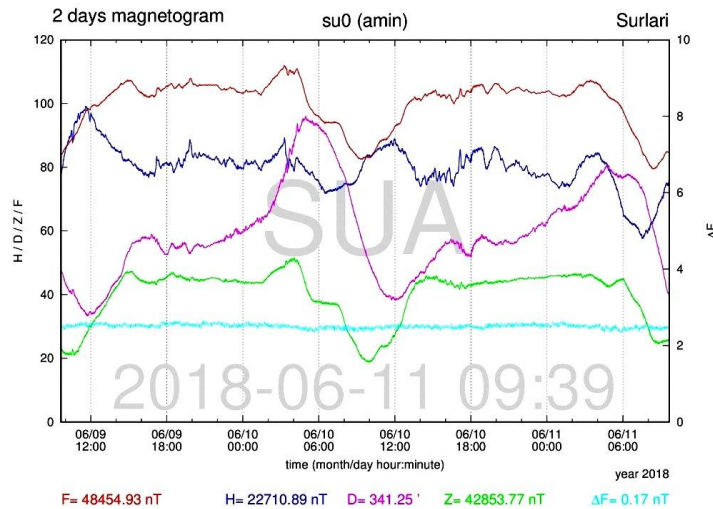


Fig. 4.1 Magnetogramă zilnică de la Observatorul Surlari

Deși frecvența de apariție a furtunilor magnetice înregistrate de rețeaua mondială a observatoarelor poate fi corelată cu frecvența de apariție a petelor solare, doar activitatea geomagnetică manifestă o periodicitate undecenală - legată de ciclurile de activitate solară, o periodicitate sezonieră – legată de poziția axei dipolului magnetic terestru în raport cu planul eliptic și o periodicitate de 27 de zile – asociată perioadei de rotație proprie a Soarelui.

Pentru a selecta datele cu care s-a lucrat, s-a efectuat o comparație între indicele planetar Kp și indicele calculat din înregistrările zilnice din cadrul Observatorului Geomagnetic Național Surlari (SUA) – K. Procedul de calcul automat al indicilor a fost aplicat la seria magnetogramelor digitale înregistrate cu un

pas de eșantionare de 5 până la 0.5 secunde, raportându-se la o variație diurnă solară calmă Sq, adoptată prin medierea celor mai calme 5 zile din lună, pentru fiecare lună analizată.

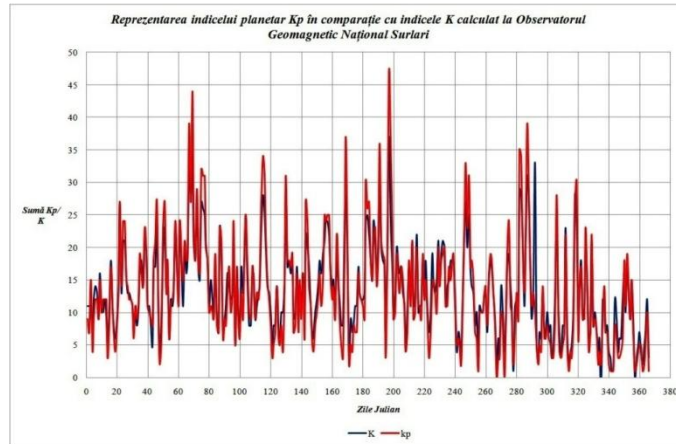


Fig. 4.2 Reprezentarea grafică a indicelui planetar Kp comparativ cu indicele K calculat din înregistrările zilnice din cadrul Observatorului Geomagnetic Național Surlari K pentru anul 2012.

După cum reiese și din figura 4.2 indicele K calculat din datele de la observatorul Surlari din anul 2012, este aproape identic cu Kp, motiv pentru care am decis ca în prezenta lucrare pentru unele analize să folosesc indicele planetar Kp, ale cărui valori le-am luat de pe <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html>. În plus, se constată că, până la elaborarea indicilor planetari Kp, indicii K de la observatorul Surlari, calculați la fiecare 3 ore, pot fi socotiți valabili în eventualitatea unor predicții pe termen scurt.

4.1 ACHIZIȚIONAREA DATELOR ÎNREGISTRATE ÎN DIVERSE OBSERVATOARE GEOMAGNETICE

Obiectivul acestui capitol a fost valorificarea înregistrărilor permanente ale variațiilor câmpului geomagnetic de la observatorul Surlari pe serii lungi de timp și a experienței dobândite în prelucrarea acestora. Astfel au fost puse în evidență, în mod

calitativ și cantitativ toate fenomenele de perturbații magnetice prin indici de caracterizare numerică, și toate evenimentele individuale prin simboluri adoptate prin convenții internaționale.

Pentru verificarea autenticității rezultatelor obținute s-au făcut comparații cu datele de la alte câteva observatoare importante de pe glob, precum și cu indicii planetari K_p . Toate rezultatele sunt prezentate în acest capitol.

4.1.1 Noțiuni introductive

„Observatorul magnetic” este o stație de înregistrare unde se realizează măsurători absolute ale câmpului geomagnetic în decursul mai multor ani și care furnizează date de o înaltă calitate pentru studiile de variație seculară.

La măsurătorile vectoriale, relative, se adaugă valori de bază, determinate printr-o serie de măsurători absolute folosind instrumente manuale. Frecvența efectuării acestor măsurători poate varia de la zilnic la câteva ori pe lună, funcție de caracteristicile variometrului, stabilitatea pilonilor și a instalațiilor, sau din considerații logistice. Calitatea controlului absolut poate fi judecată și examinând liniile de bază cu ajutorul cărora se fac corecții asupra datelor variometrului, așa cum se observă în figura 4.3, reprezentând linia de bază pentru componentele H, D și Z înregistrate la observatorul Surlari.

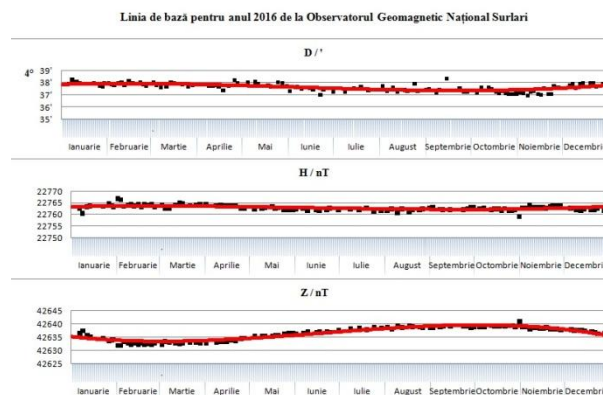


Fig. 4.3 Linia de bază pentru anul 2016 de la Observatorul Surlari

Siguranța valorilor componentelor poate fi influențată de mai mulți factori,

cum ar fi: orientarea și ortogonalitatea senzorilor variometrului, stabilitatea pilonilor variometrului, metoda de filtrare folosită pentru valorile digitale, coeficienții de temperatură ai senzorilor variometrului și ai celorlalte aparate, zgomotul de bază al senzorilor și electronicii, modul de aplicare al controalelor absolute.

Valorile linilor de bază ale componentelor sunt calculate din măsurătorile absolute și valorile digitale înregistrate ale componentelor. Așa cum am mai spus, valorile absolute ale câmpului magnetic al pământului sunt măsurate de un operator, iar acuratețea și precizia valorilor absolute depinde de mai mulți factori cum ar fi: îndemânarea operatorului și absența polarizării, calibrarea magnetometrelor, acuratețea corecțiilor pilonilor, erorile aleatoare inerente în procesul de măsurare, stabilitatea pilonilor, stabilitatea magnetometrului la influențele mediului, activitatea câmpului magnetic în cursul procesului de măsurare, gradientul câmpului, etc. Erorile nealeatoare ce apar în măsurătorile absolute trebuie minimizate folosind proceduri standard specifice.

Observatoarele utilizate în această lucrare sunt membre INTERMAGNET, deoarece acestea îndeplinesc atât condițiile de mai sus și o calitate superioară a datelor înregistrate.

4.1.2 Observatoare utilizate

Pentru această lucrare voi folosi datele de la 8 IMO, pentru a putea compara indicii de caracterizare numerică fenomenele de perturbații magnetice individuale apărute la diverse latitudini descrise în continuare.

4.1.3 Descrierea observatoarelor și a aparaturii folosite

4.1.3.1 Observatorul Geomagnetic Național Surlari (SUA)

Acesta este singurul observator geomagnetic de pe teritoriul României, a fost înființat în anul 1943, se întinde pe o suprafață de aproximativ 3,6 ha și este amplasat într-o zonă ferită de perturbații industriale sau anomalii magnetice importante. Pentru proiectarea principalelor laboratoare din incinta sa s-a evitat utilizarea materialelor cu

proprietăți magnetice.

În anul 1998, Observatorul Surlari obține statutul de observator magnetic planetar, făcând parte din cadrul rețelei INTERMAGNET.

4.1.3.2 Chambon la Foret (CLF)

Observatorul Geomagnetic Chambon la Foret a fost fondat în 1936 și este un centru de control pentru mai multe observatoare geomagnetice și de cercetare a aparaturii folosite în geomagnetism cât și un loc de referință pentru calibrarea senzorilor folosiți pentru sateliți.

4.1.3.3 Observatorul Kakioka

Observațiile geomagnetice din Japonia au început la Akasaka (Tokyo) în anul 1882, însă în anul 1913 observatorul s-a mutat la Kakioka iar înregistrările continuă și acum.

Observatorul magnetic Kakioka efectuează observații geomagnetice și geoelectrice precum și cercetări conexe în rolul său de organizație auxiliară a Agenției Meteorologice din Japonia.

4.1.3.4 Observatorul Hermanus (HER)

Acesta a fost deschis în anul 1941, iar din 1993 face parte din INTERMAGNET.

4.1.3.5 Observatorul Novosibirsk (NVS)

Este inaugurat în anul 1967, iar din 2003 face parte din INTERMAGNET.

4.1.3.6 Observatorul Niemegk (NGK)

A fost deschis în anul 1930 în Germania.

De-a lungul anilor cei din observator au instalat echipamente digitale moderne și-n alte observatoare, au înființat în diverse locații observatoare noi, majoritatea dintre

acestea sunt membre în INTERMAGNET unde calitatea datelor este foarte importantă.

4.1.3.7 Observatorul Tamanrasset (TAM)

A fost deschis în anul 1932 în Algeria, începând cu anul 1993 este membru INTERMAGNET.

4.1.3.8 Observatorul Ottawa (OTT)

A fost înființat în Canada în anul 1968 ca parte a unui complex nou de laboratoare magnetice ale Departamentului de Energie, Mine și Resurse Naturale, înainte fiind Observatorul Agincourt, însă acesta a trebuit să fie închis în anul 1969 ca urmare a dezvoltării industriale și a construcțiilor de autostrazi în imediata apropiere a acestuia.

4.2. VARIAȚIILE TEMPORALE

Orice procedeu de evaluare a gradului de perturbație magnetică trebuie să debuteze cu separarea, în cadrul câmpului magnetic datorat cauzelor externe, a fenomenelor variaționale produse de radiație electromagnetică (în particular ultraviolete și radiații X), de cele produse de radiația corpusculară (radiații de tip K). Deoarece în acest studiu se analizează perturbațiile geomagnetice, cu precădere furtunile geomagnetice intense, la prelucrarea datelor de observație de la mai multe observatoare INTERMAGNET, s-a avut în vedere aplicarea a două procedee specifice: separarea câmpului magnetic perturbat de partea sa periodică, regulată, și evaluarea cât mai obiectivă, prin metode cantitative, a gradului de perturbație magnetică (caracterizarea numerică a activității geomagnetice).

Prelucrarea seriilor de timp de la mai multe observatoare a fost sintetizată și ilustrată în continuare în următoarele tabele de valori și diagrame, prezentate mai jos.

4.2.1 SSC

Ssc (*storm sudden commencement*) este o schimbare rapidă a câmpului magnetic cu amplitudini pozitive sau negative, cu câțiva nT sau zeci de nT, descrierea acestui fenomen fiind detaliat mai pe larg și în Capitolul 2.

Pentru această lucrare am luat datele privind ssc-urile de pe site-ul <http://www.gfz-potsdam.de>, pentru perioada 1996 – 2016 am analizat 545 de ssc-uri (fig 4.4).

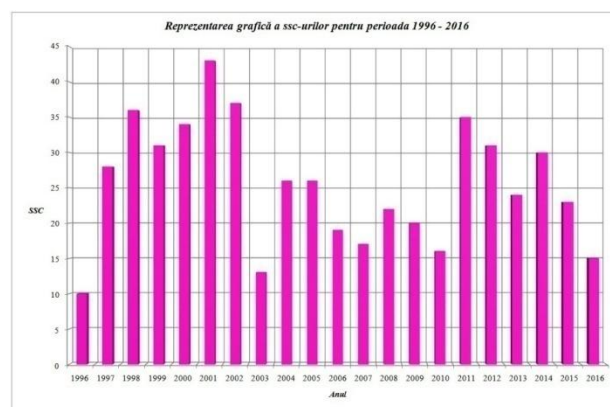
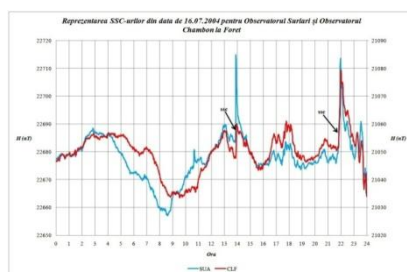
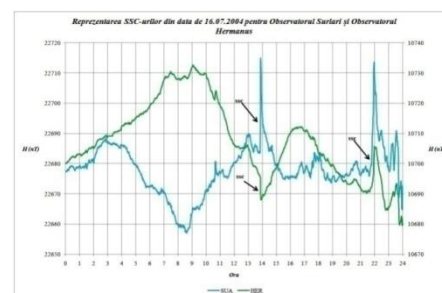


Fig.4.4 Reprezentarea grafică anuală a SSC-urilor din perioada 1996 - 2016

Din cele 545 de ssc-uri am selectat pentru corelație pe cele două din data de 16.07.2004, înregistrate la orele 13:53 și 21:55 (fig.4.5) și pe cel din data de 27.06.2013, ora 14:38. Se poate observa în figura de mai sus că funcție de latitudinea la care se află poziționat observatorul acesta poate înregistra sau nu un ssc, și că amplitudinea ssc-ului variază în funcție de poziția observatorului (ecuatorială, latitudine medie sau aurorală).



a)



b)

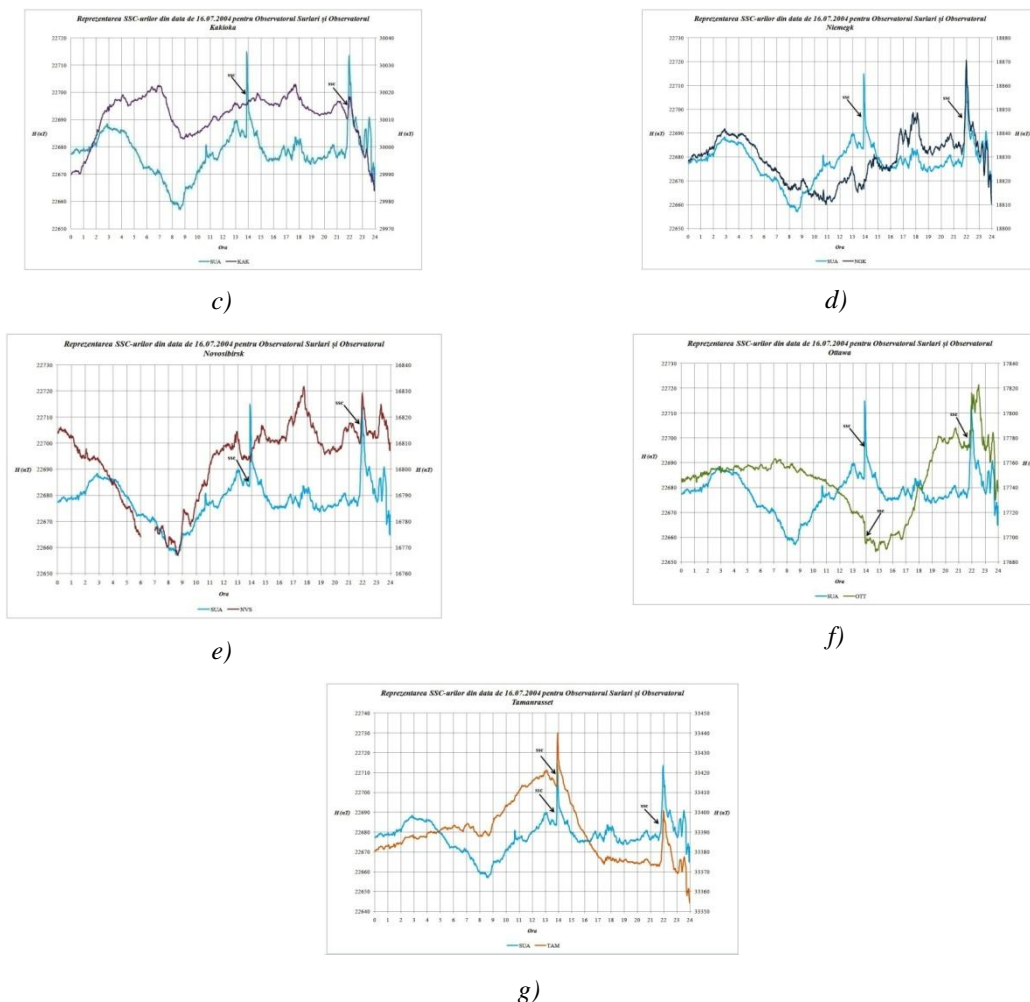


Fig. 4.5 Comparație SSC din data de 16.07.2017 Observatorul Surlari cu alte observatoare: a) SUA-CLF; b) SUA – HER; c) SUA – KAK; d) SUA – NGK; e) SUA – NVS; f) SUA – OTT; g) SUA – TAM.

Se observă o coincidență în amplitudine pentru observatoarele situate la latitudini medii din emisfera nordică (CLF, NGK) și pentru cele situate în zone subecuatoriale (TAM). Pentru zonele aurorale (KAK, HER, OTT), nu se observă nicio corelație.

4.2.2 Indici planetari K_p

Calculul indicilor planetari K_p și al echivalentului lor liniar, indicii A_p , este realizat lunar de International Service of Geomagnetic Indices (ISGI) -

http://isgi.unistra.fr/indices_kp.php. Indicii Kp au o scară de evaluare mai densă decât indicii K prin introducerea unor valori intermediare, marcate cu + sau – (de exemplu 5+, sau 6 –).

În continuare am selectat doar indici planetari ≥ 6 , deoarece aceștia ne pot indica o furtună sau subfurtună, deci o evaluare a gradului înalt de perturbație. Datele au fost luate de pe site-ul <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp> și au fost analizați 876 de indici $Kp \geq 6$ (fig. 4. 6).

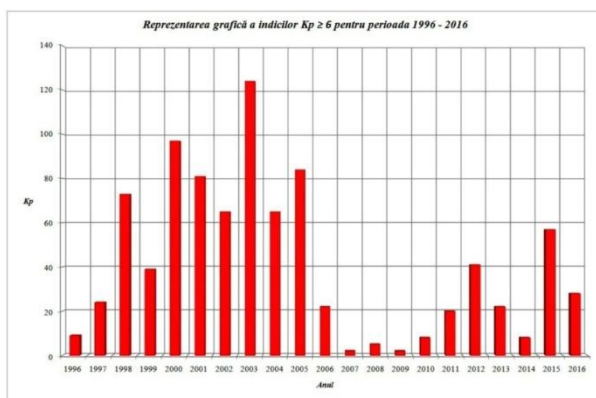


Fig. 4.6 Reprezentarea grafică a sumei numărului indicilor $Kp \geq 6$ pentru perioada 1996 – 2016

Variabilitatea activității geomagnetice ridicate (Kp mai mare ca 6) observată în figura 4.6 cât și cea a activității solare (Fig. 4.9) evidențiază aceleași tendințe și periodicități atunci când studiul corelațiilor statistice este făcut pe termen lung, la scara de timp a ciclurilor solare de 11 și respectiv 22 de ani.

4.2.3 Petele solare

Soarele este steaua principală a sistemului nostru planetar, cea mai apropiată de Pământ și totodată este sursa multiplelor forme de energie de pe planeta noastră.

Variabilitatea solară este dată de multitudinea evenimentelor nestaționare ce se produc pe arii și volume mai mult sau mai puțin extinse pe suprafața și în atmosfera sa.

Fotosfera, suprafața vizibilă a Soarelui, este un strat subțire de 500 km grosime, cu o densitate de 0,1% din densitatea aerului terestru la nivelul mării. În

fotosferă este sediul petelor, granulației și faculelor, în cromosferă se observă spiculele, supergranulația și erupțiile, pe când în coroană apar protuberanțele, curenți coronali, găurile coronale, penele polare, ejecțiile coronale de masă (Mariș G., et. al., 1999).

Numărul relativ de pete solare existente pe Suprafața Soarelui variază în timp cu o perioadă de aproximativ 11,02 ani. La începutul unui ciclu solar petele apare la latitudini de $\pm 40^\circ$, urmând ca la maximum ciclului se află la $\pm 15^\circ - 20^\circ$, iar la sârșitul ciclului la $\pm 5^\circ$, ceea ce rezultă deplasarea lor în cursul unui ciclu solar către ecuatorul solar.

Numărul Wolf reprezintă numărul relativ de pete solare (W) și este considerat de mulți cercetători ca indicele cel mai potrivit pentru studiul activității solare (Mariș G., et. al., 1999). Din anul 1749 există observații ale petelor solare, iar până atunci seria de numere Wolf a fost completată cu date obținute indirect din observații ale aureolele polare (fig. 4.7).

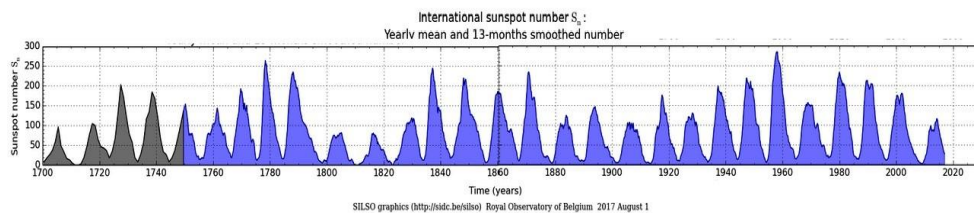


Fig.4.7 Reprezentarea ciclurilor solare începând cu anul 1700

(cu gri sunt reprezentate mediile anuale până în 1750, iar cu albastru ciclurile solare pe baza valorilor lunare filtrate cu o fereastră mobilă de 13 luni) (<http://www.sidc.be/silso/yearlyssnplot>)

Astfel, ciclul solar reprezintă o perioadă de aproximativ 11 ani care se concretizează în schimbări ale activității solare, respectiv în variația numărului de pete solare (W).

În figura 4.7 se observă cum ultimele trei cicluri solare au un dublu vârf de maxim, relativ simetric.

Pentru lucrare datele au fost luate de pe site-ul <http://www.sidc.be/silso/> și au fost analizate 6598 de zile în care $W > 1$.

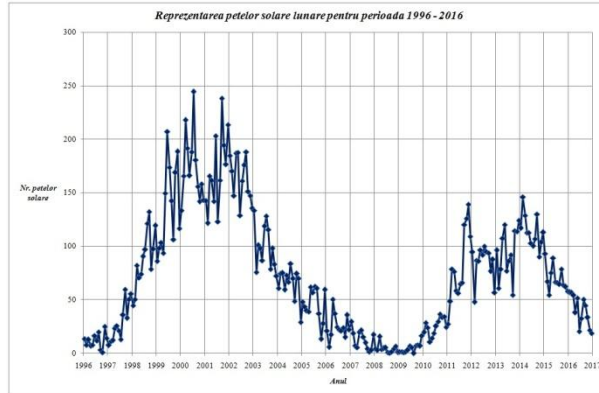


Fig. 4.8 Reprezentarea grafică a numărului petelor solare lunare pentru perioada 1996 -2016

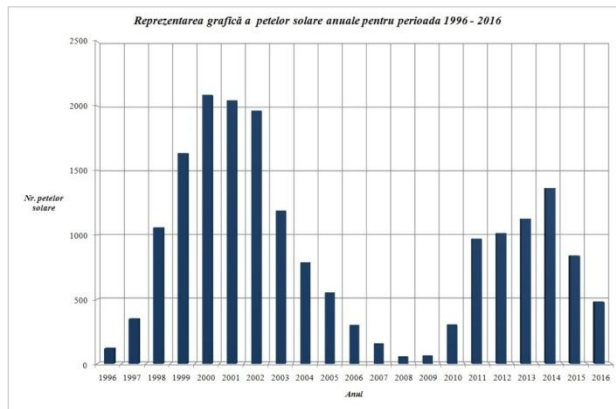


Fig. 4.9 Reprezentarea grafică a petelor solare anuale pentru perioada 1996 -2016

În ambele figuri, 4.8 și 4.9 sunt evidențiate ultimele două cicluri solare pe baza numărului petelor solare din fiecare lună, respectiv fiecare an pentru perioada 1996 – 2016.

4.2.4 Dst

Perturbațiile majore ale indicelui Dst sunt în general negative, indicând scăderi ale intensității câmpului geomagnetic produse de sistemul de curenți ecuatoriali din magnetosferă, ce crează curentul inelar. Variațiile pozitive în Dst sunt în principal determinate de curenții din magnetopauză, când magnetosfera este comprimată de presiunea vântului solar accelerat.

O altă definiție (Gonzalez et al., 1994) a unei furtuni geomagnetice este dată de o variație a câmpului geomagnetic care se produce printr-o energizare intensă a

sistemului magnetosferă – ionosferă, și generarea unui curent inelar suficient de puternic pentru a depăși un prag dat al indicelui Dst.

În esență, principala cauză pentru producerea furtunilor geomagnetice este reprezentată de câmpurile electrice extreme asociate cu câmpurile magnetice interplanetare (IMF) orientate spre sud pe când subfurtuna geomagnetică este o descărcare violentă de energie magnetică acumulată în coada magnetosferei. Astfel, procesele fizice prin care energia din vântul solar este redistribuită în sistemul magnetosferă–ionosferă stau la originea fenomenelor de furtună și subfurtună. Valoarea indicelui Dst este calculată ca medie a câmpului rezidual pentru fiecare oră de timp universal în rețeaua celor patru observatoare responsabile cu calcularea indicelui Dst. Câmpul rezidual este obținut prin eliminarea variației seculare a câmpului geomagnetic și apoi a variației diurne calme Sq.

4.3 CORELAȚII ÎNTRE SSC, PETE SOLARE, Dst, Kp

Indicele Dst este disponibil, începând din 1957, la Centrul Mondial de date de Geomagnetism din Kyoto, Japonia, la adresa de web: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>. Pe baza indicelui Dst, furtunile geomagnetice au fost clasificate în: intense (sub -150 nT), moderate (între -150 și -100 nT) și mici (între -100 și -50 nT).

Au fost analizați 6899 de indici $Dst \leq -50$ (fig. 4.10). Se observă cum incidența furtunilor geomagnetice simulează atât distribuția numărului petelor solare (fig. 4.12) cât și a SSC-urilor (fig. 4.11), acestea din urmă fiind de fapt precursori ai furtunilor geomagnetice care sunt înregistrate în observatoare în aproximativ 8 minute de la explozia solară.

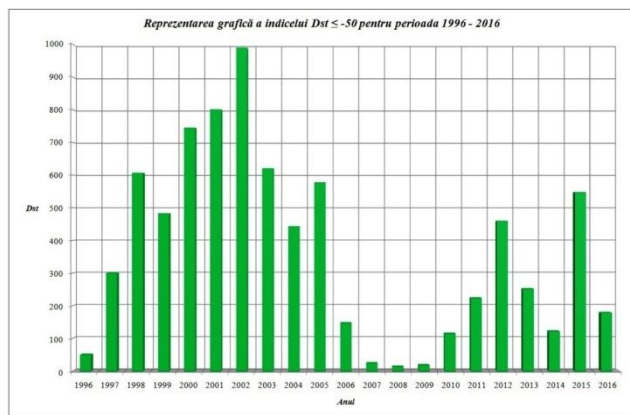


Fig. 4.10 Reprezentarea grafică a indicilor $Dst \leq -50$ pentru perioada 1996 - 2016

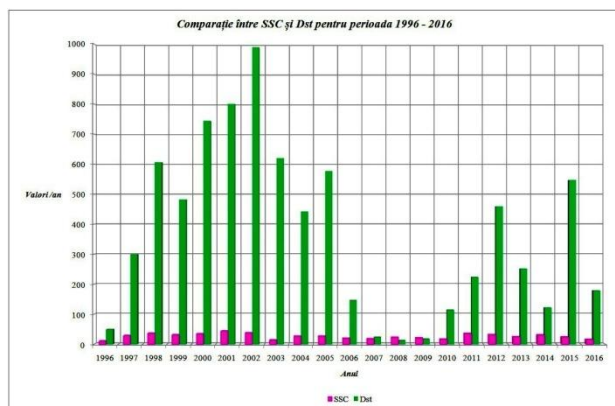


Fig. 4.11 Comparație între indicele $Dst \leq -50$ și SSC pentru perioada 1996 -2016

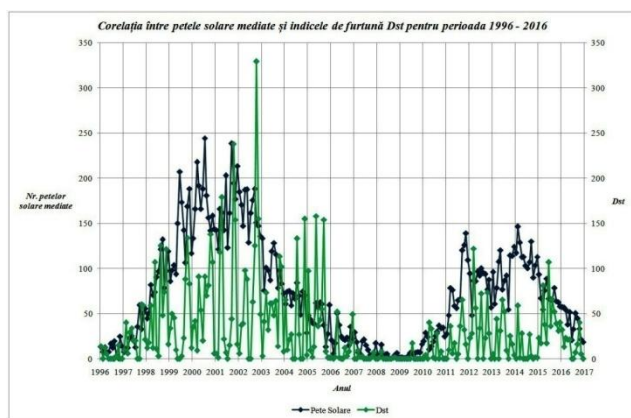


Fig. 4.12 Corelație între numărul petelor solare lunare și indicele $Dst \leq -50$ pentru perioada 1996 -2016

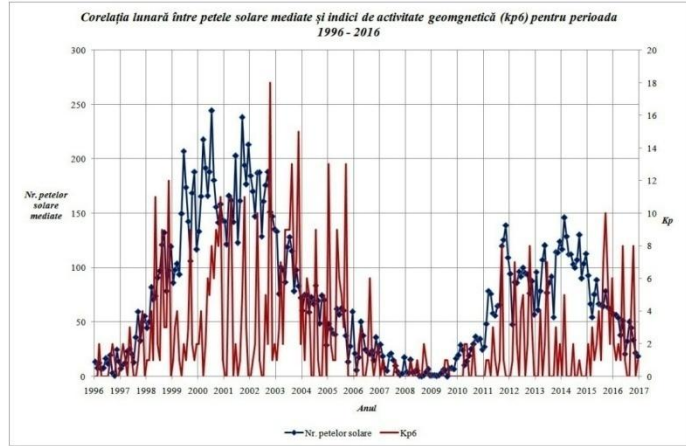


Fig. 4.13 Corelație între numărul petelor solare lunare și indicele $Kp=6$ pentru perioada 1996 -2016

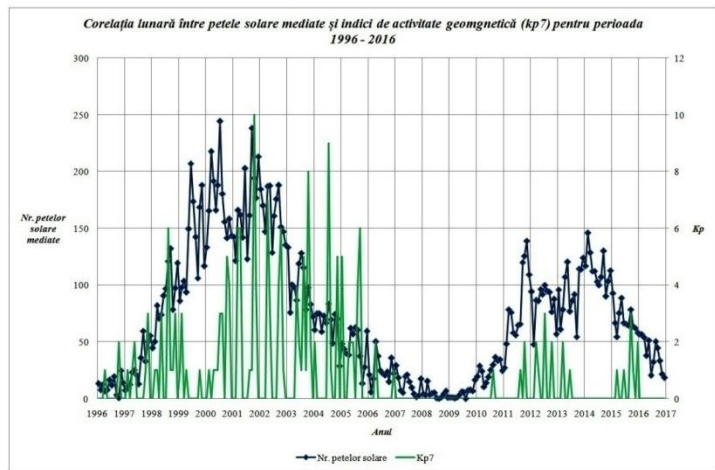


Fig. 4.14 Corelație între petele solare mediate lunar și indicele $Kp=7$ pentru perioada 1996 -2016

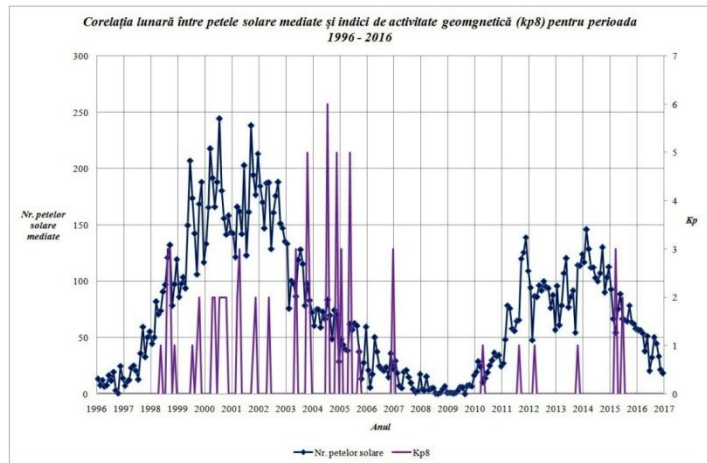


Fig. 4.15 Corelație între numărul petelor solare lunare și indicele $Kp=8$ pentru perioada 1996 -2016

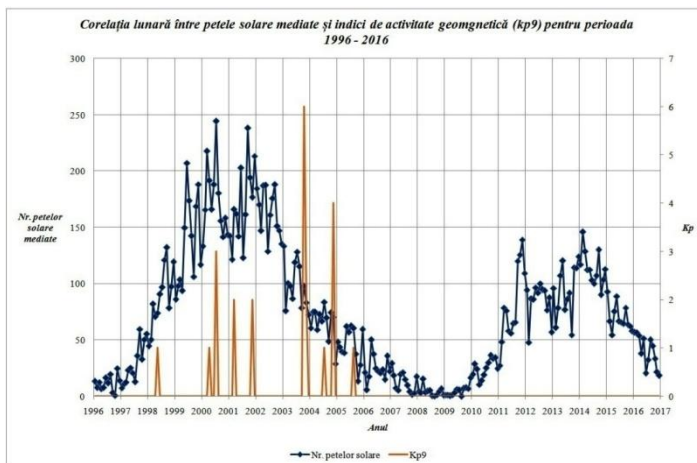


Fig. 4.16 Corelație între numărul petelor solare lunare și indicele $Kp=9$ pentru perioada 1996 -2016

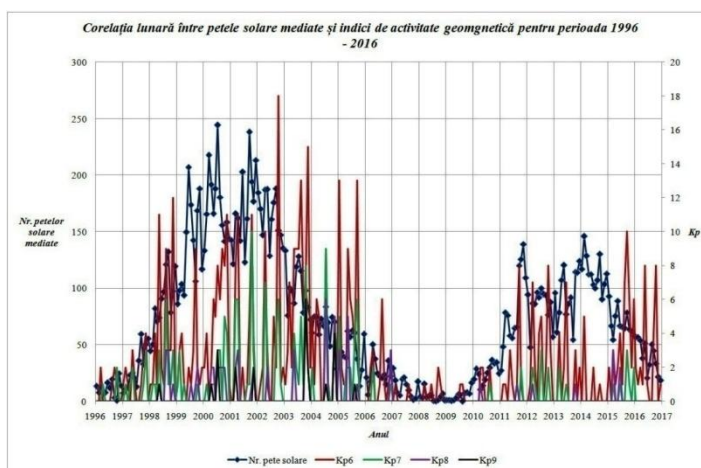


Fig. 4.17 Corelație între numărul petelor solare lunare și indicii $Kp \geq 6$ pentru perioada 1996 -2016

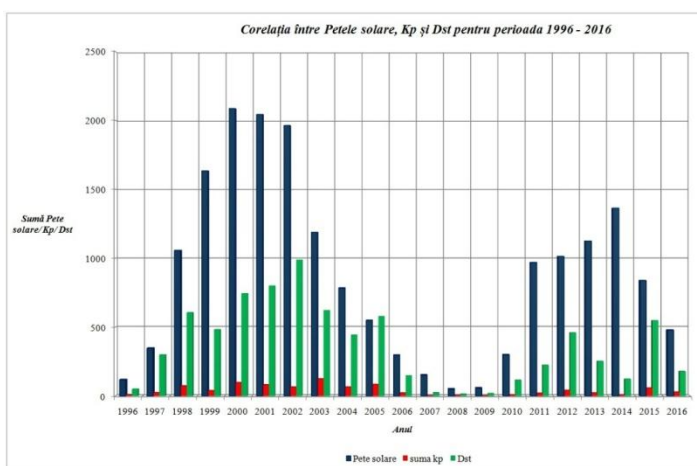


Fig. 4.18 Corelație între numărul petelor solare anuale, suma indicilor $Kp \geq 6$ și $Dst \leq -50$ pentru perioada 1996 -2016

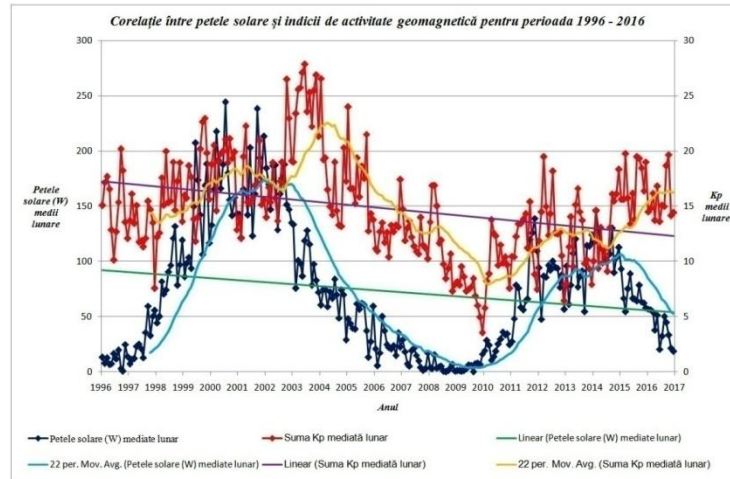


Fig. 4.19 Corelație între petele solare (W) și indicii de activitate geomagnetică (Kp) pentru perioada 1996 – 2016

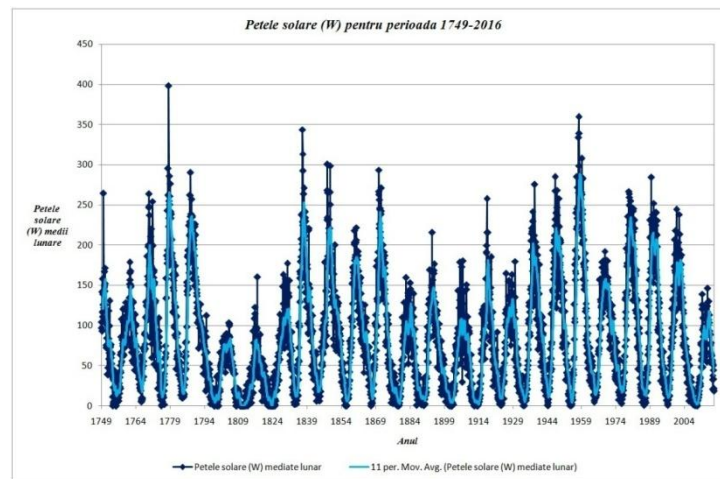


Fig. 4.20 Reprezentarea ciclurilor solare pentru perioada 1749 – 2016

Există furtuni majore dar care nu se înscriu pe maximul de activitate solară

Buna corelație între numărul petelor solare și indicii triorari (Fig. 4.19) ne demonstrează că se vor putea oferi avertizări corecte legate de furtunile geomagnetice cu ajutorul înregistrărilor magnetice. Detectarea fenomenelor perturbatoare de pe fotosferă nu implică întotdeauna și apariția perturbațiilor magnetice majore prin intersecția vântului solar cu traiectoria magnetosferei terestre în deplasarea ei orbitală.

Disponând de o mare cantitate de date primare s-au putut elabora analize folosind metode statistice, aplicabile la studiul distribuției indicilor de caracterizare a activității geomagnetice pe perioade triorare, diurne, lunare sau anuale.

Totodată, din compararea indicilor de caracterizare a activității geomagnetice, obținuți pe baza seriilor de timp de la Surlari și de la alte 7 observatoare INTERMAGNET, situate la diferite longitudini și latitudini, a rezultat un sistem coerent și omogen de date, demonstrând calitatea înregistrărilor din Observatorul Geomagnetic Național Surlari în vederea evaluării corecte a evoluției temporale a gradului de perturbație magnetică la nivel național. Aceste rezultate vor putea contribui la orientarea viitoarelor cercetări pentru elaborarea unor noi metode de monitorizare, predicție și protecție împotriva hazardelor naturale din spațiu.

CAPITOLUL 5 - ANALIZA SPAȚIO - TEMPORALĂ A CÂMPULUI GEOMAGNETIC PENTRU EUROPA ÎN PERIOADA 1996 – 2016

5.1 NOȚIUNI INTRODUCATIVE

De la un punct la altul câmpul geomagnetic prezintă variații, uneori acestea fiind destul de însemnate, atât în ceea ce privește intensitatea sa cât și direcția. Acest lucru a fost observat prin monitorizarea continuă (în prezent câmpul geomagnetic este monitorizat prin intermediul măsurătorilor din cadrul observatoarelor geomagnetice, a stațiilor de repetiție din rețelele naționale cât și din spațiu prin intermediul sateliților).

Câmpul magnetic intern sau principal este destul de stabil, atunci când este măsurat pe perioade de timp de zile sau luni, dar modificările acestuia devin semnificative numai atunci când se măsoară pe perioade mai mari (ani/secole).

Variația în spațiu cu caracter monoton rezultă din caracterul dipolar al câmpului geomagnetic, însă sunt zone pe suprafața Pământului unde variația în spațiu a câmpului nu mai este cu caracter monoton ci are variații de la zeci până la sute de nT, uneori chiar mii de nT.

5.2 MODELAREA CÂMPULUI GEOMAGNETIC

Pentru studiul de caz al variației pe termen mai lung am folosit modelul IGRF12 – versiunea 0.5.0.7 (figura 5.1), pentru zona Europei cu următoarele coordonate: latitudine între 30° - 80° N și longitudine între -10° - 50° E.

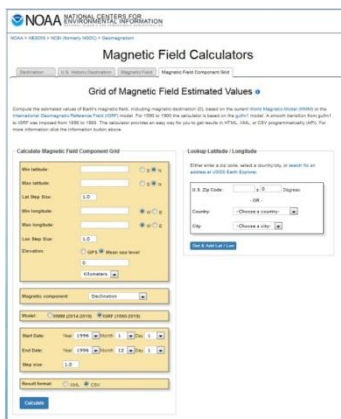
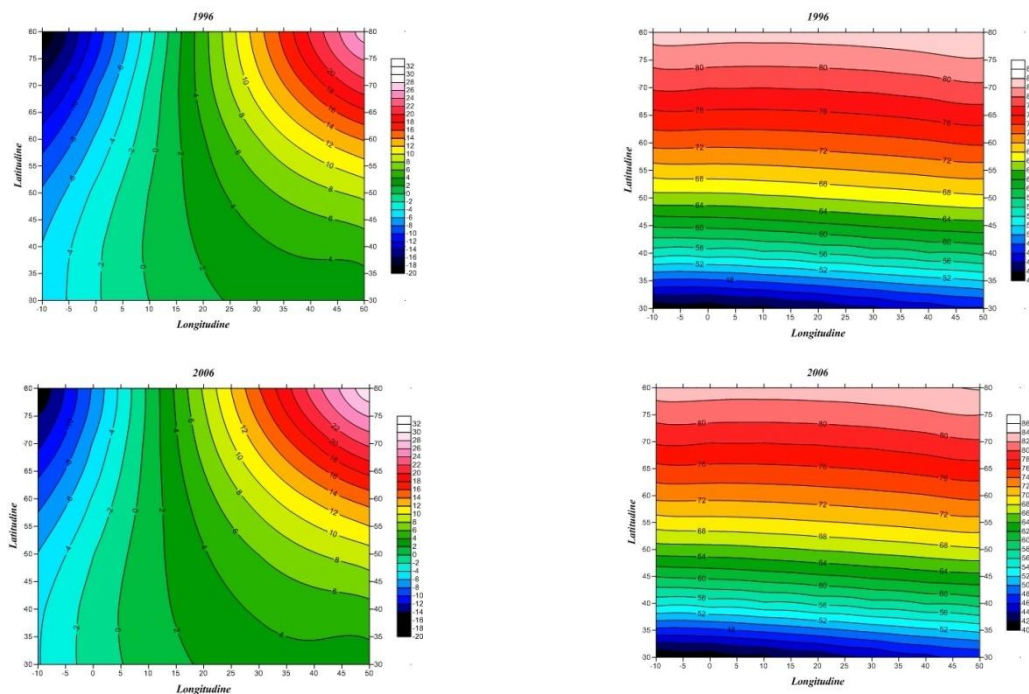


Fig. 5.1. IGRF12 calculator (www.ngdc.noaa.gov)

În continuare voi arăta variația pentru următoarele componente declinație, înclinație, câmpul total, X, Y și Z.



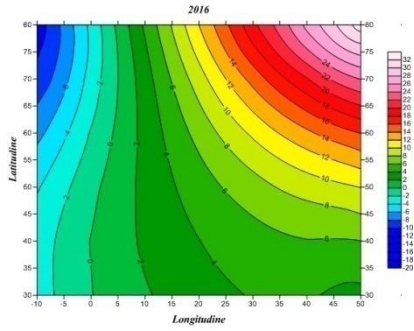


Fig. 5.2 Reprezentarea declinației pentru anii 1996, 2006 și 2016

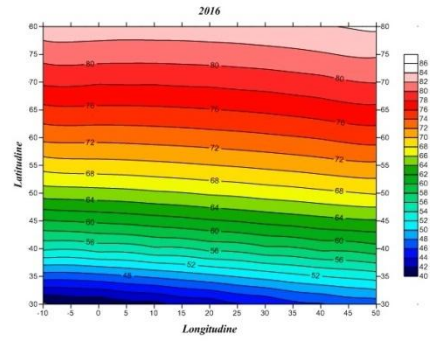


Fig. 5.3 Reprezentarea înclinației pentru anii 1996, 2006 și 2016

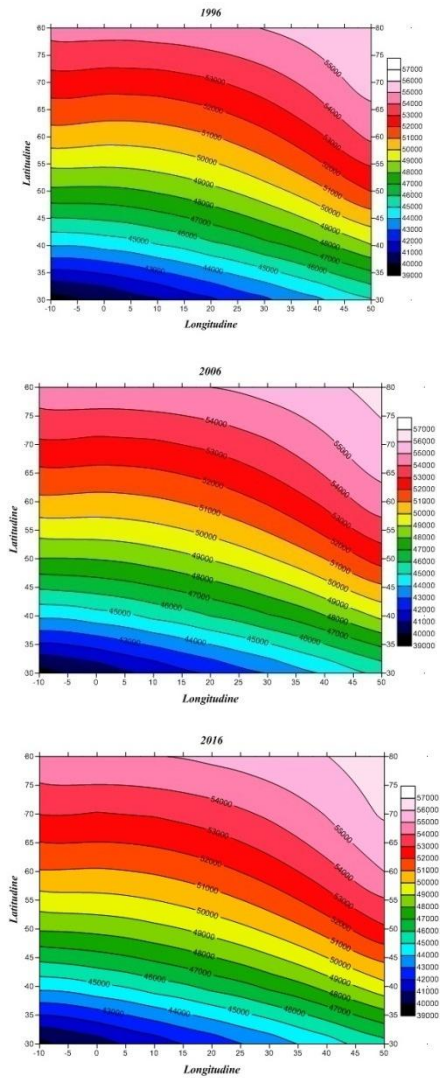


Fig. 5.4 Reprezentarea câmpului total pentru anii 1996, 2006 și 2016

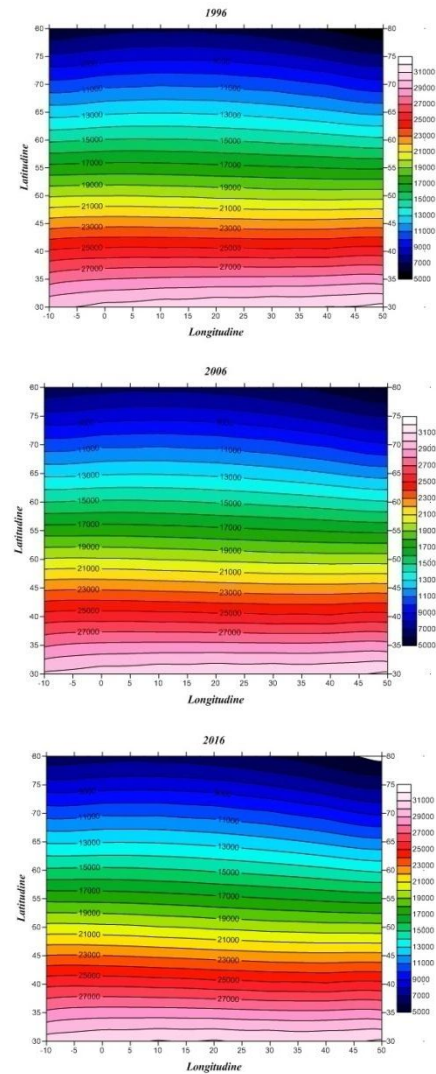


Fig. 5.5 Reprezentarea componentei X pentru anii 1996, 2006 și 2016

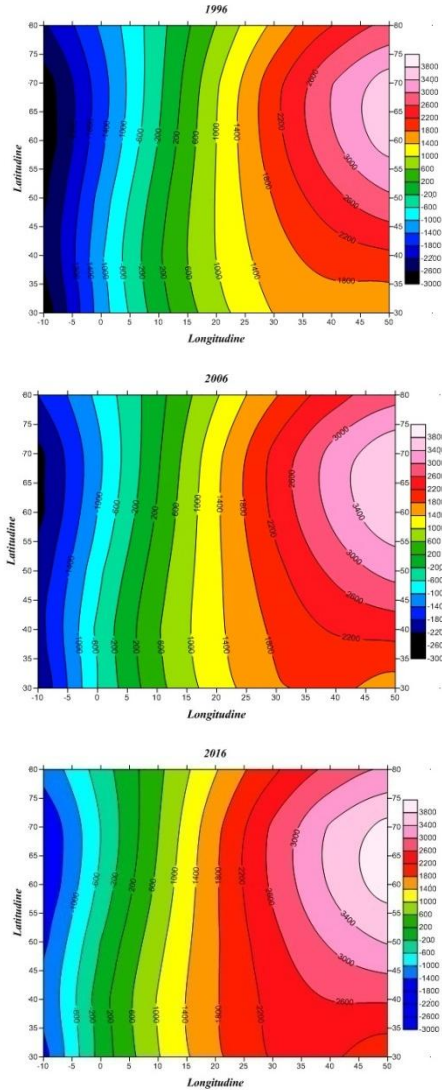


Fig. 5.6 Reprezentarea componentei Y pentru anii 1996, 2006 și 2016

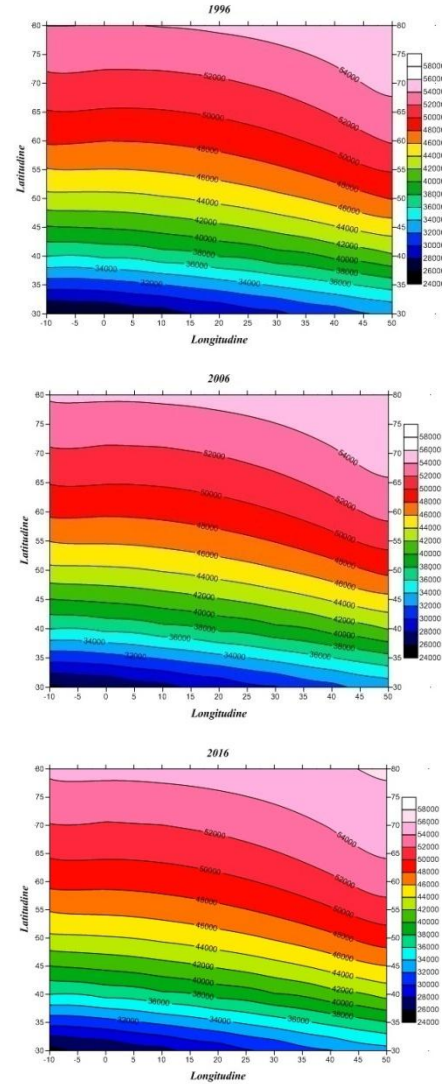


Fig. 5.7 Reprezentarea componentei Z pentru anii 1996, 2006 și 2016

5.2.1 Declinația (D)

Declinația magnetică reprezintă unghiul dintre direcția nordului geografic și direcția nordului magnetic într-un punct dat.

Declinația pentru coordonatele analizate are o variație cuprinsă între $0,06^\circ$ - $0,48^\circ$ pe an în funcție de punctul unde este calculată.

Pentru cei 21 de ani studiați declinația variază cu valori cuprinse între $0,86^\circ$ - $8,60^\circ$ funcție de punctul unde este calculată.

- migrează spre vest

5.2.2 Înclinația (I)

Înclinația magnetică reprezintă unghiul dintre orizontala locului și planul acului magnetic.

- variația anuală este cuprinsă între $0^\circ - 0,060^\circ$ în funcție de punctul unde este calculată
- variația pentru cei 21 de ani este cuprinsă între $0,06^\circ - 0,6^\circ$ în funcție de punctul unde este calculată
- migreaza foarte lent de la S spre N

5.2.3 Intensitatea totală (F)

- variația anuală este cuprinsă între $-1,7 \text{ nT} - 43 \text{ nT}$ în funcție de punctul unde este calculată
- variația pentru cei 21 de ani este cuprinsă între $180 \text{ nT} - 760 \text{ nT}$ în funcție de punctul unde este calculată
- migrează lent de la N spre S – SV

5.2.4 Componenta X

X reprezintă componenta orizontală pe direcția nordică.

- variația anuală este cuprinsă între $-26 \text{ nT} - 34 \text{ nT}$ în funcție de punctul unde este calculată
- variația pentru cei 21 de ani este cuprinsă între $-523 \text{ nT} - 617 \text{ nT}$ în funcție de punctul unde este calculată
- migrează foarte lent de la N spre S - SE

5.2.5 Componenta Y

Y reprezintă componenta orizontală pe direcția estică.

- variația anuală este cuprinsă între $9 \text{ nT} - 69 \text{ nT}$ în funcție de punctul unde este calculată
- variația pentru cei 21 de ani este cuprinsă între $460 \text{ nT} - 1150 \text{ nT}$ în funcție de

punctul unde este calculată
- migrează de la E spre V

5.2.6 Componenta Z

Z este componenta verticală a câmpului geomagnetic.

- variația anuală este cuprinsă între -33 nT – 49 nT în funcție de punctul unde este calculată

- variația pentru cei 21 de ani este cuprinsă între -426 nT – 1123 nT în funcție de punctul unde este calculată

- migrează lent de la N spre S – SV

Astăzi este o certitudine că declinația magnetică are o dinamică spațio-temporală importantă și este un factor de risc în traficul aero-portuar. Datorită acestei dinamici și a caracterului local datorat diversității surselor magnetice din litosferă, este prezentată în continuare o comparație între configurația declinației determinată cu ajutorul IGRF și cea a declinației măsurate în Rețeaua Națională de Repetiție Aero-Portuară pentru teritoriul României la epoca 2017.5 (Figura 5.8).

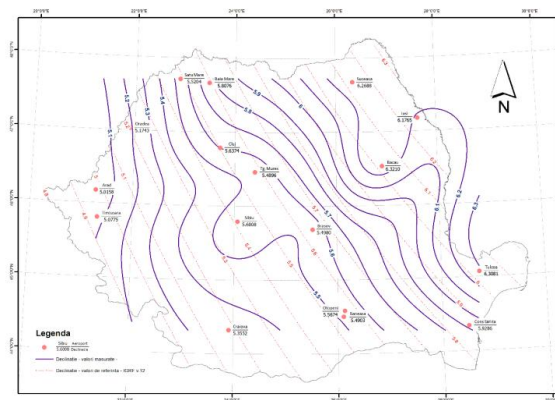


Fig. 5.8 Distribuția geografică a izogonelor de declinație magnetică pentru epoca 2017.5, din gridul IGRF-12 (valori de referință) – izolinii roz și distribuția declinației –valori măsurate în rețeaua de variație Seculară Aero - Portuară – izolinii mov. Aeroporturile măsurate sunt figurate cu puncte roșii. (Iancu et al., 2019, lucrări finanțate în cadrul PN 18 47 01 03).

Tehnicile de selecție a stațiilor, de măsurare și de determinarea valorilor absolute ale elementelor vectorului care definește la un moment dat câmpul

geomagnetic într-un punct au fost stabilite pe baza unor scheme de operațiuni care au la bază manualul Asociației Internaționale de Geomagnetism și Aeronomie, Guide for magnetic measurements and Observatory practice (Jankowski & Sucksdorff, 1996), Guide for Magnetic Repeat Station Surveys (Newitt et al., 1996) iar aparatura utilizată în teren este identică cu cea care constituie sistemul de achiziție continuă a variațiilor de câmp magnetic, conform cu rutina de observator respectată de toate observatoarele geomagnetice planetare (vezi capitolul 3).

În ceea ce privește configurația declinației din Modelul Global de Referință IGRF-12 (figura 5.8, curbele roșii), declinația calculată deasupra României la epoca 2017.5 are o distribuție spațială cu gradienti mici, în jurul a 3 grade cât și cu o rată de variație foarte lentă, de câteva minute pe an. Ulterioarele măsurători periodice ce vor fi executate în cele 17 stații ale Rețelei de Variație Seculară Aero-Portuară (Figura 5.8, linii mov), vor putea oferi soluții eficiente din punct de vedere economic operatorilor aeroportuari care vor putea fi informați despre perioada de timp după care valorile de declinație vor trebui actualizate la fiecare aeroport, funcție de structura geologică locală a crustei. Din cele două imagini obținute prin suprapunerea IGRF-12, modelul global de referință (izogone roz) care pentru epoca 2017.5 este predictiv, cu izoliniile obținute prin interpolarea cu diverse metode a punctelor din Rețeaua de Variație Seculară Aero-Portuară, reprezentată de toate aeroporturile Internaționale românești și câteva aerodromuri, rezultă 2 zone anormale mari: Sibiu-Târgu Mureș-Brașov și Iași-Bacău-Tulcea care ies din marja predictivă a IGRF-12. Asta înseamnă că pentru aeroporturile menționate mai sus, determinări de declinație în valoare absolută la epocile 2018.5, 2019.5, etc sunt necesare. Totodată, vor fi necesare măsurători pentru aeroporturile care vor face curând trecerea la următoarea valoare în grade întregi, prin rotunjirea la grad solicitată de regulamentele internaționale: de exemplu Otopeni, Băneasa, Brașov, Târgu Mureș. Astfel se va crea o serie de timp ce va pune în evidență eventuale biasuri în punctele de măsură și va putea cuantifica rapid evoluția temporală a declinației în proximitatea zonelor aero-portuare (Iancu et al., 2019, in prep.).

CONCLUZII

Una din direcțiile aprofundate în această lucrare este reprezentată de valorificarea mai extinsă a seriilor lungi de timp ale câmpului geomagnetic înregistrat timp de peste 7 cicluri solare în Observatorul Geomagnetic Național Surlari. Calitatea datelor înregistrate digital din 1996 în Observatorul Surlari este superioară și esențială în analiza variațiilor temporale de perioadă scurtă. Aceste date, obținute prin controlul sistematic al proceselor de achiziție, procesare, evaluare și nu în ultimul rând de interpretare a datelor de câmp geomagnetic, efectuat de autorul acestei lucrări reprezintă punctul de plecare.

Pentru această lucrare au fost analizate 545 de ssc-uri, 876 de indici planetari $K_p \geq 6$ deoarece aceștia ne pot indica o furtună sau o subfurtună, 6899 de indici Dst, 6598 de zile în care numărul petelor solare $W > 1$, pentru perioada 1996 - 2016.

Principalele concluzii privind datele analizate sunt:

- Înregistrarea unui SSC nu reprezintă de fiecare dată începutul unei furtuni geomagnetice. Uneori acesta precede o perioadă de agitație magnetică de scurtă durată și cu amplitudini mult mai reduse în raport cu cele caracteristice unei furtuni .
- În funcție de locul unde se află amplasat observatorul geomagnetic acesta poate înregistra sau nu un fenomen ssc, iar amplitudinea acestuia variază în funcție de poziția acestuia.
- Se observă o coincidență în amplitudine pentru observatoarele situate la latitudini medii din emisfera nordică, pentru cele situate în zone subecuatoriale, însă nu se observă nicio corelație pentru observatoarele din zonele aurorale.
- Durata de viață a unei pete solare depinde de intensitatea sa magnetică, aceasta poate varia de la câteva ore, la câteva zile sau chiar mai multe rotații solare.
- Există furtuni care nu se înscriu pe maximul de activitate solară .
- Ultimile 3 cicluri solare au câte două maxime solare.
- Variația numărului de pete solare pune în evidență cel mai bine limitele unui

ciclu solar.

A doua direcție este reprezentată de studiul variației seculare prin analiza variațiilor înregistrate în perioada 1996-2016 în mai multe observatoare europene și în România, unde monitorizarea variației seculare are implicații în controlul riscului în traficul aerian. Astfel, pentru oricare din cele șase componente analizate, variația seculară este diferită pentru fiecare punct de pe suprafața globului și are amplitudini diferite pentru fiecare segment de timp pentru care este calculată. În mod obișnuit aceasta are un parcurs cvasi-liniar pentru perioade scurte de timp (câțiva zeci de ani), exceptând cazurile în care se produc jerkuri sau cele în care apar excursii ale polilor magnetici. Între aceste două tipuri de fenomene diferența este dată de extinderea în timp și de amplitudinea variației câmpului intern.

Monitorizarea periodică a variației seculare la nivel național reprezintă o componentă esențială în minimizarea riscurilor în traficul aerian. În teză, analiza declinației la epoca 2017.5 la nivel național, prin măsurători în zonele cu facilități aeroportuare, și comparată cu modele internaționale de referință subliniază necesitatea actualizării periodice la aproximativ 3-4 ani a declinației în proximitatea pistelor de aterizare-decolare.

Calculul declinației câmpului geomagnetic în zonele cu facilitate aeroportuare, spre deosebire de calculul declinației în rețeaua de repetiție pentru determinarea variației seculare, trebuie să ia în considerație și componenta locală produsă de câmpul geomagnetic crustal. Acest lucru este util deoarece în navigație este necesară cunoașterea valorii declinației generate de toate sursele cu caracter permanent ale câmpului geomagnetic. În cazul variației seculare acest efect este îndepărtat prin selectarea stațiilor în zone fără surse anormale în subsol (zăcăminte de minereuri feroase, roci ultra bazice și bazice, roci sedimentare cu conținut ridicat de magnetit).

Teza se încheie cu lista a peste 80 de lucrări de referință și cu anexe ce cuprind tabele de date la care se face referire în text.

BIBLIOGRAFIE

- Alexandrescu, M., Gibert, D., Hulot, G., Le Mouél, J.-L., Saracco, G., 1996, Worldwide wavelet analysis of geomagnetic jerks, *J. Geophys. Res.*, 101, B10, 21975-21994.
- Asimopolos, L., Niculici, E., Peștină, A. M., Asimopolos, A. S., 2012 - Evaluarea câmpului geomagnetic prin metode statistice, spectrale și wavelet a datelor de observator.
- Bartels, J., 1957 – The geomagnetic measures for the time-variations of solar corpuscular radiation, described for use in correlation studies in other geophysical fields, *Ann. Intern. Geophys. Year 4*.
- Bartels, J., 1957 – The technique of scaling indices K and Q of geomagnetic activity, *Ann. Intern. Geophys. Year 4*, 215-226.
- Bartels, J. and Veldkamp, J., 1954 – International data on magnetic disturbances, fourth quarter, 1953, *J. Geophys. Res.*, 59, 297 – 302, DOI:10.1029/JZ059i002p00297.
- Bartels, J., 1949 – The standardized index Ks and the planetary index Kp, *IATME Bulletin 12b*, 97.
- Bartels, J., Heck, N. H., and Johnston, H. F., 1939 - The three-hour range index measuring geomagnetic activity, *Terr. Magn. Atmos. Electr.*, 44.
- Bartels, J., 1932 - Terrestrial-magnetic activity and its relations to solar phenomena, *Terr. Magn. Atmos. Electr.*, 37, 1–52.
- Chambodut, A., Manda, M., 2005. Evidence for geomagnetic jerks in comprehensive models. *Earth Planets Space* 57, 139_149.
- Campbell, W. H., 2003 – Introduction to Geomagnetic Fields, Second Edition, 337 pp, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Campbell, W. H., 1997 - Introduction to Geomagnetic Fields, Cambridge University Press.
- Constantinescu, L., Stefla, V., 1961 – Variația seculară a câmpului geomagnetic pe teritoriul României în intervalul 1950 – 1960, *Probleme de geofizică*, Ed. Acad. Rom., București, vol. T, 89-101.
- Courtillot, V., Ducruix, J., Le Mouél, J.-L., 1978 – Sur une accélération récente de la variation séculaire du champ magnétique terrestre, *C.R. Acad. Sci. Paris, Ser. D* 287, 1095 – 1098.
- Curto, J. J., Araki, T., and Alberca, L. F., 2007 – Evolution of the concept of Sudden Strom Commencements and their operative identification, *Earth Planets space*, 59, I-XII.
- Curto, J. J., Mazaudier, C., Torta, J. M., and Menvielle, M., 1994 – Study of solar flare effects at Ebre: regular and reversal sfe, statistical analysis (1953 to 1985) and a global case study, *J. Geophys. Res.*, 99, 3945 – 3954.
- Dal Lago, A. Vieira, L. E. A., Echer, E.; Gonzalez, W. D., Clúa de Gonzalez, A. L., Guarnieri, F. L.,

- Balmaceda, L., Santos, J., Da Silva, M. R., De Lucas, A., Schuch, N. J., 2004, Great geomagnetic storms in the rise and maximum of solar cycle 23, *Brazilian J. Phys.*, 34 (B4), 1542-1546.
- Demetrescu, C., Dobrica, V., 2006, Solar activity signature in the time evolution of the geomagnetic field, *Romanian Astronomical Journal*, vol. 16, Supplement., 217-227.
- Demetrescu, C., Dobrica, V., 2005 - Recent secular variation of the geomagnetic field: New insights from long series of observatory data, *Rev. Roum. Geophys.*, 49, 63-72.
- Dobrica, V., 2007 – Contribuții la studiul proprietăților magnetice și electrice ale interiorului globului prin cercetări asupra variațiilor geomagnetice de perioadă lungă, teză de doctorat.
- Dormy, E. and Manda, M., 2005, Tracking geomagnetic impulses down to the core-mantle boundary, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 237, 300–309.
- Friis – Christensen, E., Lühr, H., Hulot, G., Haagmans, R., Purucker, M., 2009 – Geomagnetic research from space, *EOS Trans, AGU 90 (25)*, 213 - 214.
- Gauss, C. F., 1839 – Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus, In: Gauss, C. F., Weber, W. (Eds.), *Resultate aus den Beobachtungen des Magnetischen Vereins im Jahre 1838*, Leipzig, pp. 1-57.
- Geese, A., 2010 - Earth's Magnetic Field: Observation and Modelling From Global to Regional Scales, teză de doctorat.
- GFZ-Potsdam, 2006, - Indices of global geomagnetic activity. http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb23/GeoMag/niemegk/kp_index/.
URL http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb23/GeoMag/niemegk/kp_index/
- Gilbert, W., 1600 – *de Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure*. Dover Publications, translated by P.F. Mottelay, 1958.
- Glatzmaier, G. A., and Roberts, P. H., 1997 – Simulating the geodynamo, *Contemporary Physics*, 38, 269-288.
- Gonzalez, W. D., Joselyn, J. A., Kamide, Y., Kroehl, H. W., Rostoker, G., Tsurutani, B. T. and Vasyliunas, V. M., 1994, What is a geomagnetic storms, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 99, No. A4, Pages 5771-5792.
- Greuleasa, R., 2016 - Contribuții la studiul structurii magnetice și electrice a interiorul Globului pe baza măsurătoilor geomagnetice. Studii de caz - teritoriul României, *Continental European*, - teză de doctorat.
- Hulot, G., Olsen, N., Sabaka, T. J., 2007. The present field, *Geomagnetism*, ed. by M. Kono. *Treatise on Geophysics*, 6, Elsevier 5, 33_72.
- Iancu, L.**, Gătej, M., Isac, A., Manda, M., Linthe, H.-J., 2012 – Surlari National Geomagnetic

- Observatory: its History from the first measurements to its participation in INTERMAGNET - Proceedings, XVth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, data Acquisition and Processing, San Fernando, Cadiz, Spania.
- Isac, A., Linthe, H-J., Manda, M., **Iancu, L.**, 2012 - The Renewing of Surlari Observatory: Targets and Present Status of ITS Data Quality - Proceedings, XVth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, data Acquisition and Processing, San Fernando, Cadiz, Spania.
- Isac, A., 2012 – Some characteristics of Earth, Mars and Moon’s magnetic fields, teză de doctorat.
- Ionescu, F., 1968 - Prospecțiuni magnetometrice - Manual pentru școala tehnică de Geologie, Editura Didactică și Pedagogică, București.
- Jankowski, J., Sucksdor, C., 1996 – IAGA guide for magnetic measurements and observatory practice, IAGA.
- Johnston, H. F., 1943 – Mean K-indices from twenty one magnetic observatories and five quiet and five disturbed days for 1942, Terr. Magn., Atmos. Elec., 47, 219, DOI:10.1029/TE048i004p00219.
- Langel, R. A., Hinze, W. J., 1998. - The Magnetic Field of the Earth's Lithosphere _ The Satellite Perspective. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Langel, R. A., Puruker, M., Rajarm, M., 1993 – The equatorial electrojet and associated currents as seen in MAGSAT data, J. Atmos. Terr. Phys. 55,1233-1269.
- Lanzerotti, L. J., Langel, R.A., Chave, A.D., 1993 – Geoelectromagnetism, In: Trigg, G. (Ed.), Encyclopedia of Applied Physics, Vol 7, VCH Publishers, New York, pp. 109-123.
- Legrand, J. P., Simon, P. A., 1989a – Solar cycle and geomagnetic activity: A review for geophysicists. I – The contributions to geomagnetic activity of shock waves and of the solar wind, Ann. Geophys. 7, 565 – 578.
- Legrand, J. P., Simon, P. A., 1989b – Solar cycle and geomagnetic activity: A review for geophysicists. II – The solar sources of geomagnetic activity and their links with sunspot cycle activity, Ann. Geophys. 7, 579 – 593.
- Lesur, V., Wardinski, I., Asari, S., Minchev, B., Manda, M., 2010 - Modelling the Earth's core magnetic field under low constraints. Earth Planets Space 62.
- Lesur, V., Wardinski, I., Rother, M., Manda, M., 2008 – GRIMM_The GFZ Reference Internal Magnetic Model based on vector satellite and observatory data, Geophys. J. Int., 173.
- Lesur, V., 2006 – Introducing localized constraints in global geomagnetic field modelling, Earth Planets Space 58, 477 - 483.
- Le Huy, M., Alexandrescu, M., Hulot, G. and Le Mouél, J. -L., 1998, On the characteristics of

- successive geomagnetic jerks, *Earth Planets Space*, 50, 723-732.
- Mandea, M., Thébault, E., 2007. The Changing Faces of the Earth's Magnetic Field: A glance at the magnetic lithospheric field, from local and regional scales to a planetary view. Commission for the Geological Map of the World, Paris.
- Mandea, M., Purucker, M., 2005. Observing, Modeling, and Interpreting Magnetic Fields of the Solid Earth. *Surveys in Geophysics* 26, 415-459.
- Mandea, M., 2005 – Candidate main – field models for producing the IGRF 9 th generation, *Earth, Planets and Space* 57, 1183-1189.
- Mandea, M., Bellanger, E., Mouël, J. – L., L., 2000 – A geomagnetic jerk for the end of the 20th century, *Earth Planet. Sci. Lett.* 183, 369-373.
- Mandea, M., Macmillan, S., 2000 – International Geomagnetic Reference Field – the eighth generation, *Earth Planets Space*, 52, 1119-1124.
- Mariș, G., Țifrea, E., 1999 - Eclipsele - Colecția Astronomia, Editura Tehnică, București.
- Mayaud, P. N., 1980 – Derivation, meaning, and use of geomagnetic indices, in *Geophysical Monograph* 22, 154 pp, AGU, Washington, D. C.
- Mayaud, P. N., 1973 – A hundred year series of geomagnetic data, 1868 – 1967: indices aa, storm sudden commencements (SSC), 256 p., IUGG Publ. Office, Paris.
- Mayaud, P. N., 1972 – The aa indices: A 100 – year series characterizing the magnetic activity, *J. Geophys. Res.*, 77 (34), 6870 -6874.
- Mayaud, P. N., 1971 – Une mesure planétaire d'activité magnétique basée sur deux observatoires, *Ann. Geophys.*, 27, 67 – 70.
- Milea, N., 1959 – Elemente de Geomagnetism, Editura Tehnică.
- Mursula, K. and Ziegler, B., 2001 – Long – term north – south asymmetry in solar wind speed inferred from geomagnetic activity: A new type of century – scale solar oscillation, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 95 – 98.
- Mursula, K., Usoskin, I. G. and Kovaltsov, G. A., 2001 – Persistent 22 – year cycle in sunspot activity: Evidence for a relic solar magnetic field, *solar Physics*, 198, 51 – 56.
- Nose, M., Iyemori, T., Sugiura, M. and Kamei, T., 2015 – Geomagnetic Dst index, World Data Centre for Geomagnetism, Kyoto, IAGA Bull., IUGG, Paris, DOI: 10.17593/14515-74000.
- Newitt, L. R., Barton, C. E., Bitterly, J., 1996. Guide for magnetic repeat station surveys. International Association of Geomagnetism and Aeronomy.
- Olsen, N., Mandea, M., 2008 – Rapidly changing flows in the Earth's core. *Nature Geosciences* 1, 390-394.
- Olsen, N., 1999 – Induction studies with satellite data. *Surveys in Geophysics* 20, 309-340.

- Panaiotu, C. G., 2006 – Geomagnetism, Ars Docendi.
- Purucker, M. E., 2007. Magsat. In: Gubbins, D., Herrero-Bervera, E. (Eds.), Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism. Springer, Heidelberg.
- Purucker, M. E., Whaler, K., 2007 – Crustal magnetism. Geomagnetism, M. Kono (ed.), Elsevier, Treatise on Geophysics 5, 195-237.
- Purucker, M. E., 2007 – Magsat. In: Gubbins, D., Herrero – Bervera, E. (Eds.), Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism. Springer, Heidelberg.
- Rangarajan, G. K., 1989 – Indices of geomagnetic activity, Cap. 5, in Geomagnetism, vol. 3, edited by J. A. Jacobs, 385 – 460, Academic Press, London.
- Reda, J., Fouassier, D., Isac, A., Linthe, H. J., Matzka, J., Turbitt, C. W., 2011. Improvements in geomagnetic observatory data quality. Geomagnetic Observations and Models, IAGA Special Sopron Book Series 5, 127_148.
- Samson, J. C., 1991 – Geomagnetic pulsations and plasma waves in the Earth's magnetosphere, in Geomagnetism, vol.4, edited by J.A. Jacobs, pp. 481 –592, Academic, San Diego.
- Sabaka, T. J., Olsen, N. and Purucker, M. E., 2004 – Extending comprehensive models of the Earth's magnetic field with Ørsted and CHAMP data, Geophys. J. Int. 159, 521-547, doi: 10.1111/j.1365-246X.2004.02421.x.
- Sabaka, T. J., Olsen, N. and Langel, R. A., 2002 – A comprehensive of the quiet – time near – Earth magnetic field: Phase 3, Geophys. J. Int., 151, 32-68.
- Schmucker, U., 1985 – Magnetic and electric fields due to electromagnetic induction by external sources, electrical properties of the earth's interior, in Landolt – Börnstein, New – series, 5/2b, Springer – Verlag, Berlin.
- Smith, J. A., 1992 – Precursors to Peregrinus: The Early History of Magnetism and the Mariner's Compass in Europa, Journal of Medieval History.
- Soare, A., Cucu, G., Alexandrescu, M., 1998 – Historical geomagnetic measurements in Romania, Annali di Geofisica, 41, 4, 539 – 554.
- Sugiura, M. And Kamei, T., 1991 – Equatorial Dst index 1957 – 1986, IAGA Bull., 40, IUGG, Paris.
- Sugiura, M., 1964 – Hourly values of equatorial Dst for the IGY, Ann. Int. Geophys. Year, 9, Pergamon Press, Oxford.
- Stacey, F. D., 1992. Physics of the Earth. Brook_eld Press, Australia.
- Stern, D. P., 2002, A millennium of geomagnetism, Rev. Geophys., 40(3), 1-30.
- Thompson, S. M. And Kivelson, M. G., 2001 – New evidence for the origin of giant pulsations, Journal of Geophysical Research 106: doi: 10.1029/2001JA000026. issn: 0148-0227.
- Turner, G., Rasson, J., Reeves, C., 2007. Observation and measurement techniques. In: Kono, M.

(Ed.), Treatise on Geophysics. Vol. 5. Elsevier Ltd., Amsterdam.

Vaivads, A., Baumjohann, W., Georgescu, E., Haerendel, G., Nakamura, R., Lessard, M. R., Eglitis, P., Kistler, L. M. and Ergun, R. E., 2001 – Correlation studies of compressional PC5 pulsations in space and Ps 6 pulsations on the ground, Journal of Geophysical, vol. 106, no. A12, 29797 – 29806.

White, R.S., McKenye D., and O'Nions R.K., 1992 - Oceanic crustal thickness from seismic measurements and rare earth element inversion. Journal of Geophysical Research, 97(B13):19,683-19,715, December 10 1992.

<http://roma2.rm.ingv.it/it>

<https://www.ngdc.noaa.gov/>

<http://www.gemsys.ca/>

<https://www.fgsensors.com/documentation>

<http://www.bemt.fr/clf.html>

<http://www.kakioka-jma.go.jp/en/kanoya.html>

<https://www.gfz-potsdam.de/en>

<https://geomag.nrcan.gc.ca/obs/ott-en.php>

www.teixeira.eti.br

<http://ro.wikipedia.org>

<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>

www.intermagnet.org

http://isgi.unistra.fr/indices_kp.php

<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>

<http://www.sidc.be/silso/>

http://roma2.rm.ingv.it/it/tematiche/23/indici_geomagnetici

Lucrări și prezentări susținute la conferințe naționale și internaționale

- Isac, A., Matzka, J., **Iancu, L.**, 2018, Surlari Geomagnetic Observatory, 75 years old: achievements and challenges, the XVIIIth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing, 2018, Conrad Observatory of the Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Austria.
- Niculici, E., **Iancu, L.**, Farnoga, R., Sandulescu, A., Isac, A., 2018, Surlari Observatory – a revised Standard Procedure for Navigational Purposes as a response to societal needs, 75 Years of Geomagnetic Measurements of the Romanian Centenary, Workshop and Round Table, 16-19 October 2018, Bucharest, Romania, Romanian Geophysical Journal (in preparation).
- A. Isac, V. Dobrica, R. Greculeasa, **L. Iancu**, 2017, Geomagnetic measurements and maps for National Aeronautical Safety, Proceedings of GEOSCIENCE 2016, Universitatea București.
- Iancu L.**, M. Gătej, A. Isac - Development in magnetic measurement techniques at Surlari observatory, Geo2014, The Scientific meeting of the Faculty of Geology and Geophysics, University of Bucharest.
- A. Isac, M Korte, H-J linthe, **Iancu L.**, M. Gatej - Surlari Observatory, New Impovements For A Better Quality, XVI IAGA Observatory Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Fata acquisition and processing. October 7-16, 2014, Hyderabad India.
- Isac, A., Manda, M., Linthe, H.-J., Gătej, M., **Iancu L.** - Surlari observatory ready for present and future, in the third millennium, The 12th IAGA Scientific Assembly, August 26-31, 2013, Yucatan, Mexico.
- Iancu L.**, Gatej M., Isac A., Manda M., Linthe H.-J., Surlari National Geomagnetic Observatory: its History from the first measurements to its participation in INTERMAGNET, The XVth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, 4-14 June 2012, San Fernando, Cadiz, Spania, Proceedings.
- Isac A., Linthe H.-J., Manda M., **Iancu L.**, The renewing of Surlari Observatory: targets and Present status of its data Quality, The XVth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, 4-14 June 2012, San Fernando, Cadiz, Spania.
- Iancu L.**, Geomagnetic Observatory Surlary 1943 -2012, Geo2012, The Scientific meeting of the Faculty of Geology and Geophysics, University of Bucharest.
- Isac A., Dobrică V., **Iancu L.**, Demetrescu C., Linthe H.-J., Manda M., Vina G., 2011, A revaluation of the magnetic declination at the main airports in Romania, , IAGA – IUGG 2011, General Assembly , 27 June-8July, Melbourne, Australia.
- Iancu L.**, Isac A., 2011, Improvements in Surlari Geomagnetic National Observatory data, Quality,

Geo2011, The Scientific meeting of the Faculty of Geology and Geophysics, University of Bucharest.

Iancu L., Modelarea câmpului geomagnetic, referat pentru lucrarea de doctorat, 2011.

Iancu L., Perturbații geomagnetice generate de câmpul extern, referat pentru lucrarea de doctorat, 2011.

Isac A., Linthe H.J., Manda M., **Iancu L.**, 2010, Surlari Observatory's data improvements , 2008 – 2009, The XIVth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Changchun, Jilin Province, China.

Iancu L., Isac A., 2010, Geomagnetic perturbations produced by one of the most powerful solar flare on record – the bright blip near the sun's middle, on October 28, 2003, Geo2010; The Scientific meeting of the Faculty of Geology and Geophysics, University of Bucharest.