

IMAGINI ALE COMPONENTELOR CÂMPULUI GEOMAGNETIC DIN PARTEA DE SUD-EST A EUROPEI

LIGIA ATANASIU¹, DOREL ZUGRĂVESCU¹, MIOARA MANDEA², MIHAI ROHARIK²

¹*Institutul de Geodinamică „Sabba S. Ștefănescu” al Academiei Române,
Str. Jean-Louis Calderon, nr.19–21, București 37,020032, România*

²*Institut de Physique du Globe de Paris, 4, Place Jussieu, 75252 PARIS CEDEX 05*

1. INTRODUCERE

În prezent, măsurarea câmpului magnetic terestru este legată de răspunsul la câteva întrebări fundamentale în ceea ce privește interiorul Pământului și mediul înconjurător (Merrill *et al.*, 1996; Campbell, 1997). Datele geomagnetice sunt foarte utile în unele studii geofizice, cum ar fi interacțiunile termice de la nivelul nucleu – manta sau în studiile geodinamice. În ultimele decenii, misiunile satelitare (Ørsted, Champ), datorită unei acoperiri dense și omogene a suprafeței Pământului cu măsurători, au oferit posibilitatea unui progres considerabil în descifrarea câmpului magnetic terestru. Aceste misiuni satelitare au reprezentat sursa primară de date în elaborarea modelelor de câmp magnetic și a variației seculare a acestuia. Analiza combinată a datelor satelitare cu datele măsurate la suprafață au dus la eliminarea zgometelor și la o mai bună separare a diverselor surse ale câmpului geomagnetic. Imaginile globale obținute în cadrul diverselor studii (Olsen, 2000; Olsen, 2002) ne-au permis obținerea unor hărți ale componentelor câmpului geomagnetic pentru partea de sud-est a Europei. De asemenea, accesul la datele provenite de la satelitul Ørsted și accesul pe web la o serie de programe de calcul ne-au oferit posibilitatea realizării unor modele pentru această parte a Europei.

2. SCURTĂ PREZENTARE A SATELITULUI ØRSTED

Satelitul danez Ørsted a fost lansat la data de 23.02.1999. Principalele subiecte de cercetare care au fost abordate au fost îndreptate în două direcții, și anume:

- studii asupra modului de generare a câmpului magnetic în nucleul fluid și asupra proprietăților magnetice și electrice ale Pământului solid;
- studii ale câmpului magnetic terestru ca parametru de control al magnetosferei și al tuturor proceselor din zonele conductoare din jurul Globului, inclusiv fenomene caracteristice ionosferei.

Satelitul a fost dotat cu cinci instrumente științifice, constând dintr-un instrument de tip flux-gate, capabil să măsoare trei componente vectoriale ale câmpului geomagnetic cu o precizie de 0,5 nT, un magnetometru cu precesie protonică având o precizie de 0,5 nT, o cameră de luat vederi pentru determinarea orientării satelitelui, un detector de particule pentru determinarea fluxului de electroni, protoni și particule alpha, un receptor GPS pentru determinarea poziției satelitelui. Stația de recepție a datelor a fost stabilită la DMI (Danish Meteorological Institute, Copenhaga), unde se efectuează atât reducerile preliminare, cât și calibrarea în cadrul SDC (Science Data Center). Pentru explorarea, prelucrarea și interpretarea datelor a fost stabilită o colaborare internațională la care participă mai mult de 50 de grupuri de cercetare din toate colțurile lumii, cu acces rapid la datele originale, dar și la studiile deja efectuate și publicate.

Principalul scop al satelitelui Ørsted este de a realiza o cartografiere detaliată și de o mare precizie a câmpului magnetic al Pământului. Combinate cu datele provenite și de la alți sateliți (CHAMP, SAC-C), precum și cu înregistrările continue ale observatoarelor geomagnetice, măsurătorile efectuate de satelitul Ørsted vor fi utilizate în studii ale distribuției câmpului magnetic la suprafața pământului.

3. CÂTEVA PRELUCRĂRI ALE DATELOR SATELITARE PE TERITORIUL ROMÂNIEI

Fișierele accesibile în baza de date Ørsted sunt de două feluri și anume: fișiere ce conțin date scalare (cum este indicat în tabelul 1) și fișiere ce conțin date vectoriale (cum este indicat în tabelul 2).

Tabelul 1

Fișier al datelor satelitare (date scalare)

1999	74	0	28	16.000	7.076.008	49.954	32.782	36.502.390	0	0	0	0	0	1	1	0	11	-15
1999	74	0	28	17.000	7.075.916	49.894	32.762	36.488.080	0	0	0	0	0	1	1	0	11	-15
1999	74	0	28	18.000	7.075.823	49.834	32.741	36.473.730	0	0	0	0	0	1	1	0	11	-15
1999	74	0	28	19.000	7.075.730	49.774	32.720	36.459.370	0	0	0	0	0	1	1	0	11	-15
1999	74	0	28	20.000	7.075.638	49.714	32.699	36.444.980	0	0	0	0	0	1	1	0	11	-15
1999	74	0	28	21.000	7.075.546	49.653	32.679	36.430.590	0	0	0	0	0	1	1	0	11	-15
1999	74	0	28	22.000	7.075.454	49.593	32.658	36.416.140	0	0	0	0	0	1	1	0	11	-15
1999	74	0	28	23.000	7.075.362	49.533	32.638	36.401.690	0	0	0	0	0	1	1	0	11	-15
1999	74	0	28	24.000	7.075.270	49.473	32.617	36.387.200	0	0	0	0	0	1	1	0	11	-15
1999	74	0	28	25.000	7.075.178	49.413	32.597	36.372.690	0	0	0	0	0	1	1	0	11	-15

Tabelul 2

Fișier al datelor satelitare (date vectoriale)

2001	1	1	8	35.675	7.186.306	40.021	40.011	17.774.463	995.395	27.474.135	-175959	-804675	-567043	1	0	1	1	0	0	0	-1	4
2001	1	1	8	36.810	7.186.398	40.088	39.994	17.750.566	997.054	27.509.646	-175815	-804609	-567180	1	0	1	1	0	0	0	-1	4
2001	1	1	8	37.944	7.186.491	40.154	39.976	17.724.076	998.659	27.546.910	-175603	-804582	-567284	1	0	1	1	0	0	0	-1	4
2001	1	1	8	39.079	7.186.584	40.220	39.959	17.697.865	999.148	27.583.844	-175410	-804518	-567435	1	0	1	1	0	0	0	-1	4
2001	1	1	8	40.214	7.186.677	40.287	39.941	17.673.053	1.000.452	27.619.816	-175183	-804475	-567566	1	0	1	1	0	0	0	-1	4
2001	1	1	8	41.349	7.186.769	40.353	39.923	17.653.600	1.003.078	27.652.100	-175008	-804422	-567695	1	0	1	1	0	0	0	-1	4
2001	1	1	8	42.484	7.186.862	40.420	39.905	17.621.561	1.001.865	27.692.611	-174835	-804350	-567850	1	0	1	1	0	0	0	-1	4
2001	1	1	8	43.619	7.186.954	40.486	39.888	17.604.449	1.005.079	27.723.268	-174671	-804305	-567965	1	0	1	1	0	0	0	-1	4

Tabelul 3

Fișier bază de date satelitare

Coord. Geogr.	Coord. Stereo 70				Componentele câmpului (1999; ALT=0km)					Componentele câmpului (2000; ALT=0km)					Componentele câmpului (2001; ALT=0km)				
	Lat	Long	X	Y	D	F	I	H	Z	D	F	I	H	Z	D	F	I	H	Z
40	20	72070,78	-154249,5	2,468	45817,9	56,414	25345,63	38169,09	2,541	45842,34	56,432	25347,55	38197,14	2,612	45864,22	56,445	25350,66	38221,34	
40	21	157625,5	-158844	2,624	45904,34	56,493	25341,03	38275,85	2,697	45928,04	56,511	25341,98	38303,63	2,766	45949,81	56,525	25344,6	38328,01	
40	22	243201	-162416,6	2,775	45991,84	56,572	25336,49	38383,73	2,847	46014,86	56,591	25336,46	38411,33	2,914	46036,53	56,605	25338,62	38435,88	
40	23	328792,1	-164968	2,921	46080,41	56,651	25332,09	38492,72	2,993	46102,75	56,671	25331,05	38520,14	3,058	46124,34	56,686	25332,75	38544,86	
40	24	414393,4	-166498,6	3,061	46170,06	56,731	25327,83	38602,78	3,133	46191,74	56,751	25325,78	38630,06	3,197	46213,24	56,767	25327,05	38654,93	
40	25	500000	-167008,8	3,197	46260,81	56,81	25323,81	38713,92	3,269	46281,94	56,832	25320,71	38741,18	3,331	46303,32	56,848	25321,57	38766,17	
40	26	585606,6	-166498,6	3,328	46352,7	56,89	25320,03	38826,13	3,4	46373,29	56,913	25315,89	38853,41	3,46	46394,6	56,929	25316,36	38878,54	
40	27	671207,9	-164968	3,453	46445,73	56,97	25316,59	38939,4	3,525	46465,88	56,994	25311,4	38966,8	3,584	46487,13	57,011	25311,51	38992,06	

Datorită accesului larg la baza de date Ørsted și grație unei colaborări strânse între echipele Institutului de Geodinamică al Academiei Române și cele ale Institutului de Fizica Globului din Paris, a fost posibil un transfer al datelor Ørsted pentru zona de sud-est a Europei (latitudine cuprinsă între 400–500 N / longitudine cuprinsă între 200–440 E). Deoarece datele originale nu sunt într-un sistem de coordonate utilizat frecvent de noi, a fost necesară o transformare a coordonatelor geografice în coordonate stereo 70. În plus, a fost necesară transformarea fișierelor de date inițiale pentru a fi compatibile cu cele de date magnetice și gravimetrice deja disponibile pentru teritoriul României (în urma diferitelor campanii de măsurători gravimetrice, magnetice, aeromagnetice). Orbitale de zbor ale satelitului peste zona de sud-est a Europei sunt indicate în figura 1.



Fig. 1 – Orbitale de zbor ale satelitului Ørsted peste zona de sud-est a Europei.

O primă imagine a intensității câmpului scalar la altitudinea de zbor a satelitului a fost obținută direct din datele originale și ea este prezentată în figura 2a. Pentru fișierul cu date vectoriale, a fost reprezentată componenta verticală (Z) și componenta orizontală calculată din cele două elemente geomagnetice măsurate X (nord magnetică) și Y (est magnetică):

$$H = X^2 + Y^2$$

Din cele trei elemente geomagnetice măsurate, X (nord magnetică), Y (est magnetică) și Z (verticală) a fost calculat câmpul total (F):

$$F = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}$$

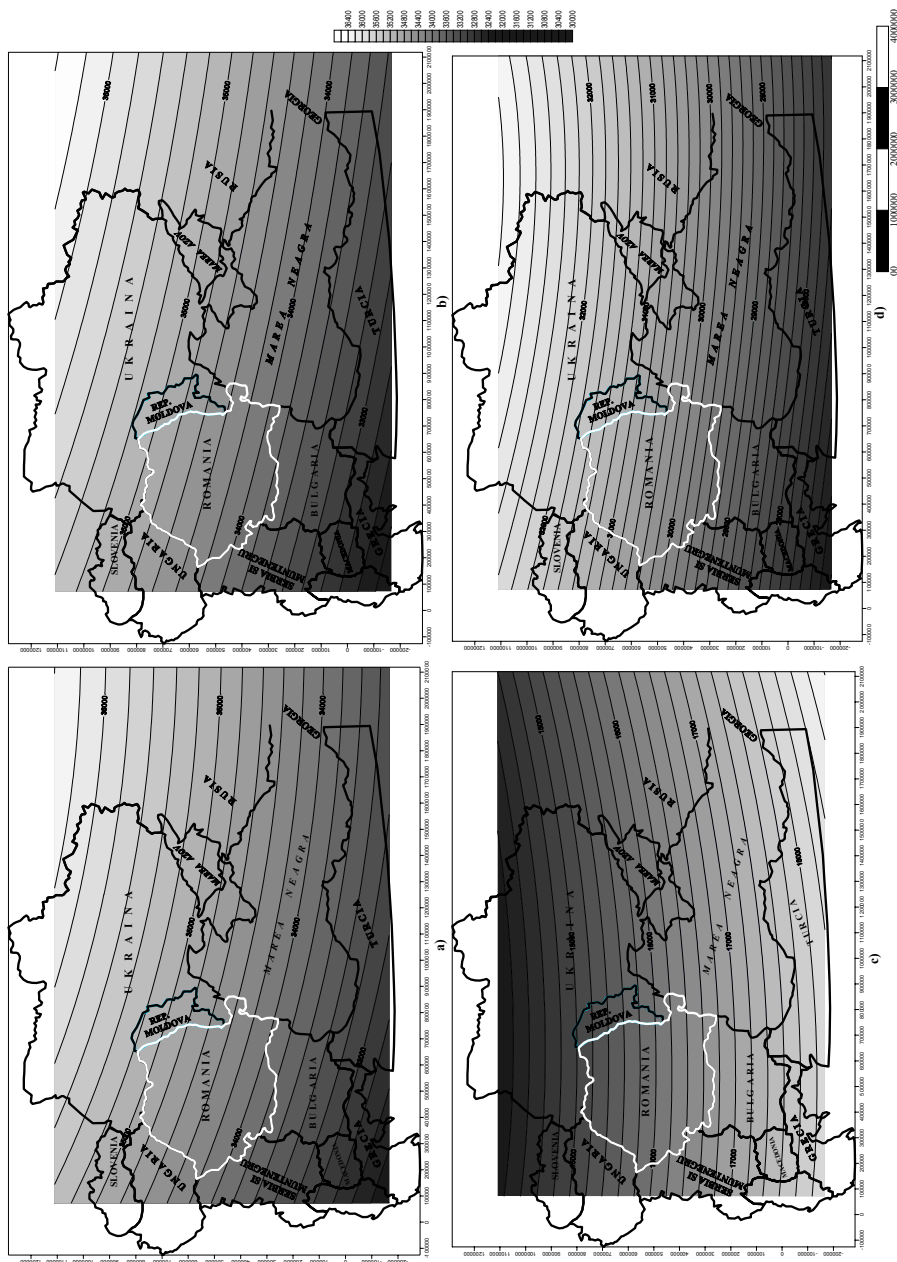


Fig. 2 – Componentele câmpului geomagnetic nivelat, la altitudinea de zbor a satelitului (date satelitare Ørsted; epoca 2000,0). **a**, intensitatea totală a câmpului F (representarea datelor scalare); **b**, intensitatea totală a câmpului F (calculată din date vectoriale); **c**, componenta verticală a câmpului H (calculată din date vectoriale); **d**, componenta verticală a câmpului Z (representarea măsurătorilor vectoriale).

Imaginile obținute și prezentate în figurile 2b, 2c, 2d au fost realizate cu ajutorul metodei regresiei polinomiale de gradul 2 și reprezintă un câmp nivelat la altitudinea de zbor a satelitului.

4. CÂMPUL GEOMAGNETIC INTERNAȚIONAL DE REFERINȚĂ

Datele satelitare provenite de la satelitul Magsat (ce a zburat doar 6 luni, octombrie 1979 – aprilie 1980), ca și datele provenite de la satelitul Ørsted au fost folosite împreună cu datele publicate de observatoare pentru realizarea modelelor definitive ale Câmpului Geomagnetic Internațional de Referință (Definitiv Geomagnetic Reference Field – DGRF) pentru două epoci, 1980,0 și 2000,0 (Manda, Langlais, 2000; Langlais *et al.*, 2003). Modelul cuprinde un set de coeficienți armonici sferici (coeficienți Gauss), g_n^m, k_n^m , într-o desfășurare de serii trunchiate a funcției potențialului geomagnetic de origine internă:

$$V = a \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} (g_n^m \cos m\phi + k_n^m \sin m\phi) P_n^m(\cos \phi)$$

unde a este raza medie a Pământului (6 371,2 km) și r, ϕ, θ sunt coordonatele sferice geocentrice (r – distanța de la centrul Pământului), ϕ – longitudinea estică de la meridianul Greenwich și θ – colatitudinea). $P_n^m(\cos \phi)$ este funcția semi-normată Schmidt asociată funcțiilor Legendre de grad n și ordin m ($n \geq 1$ și $m \leq n$).

Modelele pentru câmpul principal sunt trunchiate la $N = 10$ (120 de coeficienți) (pentru epoca 1980,0) și la $N = 13$ (195 coeficienți) pentru epoca 2000,0, care reprezintă un compromis adoptat pentru a oferi o reprezentare cât mai bună a câmpului principal, datorat surselor profunde ale Pământului și mai puțin surselor crustale. Coeficienții pentru câmpul principal sunt rotunjiți la nanoTesla (nT) pentru a oferi o cât mai bună rezoluție. Modelele IGRF pentru variația seculară sunt trunchiate la $N = 8$ (80 de coeficienți). De această dată, coeficienții sunt rotunjiți la 0,1 nT/an pentru a reduce efectul acumulărilor prin rotunjire. Coeficienții pentru datele calculate la un interval de 5 ani sunt obținuți prin interpolarea liniară a coeficienților corespunzători epocilor învecinate.

5. DETERMINAREA COMPONENTELOR CÂMPULUI GEOMAGNETIC PENTRU PARTEA DE SUD-EST A EUROPEI

Utilizând modelul DGRF 2000 și programul GEOMAG (Versiunea 3.2, septembrie 2000) obținute de pe site-ul de internet <http://www.ngdc.noaa.gov/>, pot fi estimate componentele câmpului geomagnetic pentru orice punct de pe suprafața globului. Aplicarea acestui algoritm pentru partea de sud-est a Europei a permis calculul elementelor geomagnetice pentru epocile 1999,0 ; 2000,0 și 2001,0, atât pentru altitudinea de 0 km, cât și pentru altitudinea de

400 km. O bază de date locală, ușor accesibilă pentru alte diferite calcule și reprezentări, a fost realizată, un exemplu fiind prezentat în tabelul 3.

Pentru zona de sud-est a Europei, în figurile 3, 4, 5 sunt prezentate hărți corespunzând epocilor 1999,0; 2000,0; 2001,0 la altitudinea de 0 km. În fiecare din aceste figuri sunt reprezentate două componente unghiulare (declinația și înclinația), cât și trei componente vectoriale (câmpul total, componenta orizontală și componenta verticală). Aceste hărți reprezintă imagini ale distribuției și evoluției acestor elemente, pentru o perioadă de trei ani, în zona noastră de interes.

Pentru a estima valabilitatea acestor date sintetice, obținute grație unor modele la scara globului terestru, pentru zona de interes s-a efectuat o comparare a lor cu date obținute la sol. Astfel, utilizând aceleași modele și algoritmi, cu un interval de calcul de o lună, au fost estimate pentru Observatorul Geomagnetic Surlari date sintetice pentru componentele X , Y și Z , pentru epocile 1999,0; 2000,0; 2001,0.

Prin amabilitatea doamnei Gabriela Cucu am obținut valorile medii lunare pentru componentele X , Y și Z pentru anii 1999,0; 2000,0 și 2001,0. Am făcut reprezentările pentru componentele respective, în paralel cu reprezentările modelelor calculate cu ajutorul IGRF 2000 și utilizând programul **pgeomag40** obținut, de asemenea, de pe adresa de internet <http://www.ngdc.noaa.gov/>. Figurile 6, 7, 8 arată asemănarea destul de bună dintre aceste reprezentări, mai ales pentru componentele Y și Z , dar destul de bună și pentru componenta X . Diferențele dintre valorile medii lunare măsurate la Observatorul Surlari și IGRF se datorează faptului că IGRF indică tendința variației seculare pe intervale de 5 ani ca o variație liniară. Se constată că mediile lunare se încadrează bine pe această tendință de variație.

5. CONCLUZII

În acest studiu se prezintă evoluția componentelor câmpului magnetic în timp și spațiu pentru zona sud-est europeană.

- Imaginea câmpului nivelat cu ajutorul regresiei polinomiale de gradul 2, pentru altitudinea de zbor a satelitului, este asemănătoare imaginii câmpului normal la suprafața Pământului.

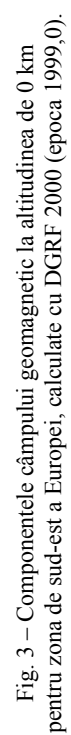
- Compararea valorilor componentelor câmpului geomagnetic pentru cele trei epoci (1999,0; 2000,0; 2001,0) arată că tendințele generale se mențin; deoarece anii de calcul sunt consecutivi, diferențele valorice sunt foarte mici, dar există.

- Se observă o creștere relativ uniformă de la SV spre NE, a valorilor de câmp, ceea ce este în deplin acord cu tendința câmpului, știut fiind faptul că la suprafața Pământului câmpul variază de la a fi aproape orizontal, și având o magnitudine de aproximativ 30 000 nT la Ecuator, la a fi aproape vertical și având o magnitudine de aproximativ 60 000 nT la poli.

- Tendința liniară a modelelor calculate cu IGRF sunt în conformitate cu valorile medii lunare măsurate la Observatorul Geomagnetic Surlari.

Primit în redacție: 26 ianuarie 2004

Acceptat pentru publicare: 15 iunie 2004



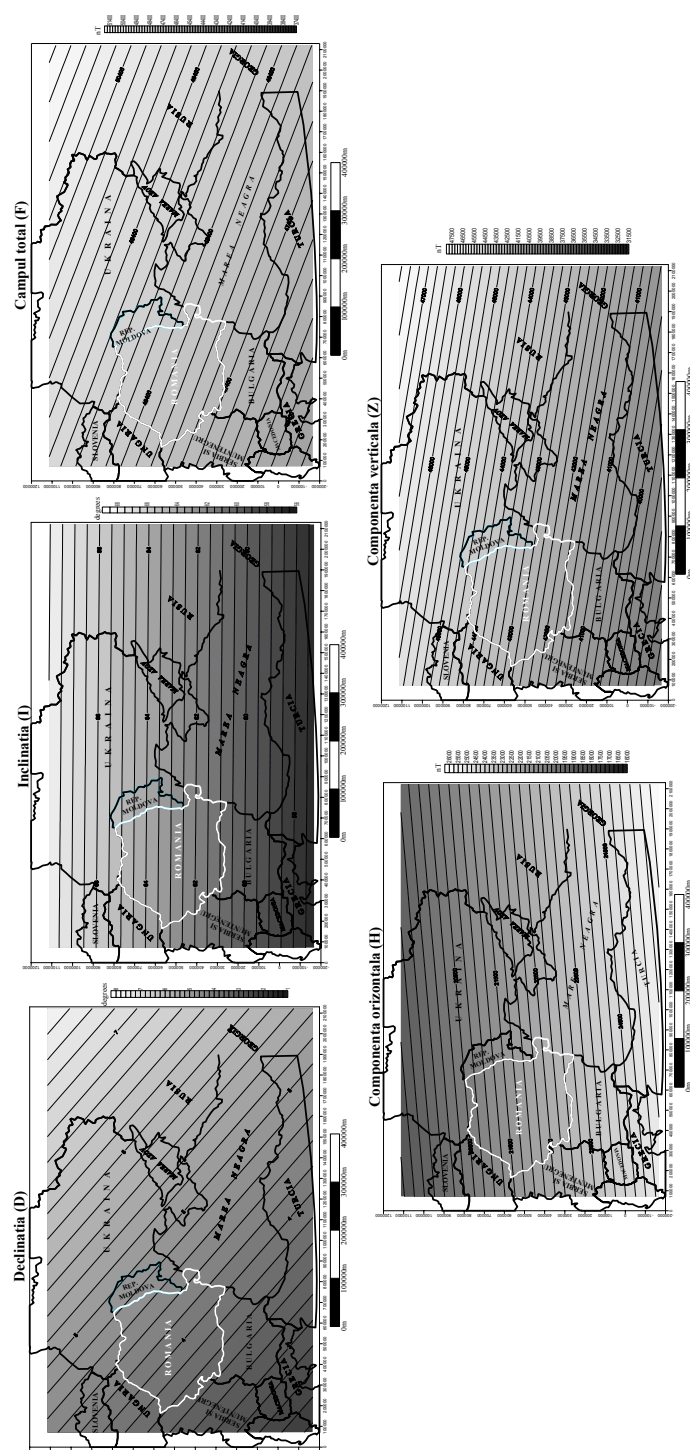


Fig. 4 – Componentele câmpului geomagnetic la altitudinea de 0 km pentru zona de sud-est a Europei, calculate cu DGRF 2000 (epoca 2000,0).

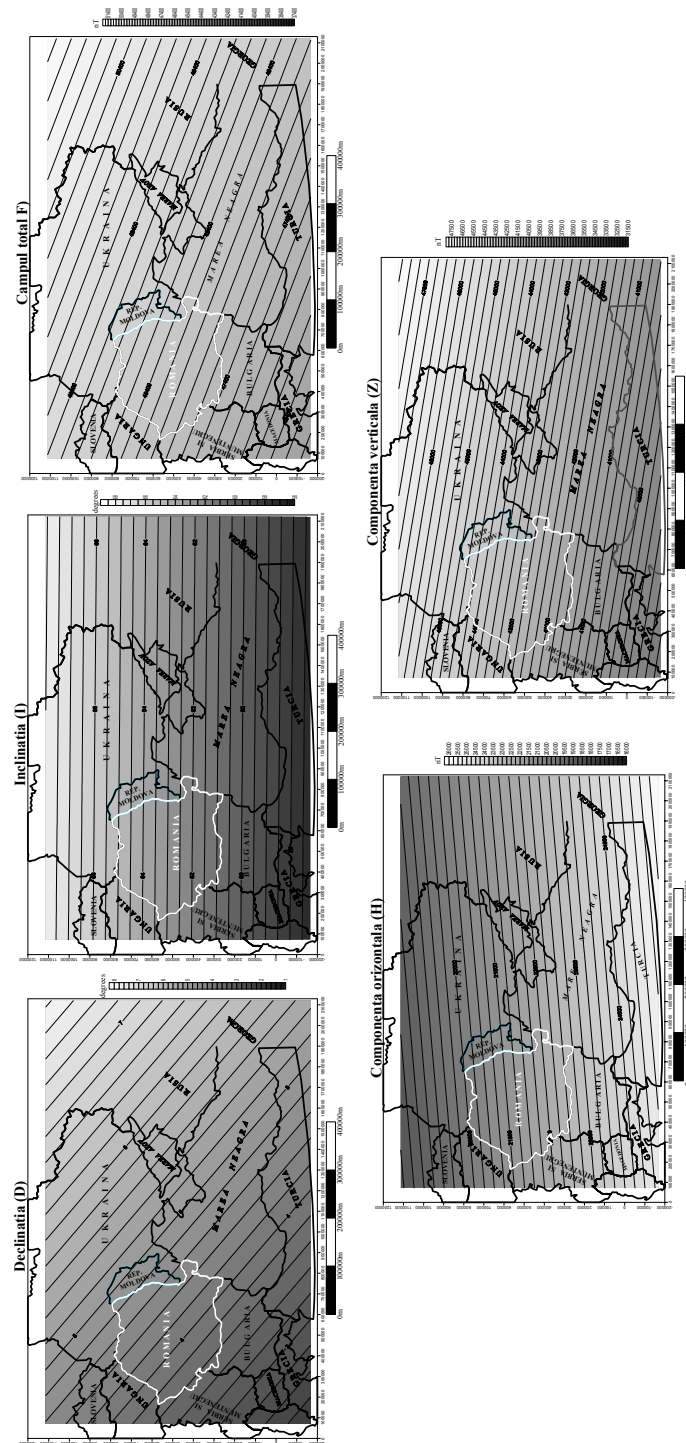


Fig. 5 – Componentele câmpului geomagnetic la altitudinea de 0 km pentru zona de sud-est a Europei, calculate cu DGRF 2000 (epoca 2001,0).

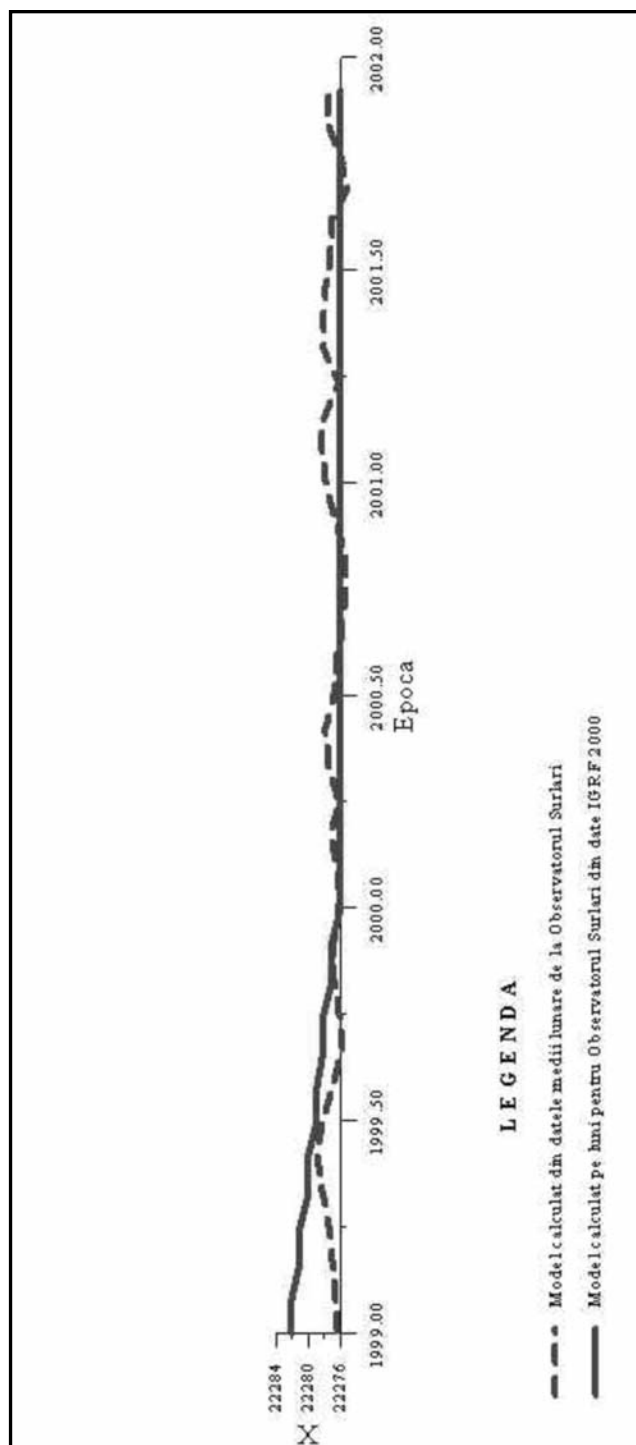


Fig. 6 — Compararea variației componentei X obținută din modelul IGRF 2000 cu datele medii lunare provenite de la Observatorul Geomagnetic Surlari.

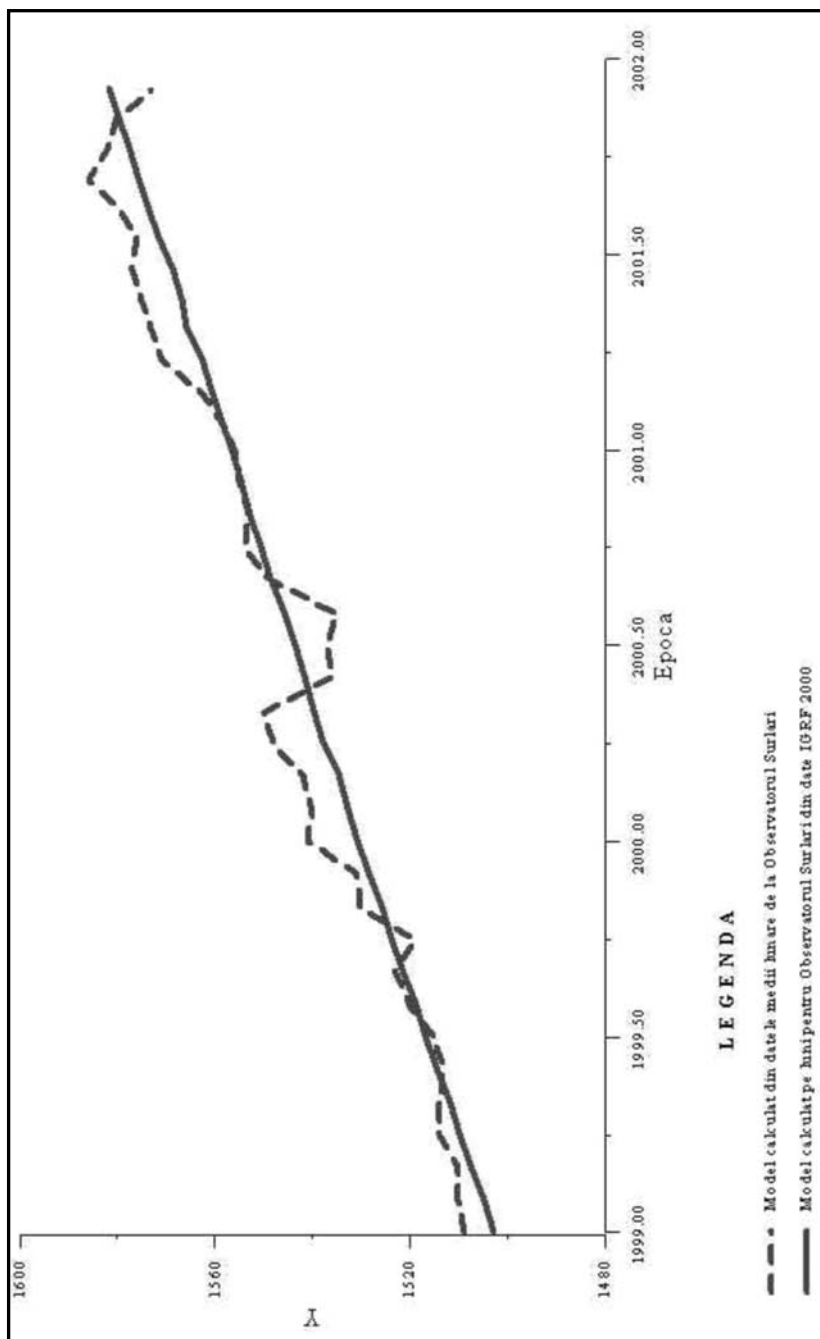


Fig. 7 – Compararea variației componentei Y obținută din modelul IGRF 2000 cu datele medii lunare provenite de la Observatorul Geomagnetic Surlari.

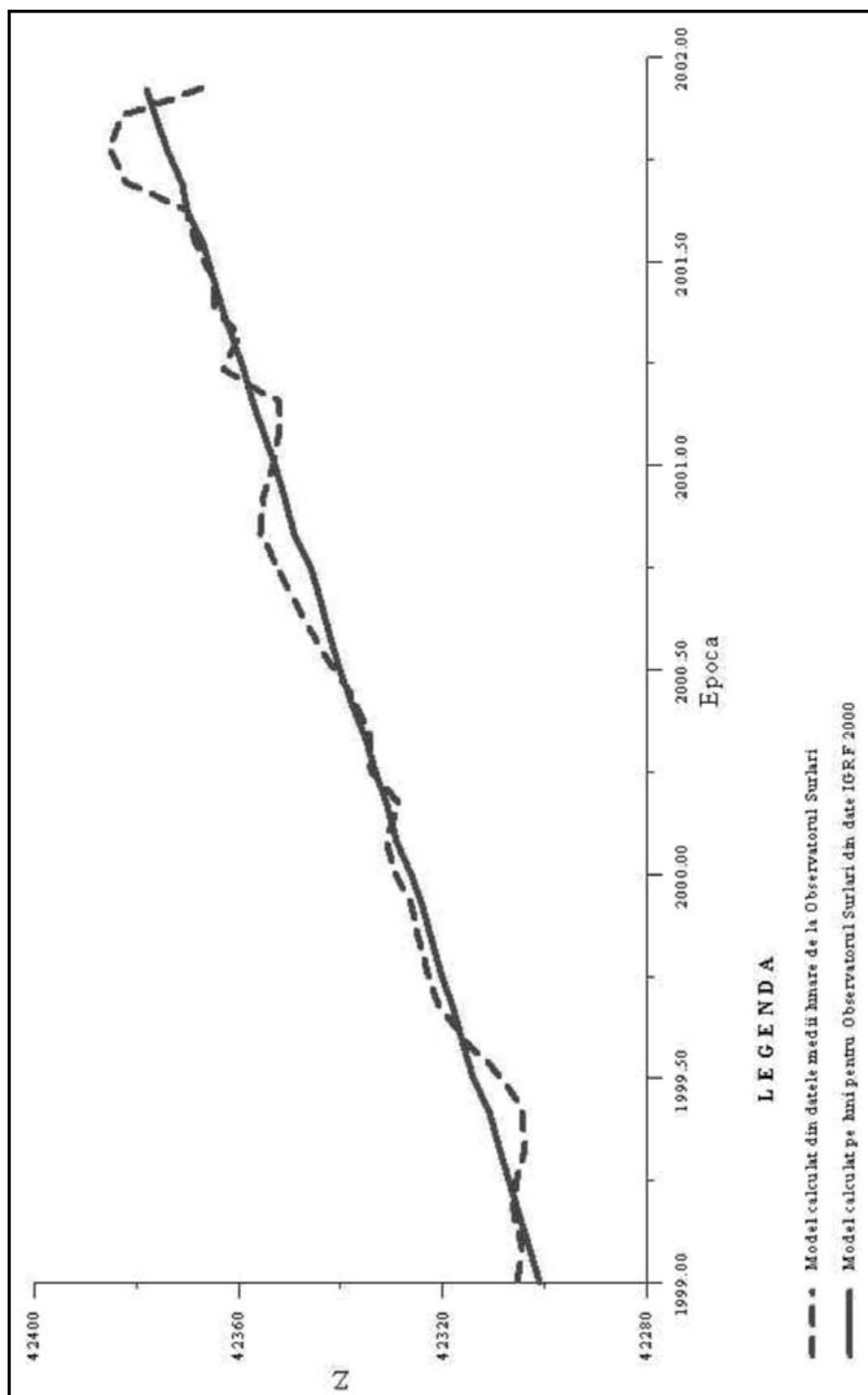


Fig. 8 – Compararea variației componente Z obținută din modelul IGRF 2000 cu datele medii lunare provenite de la Observatorul Geomagnetic Surlari.

BIBLIOGRAFIE

- CAMPBELL, W. (1997), *Introduction to Geomagnetic Fields*. Cambridge University Press, 299 pp.
- LANGLAIS, B., MANDEA, M., ULTRÉ-GUÉRARD, P. (2003), *High-resolution magnetic field modeling application to Magsat and Ørsted data*. Phys. Earth Plan. Int., 135, p. 77–91.
- MANDEA, M., LANGLAIS, B. (2000), *Use of Ørsted scalar data in evaluating the pre-Ørsted main field candidate models for the IGRF 2000*. Earth, Planets, Space, 52, p. 1167–1170.
- MERRILL, R., McELHINNY, M., McFADDEN, Ph. (1996), *The Magnetic Field of the Earth*. Academic Press, 523 pp.
- OLSEN, N. *et al.* (2000), *Ørsted Initial Field Model (OIFM)*. Geoph. Res. Lett., vol. 27, No. 22, p. 3607–3610.
- OLSEN, N. (2002), *A Model of the Geomagnetic Field and its Secular Variation for Epoch 2000*. Geophys. J. Int., 149, p. 454–462.

**IMAGES OF THE GEOMAGNETIC FIELD COMPONENTS
OF THE SOUTH-EAST EUROPE**

LIGIA ATANASIU, DOREL ZUGRĂVESCU, MIOARA MANDEA, MIHAI ROHARIK

(ABSTRACT)

The availability of high-precision geomagnetic measurements from satellites like Ørsted and Champ opens a new era in geomagnetic field research. However, in order to take full advantage of the improved data accuracy it is necessary to refine the usual way of deriving field models from satellite data. In the present paper the magnetic measurements taken by Ørsted satellite during the last years, have been used to derive the total magnetic field at the satellite altitude over the South-Eastern Europe. Using IGRF coefficients and the computer programs for synthesizing the field components we calculated the components of the magnetic field (Declination–D, Inclination–I, Vertical intensity–Z, Horizontal intensity–H, Total intensity field–F) at several epochs (1999,0; 2000,0; 2001) for the same area. Finally we made a comparison between the monthly mean values at Surlari Geomagnetic Observatory and IGRF models for the same observatory.

Cuvinte cheie: câmp magnetic, date satelitare, Ørsted, Champ, Europa.