

Ljiljana R. Cander  
Geomagnetski institut  
Grocka, Jugoslavija  
Bruno Zolesi i Giorgiana De Franceschi  
Istituto Nazionale di Geofisica  
Roma, Italia

## O JEDNOM NOVOM REGIONALNOM MODELU JONOSFERE

### ABOUT A NEW REGIONAL MODEL OF THE IONOSPHERE

**SADRŽAJ** - Ovaj rad je pokušaj da se ukaže na napredak učinjen u jonosferskom mapiranju i modeliranju u poslednjih nekoliko godina. Naglasak je stavljen na razvoj poboljšanih regionalnih jonosferskih modela u Evropi. U pogledu modeliranja  $f_oF_2$ ,  $M(3000)F_2$  i  $h'F$ , pojednostavljeni model koji se predlaže u ovom radu omogućuje reprezentovanje ovih jonosferskih karakteristika u jednoj ograničenoj oblasti u funkciji lokalnog vremena, sezone i solarne aktivnosti preko smanjenog broja numeričkih koeficijenata.

**ABSTRACT** - This paper attempts to highlight progress in ionospheric mapping and modelling made during the last few years. Emphasis is placed on the development of improved regional ionospheric models in Europe. Regarding the modelling of  $f_oF_2$ ,  $M(3000)F_2$  and  $h'F$ , a simplified model here proposed permits the representation of these ionospheric characteristics in a restricted area as a function of local time, season and solar activity using a reduced number of numerical coefficients.

#### 1. UVOD

Modeli vertikalne distribucije elektronske gustine u E i F oblasti jonosfere neophodni su kako u HF aplikacijama i predikciji tako i u aeronomskim istraživanjima /1/. Kako najsaždržajnu bazu jonosferskih podataka sačinjavaju rezultati merenja jonosferskih karakteristika, kritičnih frekvencija i virtuelnih visina, svetskom mrežom jonosondera, to je u savremenoj jonosferskoj literaturi najveći broj  $N(h)$  modela čiji se parametri izvode iz empirijskih jednačina koje na odgovarajući način povezuju ove karakteristike

/2/. Za potrebe prognostičkih N(h) modela CCIR je proizveo Atlas Jonosferskih karakteristika /3/, koji omogućuje predikciju mesečnih medijanih vrednosti ovih parametara pomoću numeričkih mapa. Poslednjih godina izrađuju se i globalne mape u kojima su merni podaci kombinovani sa teorijskim rezultatima za velika područja okeana i slabo naseljenih oblasti, a sa ciljem poboljšanja kvaliteta numeričke reprezentacije jonosferskih karakteristika u realnim solarno-terestričkim uslovima /4/.

Područje Evrope ima niz prednosti u pogledu razvoja regionalnih jonosferskih modela, jer je onaj deo sveta koji ima najveću gustinu jonosferskih stanica sa bazama podataka koje obuhvataju više ciklusa solarne aktivnosti, a pripada srednje-širinskoj jonosferi gde je složenost fizičkih procesa, koji proističu iz jonosfersko-magnetosferskih interakcija, nešto manja nego u auroralnoj i ekvatorijalnoj oblasti. U ovom radu izloženi su rezultati dobijeni u razvoju jednog novog modela na jonosferskim stanicama u Nacionalnom institutu za geofiziku u Rimu i Geomagnetskom institutu u Grockoj, koji omogućuje uspešno određivanje jonosferskih karakteristika F-oblasti na ograničenom području Centralne Evrope (između 35° - 65° N i 10° W - 30° E) u funkciji lokalnog vremena, sezone i nivoa solarne aktivnosti uz korišćenje malog broja numeričkih koeficijenata.

## 2. NOVI MODEL REGIONALNE JONOSFERE

Dobro je poznato da je opšte prihvaćeni koncept predikcije stanja i procesa u jonosferi zasnovan na valjanjoj pretpostavci da neke značajne karakteristike jonosfere, kao što su kritične frekvencije, virtualne visine i faktori prostiranja, zavise na sistematski način od izvesnih fizičkih veličina povezanih sa solarnom aktivnošću /3/. Jedan od modela za dugoročnu predikciju karakteristika F2

sloja, najčešće korišćena na jonosferskim stanicama u svetu, zasniva se na upotrebi bogatih fondova podataka iz prošlosti i pretpostavci da važi relacija

$$J(R) = \sum_{i=0}^M (K_i) R_i \quad (1)$$

gde J može da bude foF2, kritična frekvencija običnog talasa koji se reflektuje u F2 sloju, M(3000)F2, faktor prostiranja ili h'F, virtuelna visina za F - oblast u celini. U zavisnosti od stepena polinoma (M-1) primenjuju se različite numeričke metode za određivanje vrednosti koeficijenata Ki za dati sat, mesec i godinu.

Primenom linearne regresione analize na mesečne medijane vrednosti foF2, M(3000)F2 ili h'F tipa

$$J_{h,m}(R) = K_{0,h,m} + K_{1,h,m} R \quad (2)$$

gde su Ko<sub>h,m</sub> i K1<sub>h,m</sub> odgovarajuće matrice sa 12 x 24 vrednosti za svaki mesec, m, u godini i svaki sat, h, u danu, generisani su sa raspoloživim podacima iz 20. i 21. ciklusa solarne aktivnosti jednostavni modeli za sedam evropskih jonosferskih stanica: Grocka (44.4 N, 20.5 E), Roma (41.8 N, 12.5 E), Gibilmanna (37.6 N, 14.0 E), Poitiers (46.6 N, 0.3 E), Lannion (48.8 N, 3.5 W), De Bilt (52.7 N, 5.2 E) i Uppsala (59.8 N, 17.6 E). Poređenjem opserviranih vrednosti i vrednosti dobijenih po navedenim jednostavnim modelima za svaku stanicu pokazano je da postoji veoma dobro slaganje za sve nivoe solarne aktivnosti /5/, što dozvoljava upotrebu ovih modela kao referentnih.

Razvijajući dalje ovaj osnovni koncept, u cilju izrade jednog regionalnog modela jonosfere za područje geografskih širina 35 N - 65 N i dužina 10 W - 30 E, može se pokazati da se za dati mesec i na fiksnoj lokaciji regularne varijacije bilo koje od navedenih karakteristika mogu opisati Fourier-ovim redom

$$J_{h,m}(R) = A_0 + \sum_{n=1}^L A_n \sin(n\omega t/T + Y_n) \quad (3)$$

koji sa  $L = 144$ , odnosno samo 12 dominantnih koeficijenata, uspešno reprodukuje rezultate dobijene referentnim modelima. Direktna posledica ovog rezultata opravdava pretpostavku da su Fourier-ovi koeficijenti  $A_n$  i  $Y_n$  linearne funkcije broja sunčevih pegam, pa se može pisati

$$\begin{aligned} A_n &= a_n R + b_n \\ Y_n &= c_n R + d_n \end{aligned} \quad (4)$$

Detaljno razmatranje regularnosti varijacija navedenih jonosferskih karakteristika sa geografskom lokacijom datih stanica, sadržano u radu Zolesi et al./6/, pokazalo je da se za ograničeno područje Centralne Evrope može usvojiti linearna zavisnost Fourier-ovih koeficijenata sa geografskom širinom tipa :

$$A_n = (a_{1,n} + b_{1,n}) R + a_{0,n} + b_{0,n} \quad (5)$$

za  $n = 9$  do  $n = 12$  i

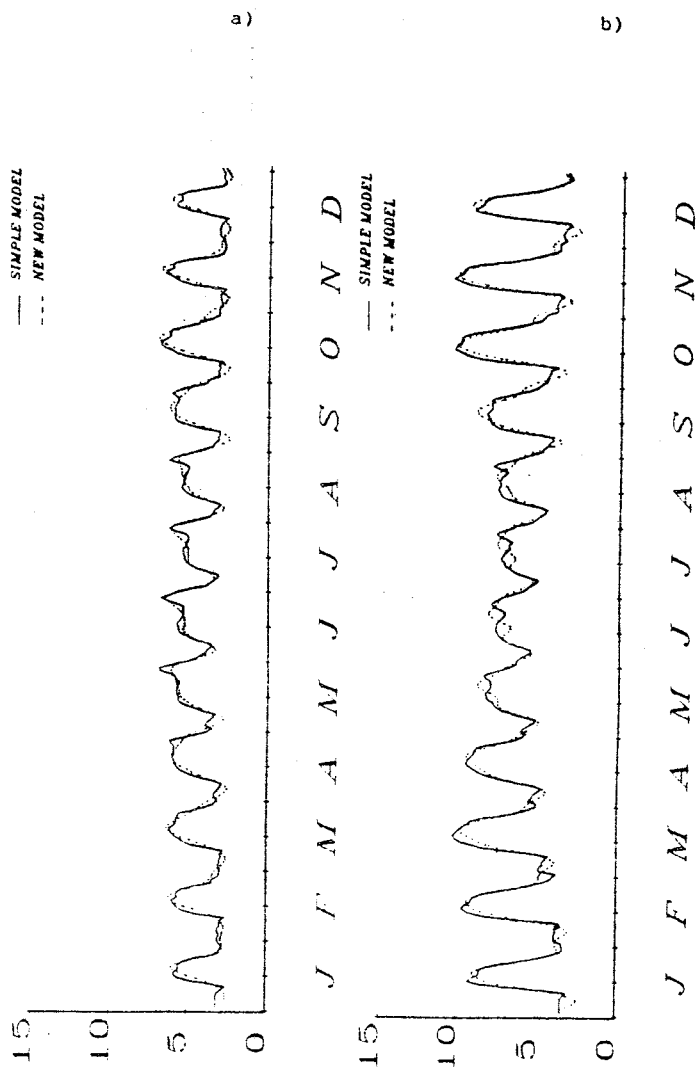
$$Y_n = (c_{1,n} + d_{1,n}) R + c_{0,n} + d_{0,n} \quad (6)$$

za  $n = 1$  do  $n = 12$ . Na taj način matematičkim izrazima (3), (5) i (6) formulisani regionalni model jonosfere. Pri čemu koeficijenti u (5) i (6) računaju se relativno jednostavnom numeričkoj proceduri datoj u radu /8/.

### 3. REZULTATI

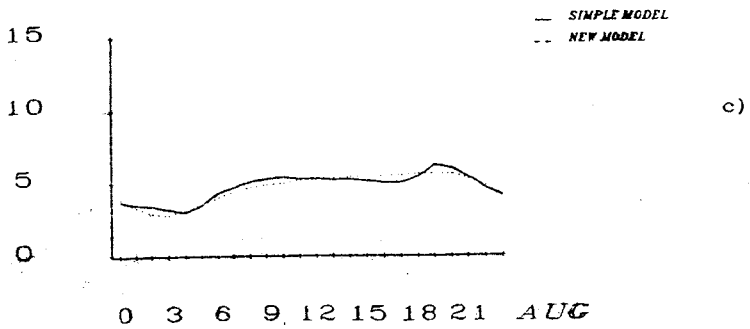
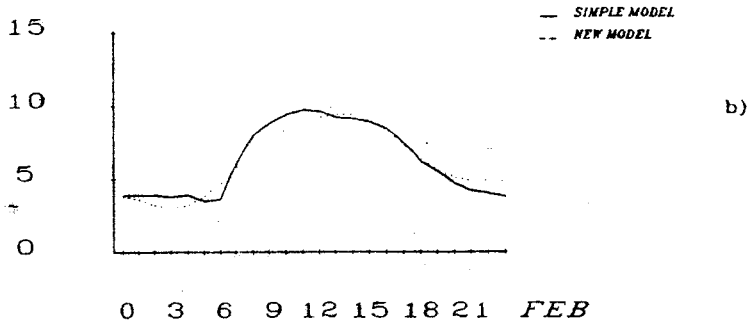
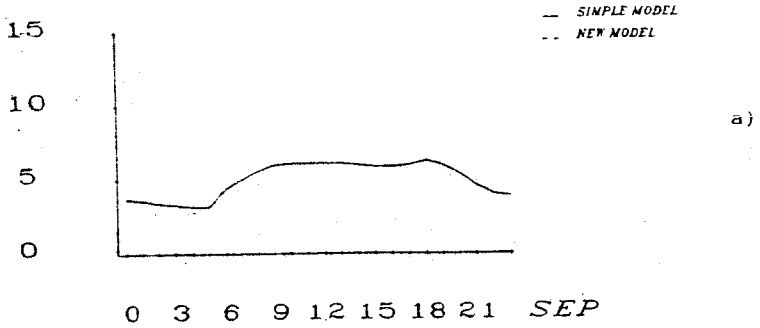
Kako je jonosferska karakteristika foF2 posebno interesantna za proučavanje zbog svoje velike promenljivosti u prostoru i vremenu, a najznačajnija je u HF aplikaciji i predikciji, to su u ovom radu diskutovani samo rezultati predložene regionalnog modela za ovu

## GROCKA STATION



SLIKA 1.

## GROCKA STATION



SLIKA 2.

jonosfersku karakteristiku i stanicu Grocka. Na slici 1a prikazane su dnevne varijacije mesečnih medijanih vrednosti dobijene jednostavnim modelom (puna linija), koji u ovom slučaju reprezentuje realnu jonosferu za "virtuelnu godinu" u kojoj je  $R = 100$ , i novim regionalnim modelom (isprekidana linija), dok je na slici 1b prikazano isto poređenje samo za "virtuelnu godinu" u kojoj su svi meseci imali  $R = 15$ . Navedeni rezultati prikazani su za "virtuelne godine" da bi se na relativno prostim dijagramima pokazalo sledeće: model je u stanju da verno opiše regularne dnevne varijacije kritičnih frekvencija za ekstremne nivoe solarne aktivnosti, reprodukuje pojavu sezonske anomalije u godini visoke solarne aktivnosti i izrazi pojavu večernje anomalije u godini niske solarne aktivnosti. Standardna devijacija razlike između vrednosti dobijenih pomoću jednostavnog modela za jednu stanicu i novog regionalnog modela jonosfere za  $R = 100$  iznosi 0.5 MHz, a za  $R = 15$  iznosi 0.4 MHz.

Na slici 2 a, b, c prikazane su dnevne varijacije foF2 u februaru 1984. godine (zimski mesec sa  $R = 85.4$ ), avgustu 1986. godine (letnji mesec sa  $R = 7.4$ ) i septembru 1984. godine (mesec ravnodnevice sa  $R = 15.7$ ), respektivno. Na ovim slikama puna linija reprezentuje izmerene vrednosti foF2 na stanici Grocka, a isprekidana rezultate dobijene sa novim regionalnim modelom.

Očigledno je da predloženi model veoma uspešno reprezentuje jonosferske uslove u različitim sezonama i na različitim nivoima solarne aktivnosti i time ostvaruje svoje prognostičke ciljeve.

#### 4. ZAKLJUČAK

Prvobitna ideja u radu na problemu matematičko-fizičkog modeliranja jonosfere na srednjim širinama severne hemisfere bila je testiranje rezultat regresione analize mesečnih medijanih foF2 vrednosti i

njihove Fourier-ove analize za nekoliko stanica na području Centralne Evrope. Dobijeni rezultati pokazali su da, pored solarno ciklične zavisnosti, Fourier-ovi koeficijenti zavise samo od geografske širine i lokalnog standardnog vremena što je omogućilo da se predloži jedan novi model globalne distribucije jonosferskih karakteristika F - oblasti na ograničenom području. Pokazano je da se sa veoma malim brojem numeričkih koeficijenata može uspešno reprodukovati mesečno medijano ponašanje kritičnih frekvencija foF2 na različitim nivoima solarne aktivnosti. Time su stvoreni uslovi za korišćenje ovog modela u izradi 4D jonosferskih modela (dužina, širina, visina, vreme), što jeste cilj neposredne aplikacije prezentiranih rezultata.

#### LITERATURA

- /1/ P.A. Bradley, New prediction and retrospective ionospheric modelling initiative over Europe (PRIME), Proceedings of the Laura STP Workshop, 1990 in press.
- /2/ M.P.M. Hall and L.W. Barclay, Radiowave propagation, Exeter, IEE Electromagnetic waves series 30, 1989.
- /3/ CCIR Atlas of ionospheric characteristics, Report 340, ITU, Geneva, 1988.
- /4/ C.M. Rush et al., Maps of foF2 derived from observations and theoretical data, Radio Science, Vol. 19, No. 4, pp. 1083 - 1097, July - August 1984.
- /5/ B. Zolesi, L.J.R. Cander and G. De Franceschi, A simple latitude ionospheric model, IEE Conf. Proc. Publ. 301, Part 2, pp.243 - 246, 1989.
- /6/ B. Zolesi, L.J.R. Cander and G. De Franceschi, A simple model for a global distribution of some ionospheric characteristics in a restricted area, Proceedings of the Laura STP Workshop, 1990 in press.