

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geofizički odsjek

Proučavanje promjene magnetskog polja Zemljine
kore u razdoblju 1979-2010

Autor:
Senad Subašić

Mentor:
Doc. Dr. Giuliana Verbanac

21. rujna 2014.



Sažetak

U okviru ovog projekta provedeno je istraživanje evolucije magnetskog polja Zemljine kore u razdoblju 1979.-2010.

Za analizu su korišteni geomagnetski opservatorijski podaci, kao i podaci sa satelita MAGSAT, Ørsted i CHAMP. Detaljno je ispitana kvaliteta opservatorijskih minutnih i satnih podataka, izvršene su korekcije radi tzv. drifta instrumenta i promjene lokacije opservatorija, ukoliko su te informacije bile dostupne.

Magnetsko polje jezgre izračunato je na osnovu GRIMM-3 modela. Oduzimanjem magnetskog polja jezgre od opservatorijskih podataka dobiveni su reziduali, tzv. *biasi*, koji su kasnije analizirani.

Istraživanje je provedeno na mjesečnim vrijednostima svih triju komponenti geomagnetskog polja.

Dobiveni rezultati predstavljaju temelj razumijevanju najnovijih mjerenja SWARM satelita.

Sadržaj

1	Magnetsko polje Zemlje	3
1.1	Mjerenje magnetskog polja	4
2	Korišteni opservatorijski podaci	6
3	Modeli	8
4	Rezultati	8
4.1	Vremenski nizovi	11
4.2	Razlike između dva modela	15
4.3	Matrični prikaz	15
5	Zaključak	22
6	Zahvale	22

1 Magnetsko polje Zemlje

Oko 90% magnetskog polja Zemlje, tzv. glavno polje, uzrokovano je strujama koje teku unutar vanjske tekuće jezgre, na dubini od otprilike 2900 km. Te struje na površini Zemlje uzrokuju jakost polja od oko 25 000 nT na ekvatoru, pa do 60 000 nT na polovima.

Pošto struje u jezgri nisu stabilne i homogene, dolazi do odstupanja od dipolnog polja, što uzrokuje tzv. regionalne magnetske anomalije, dimenzija nekoliko tisuća km.

Još jedan izvor anomalija Zemljinog polja je neuniformna raspodjela magnetskih minerala u kori. Te lokalne anomalije tipično su manjeg iznosa, ali mogu iznositi i do nekoliko tisuća nT.

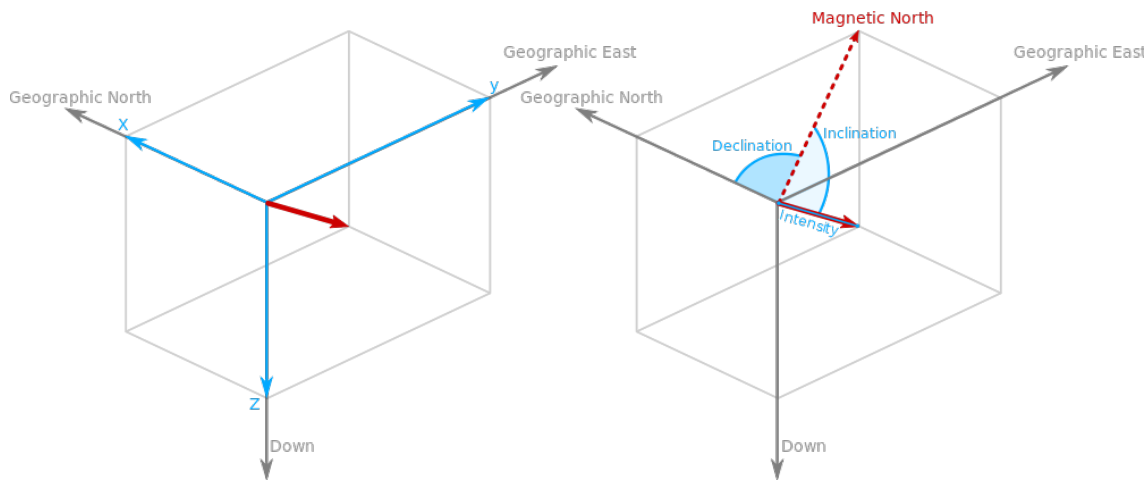
Magnetsko polje Zemlje je vektorsko polje, za opis polja potrebne su tri komponente. Standardni elementi polja su:

- F - vektor ukupnog polja
- H - horizontalna komponenta ukupnog polja
- I - inklinacija (kut između vektora ukupnog polja i horizontalne komponente)
- D - deklinacija (kut između magnetskog i geografskog meridijana)
- X - komponenta u smjeru sjevera
- Y - komponenta u smjeru istoka
- Z - komponenta usmjerena vertikalno prema dolje

Magnetsko polje Zemlje može se podijeliti na unutrašnje i vanjsko. Vanjsko magnetsko polje nastaje interakcijom glavnog magnetskog polja (u prvoj aproksimaciji, to je dipolno polje) sa Sunčevim vjetrom. Puno je slabije od unutrašnjeg (nekoliko desetaka nT) i mijenja se na puno kraćim vremenskim skalama.

Unutrašnje polje sastoji se od već spomenutog glavnog polja i polja kore, a mijenja se na skali od nekoliko mjeseci do desetljeća i duže.

Polje kore uzrokuju magnetske stijene u kori i gornjim dijelovima plašta. Dva su osnovna tipa magnetizacije: inducirana i remanentna. Inducirana magnetizacija nastaje poravnavanjem magnetskih minerala s vanjskim magnetskim poljem. Ona je proporcionalna vanjskom polju, i puno slabija od njega. Remanentna magnetizacija je trajno poravnavanje magnetskih momenata u stijenama. Ključni faktor u ovom slučaju je Curiejeva temperatura - temperatura iznad koje se gubi remanentna



Slika 1: Elementi magnetskog polja Zemlje.

magnetizacija stijene (za magnetit, Fe_3O_4 , jedan od najrasprostranjenijih i najmagnetičnijih minerala na Zemlji, Curiejeva temperatura je oko $585\text{ }^\circ\text{C}$). Kad se stijena ohladi ispod (svoje) Curiejeve temperature, magnetizacija ostaje "zaključana" u stijeni. Remanentna magnetizacija je tipično dosta jača od inducirane. Stoga, zbog Curiejeve temperature i geotermalnog gradijenta, izvori polja kore ne mogu biti preduboko (do 50-ak km ispod površine). Jačina polja kore može biti i nekoliko tisuća nT, ali tipične vrijednosti su oko 100 nT.

Za detalje, vidjeti Campbell 2003.

1.1 Mjerenje magnetskog polja

Mjerenja Zemljinog magnetskog polja dijele se na:

- opservatorijska mjerenja
- satelitska mjerenja (služe kao komplement globalnoj mreži opservatorija)
- mjerenja sekularne varijacije (unaprijed definirane točke, pravilni vremenski intervali)
- aeromagnetska i marinska mjerenja (mapiranje regionalnog litosferskog polja)
- terenska istraživanja (geofizička, geološka, arheološka istraživanja, određivanje lokacije opservatorija)



Slika 2: Primjeri instrumenata, lijevo: apsolutni instrument, GEM GSM-19 (Overhauser); desno: relativni instrument, GEM dIdD.

Geomagnetski opservatorij je mjesto gdje se vrše dugoročna, kontinuirana, apsolutna vektorska mjerenja visoke kvalitete s vremenskom rezolucijom manjom od minute. Odabir lokacije opservatorija je ključan. Bitno je da dobiveni podaci predstavljaju stanje šireg područja. Geomagnetski elementi ne smiju biti pod utjecajem obližnjih magnetskih tijela, ili nehomogenosti električnih svojstava tla. Ne smije doći do promjene magnetskih svojstava okoline.

Instrumenti za mjerenje magnetskog polja dijele se na apsolutne i relativne (npr. Hrvoic i Newitt (2011)). Relativni instrumenti kontinuirano mjere varijacije ili odstupanja komponente polja od njenog apsolutnog iznosa (*base-line*). Apsolutni instrumenti mjere ukupnu jačinu magnetskog polja (ili neke njegove komponente) u apsolutnim osnovnim mjernim jedinicama u nekom određenom trenutku.

Standardni relativni instrument je troosni *fluxgate* magnetometar. Mehanizam rada *fluxgate* magnetometara baziran je na nelinearnim karakteristikama feromagnetskih materijala.

Tijekom godina korišten je velik broj različitih apsolutnih instrumenata. Jedni od popularnijih u novije vrijeme su skalarni (kvantni) magnetometri, bazirani na nuklearnoj magnetskoj rezonanci. Standardni apsolutni instrument je Overhauser magnetometar (slika 2).

Za modeliranje glavnog polja vrlo je bitno poznavati polje kore. Bez uključivanja polja kore, moguće su lokalne greške i do 2000 nT (skoro 10% ukupne jačine polja u nekim područjima) (Mandea i Langlais 2002). Jedan način rješavanja tog problema je određivanje i uklanjanje tzv. *biasa* od opservatorijskih mjerenja. *Biase* dobivamo usporedbom opservatorijskih rezultata i rezultata dobivenih geomagnetskim modelom.

Ukupno unutrašnje polje na lokaciji opservatorija dano je vektorskim zbrojem glavnog polja i *biasa*:

$$\vec{B} = \vec{B}_{glavno} + \vec{B}_{bias}. \quad (1)$$

Globalno mapiranje polja kore omogućeno je tek satelitskim mjerenjima, od kojih se mogu izdvojiti MAGSAT (1979. - 1980.) i, u novije vrijeme, Ørsted (1999.-danas) i CHAMP sateliti (2000.-2010.).

Doprinos kore relativno je slab, i može se smatrati anomalijom unutar puno jačeg glavnog polja. Snaga kratkovalnog signala jako opada s udaljenošću, tako da je na visini orbite satelita kratkovalni signal polja kore (< 400 km) manje od 0.1% ukupnog signala, i može se smatrati šumom. Dakle, podaci sa satelita nisu pod utjecajem polja kore, i *biase* možemo izračunati oduzimanjem opservatorijskih rezultata i rezultata modela baziranog na satelitskim podacima.

2 Korišteni opservatorijski podaci

Opservatoriji korišteni u ovom radu odabrani su na temelju kvalitete podataka i kontinuiranosti mjerenja u intervalu 1999.-2013.

Podaci su preuzimani s više izvora. Glavni izvori bili su INTERMAGNET¹ (minutni podaci, IAGA²) i World Data Centre for Geomagnetism (Edinburgh)³ (satni podaci, WDC⁴/IAGA).

Dakle, radi se o par različitih formata (IAGA, WDC), nekoliko tipova podataka (definitivni, kvazi-definitivni, varijacijski; minutni, satni, dnevni, mjesečni). Napisano je nekoliko MATLAB skripti⁵ koje su preuzete podatke sortirale, odbacile problematične podatke, za preostale izračunale mjesečne srednjake, te primijenile korekcije.

¹<http://www.intermagnet.org/index-eng.php>

²Opis formata: <http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vdat/iagaformat.html>

³<http://www.wdc.bgs.ac.uk/catalog/master.html>

⁴Opis formata: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/hyplt/format/wdchrformat.html>

⁵Datoteke su dostupne na: <http://1drv.ms/1q0B0d1>

Neki opservatoriji promijenili su lokacije tijekom godina. Na novoj lokaciji imamo različite iznose komponenata magnetskog polja, što bi uzrokovalo skok u podacima. Zbog toga je sve podatke prije promjene lokacije potrebno korigirati za fiksni iznos. Vrijednosti korekcija preuzete su s British Geological Survey stranice⁶. Korekcije su primijenjene za sve godine prije one navedene na stranici (npr. ako je vrijednost korekcije dana za sve godine prije 2006.5, korekcije su primijenjene do i uključujući 2005.).

Budući da se radilo o velikom broju podataka i izvora podataka, susreli smo se s više problema, koje ukratko opisujemo.

Različiti izvori ponekad daju različite informacije o lokacijama opservatorija. Podaci su nepotpuni, ili zastarjeli, ili potpuno netočni. U tim slučajevima oslanjali smo se na službene stranice svakog opservatorija, ako postoje. Ako ne, sve informacije preuzete su s istog izvora⁷, konzistentnosti radi.

Jedan od češćih problema vezan je uz varijacijske podatke (ranije spomenuta relativna mjerenja). Zaglavlje datoteke s mjerenjima implicira definitivne podatke, ali zapisani su varijacijski, i obratno. Bez apsolutnih vrijednosti, varijacije nismo mogli koristiti.

Slično vrijedi i za komponente magnetskog polja. U zaglavlju je naveden jedan sustav komponenata (npr. XYZF), ali vrijednosti su zapisane u nekom drugom sustavu (npr. DHZF). Pošto različite komponente mogu poprimiti slične vrijednosti, sve takve slučajeve trebalo je ručno provjeravati i sortirati.

Naišli smo i na slučaj (primjerice opservatorij MNK) kada jedna datoteka sadrži mjerenja zapisana u nekoliko različitih sustava komponenata polja.

Sljedeći problem su prekidi u mjerenju na par minuta, sati, dana ili duže. Prilikom računanja mjesečnih srednjaka odlučili smo odbaciti sve rezultate koji su dobiveni na temelju manje od 90% ukupnog broja uzoraka u mjesecu (npr. manje od 38880 minutnih mjerenja u mjesec dana). Time je odbačen velik dio podataka s nekih opservatorija s čestim i dugim prekidima mjerenja. Obično se radilo o zabačenim lokacijama (npr. tropski otoci ili Arktik), pa vjerojatno nije bilo moguće problem brzo uočiti i otkloniti, kao u slučaju kontinentalnih opservatorija u Europi, npr.

Dobiveni *biasi* uspoređeni su s rezultatima navedenima u Mandea i Langlais (2002) (*biasi* izračunati na temelju MAGSAT i Ørsted misija), i za neke opservatorije uočeni su znatni skokovi. Za sve osim jednog opservatorija ta razlika je uklonjena primjenjivanjem korekcija zbog promjene lokacije. Problematičan ostaje opservatorij u Novosibirsku (NVS) kod kojeg nije došlo do promjene lokacije (mjerenja su konti-

⁶http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/data/annual_means.shtml

⁷World Data Centre for Geomagnetism (Edinburgh) katalog (<http://www.wdc.bgs.ac.uk/catalog/master.html>)

nuirana, bez skokova), ali svejedno imamo skokove od 150, 50 te 40 nT u X, Y i Z komponenti *biassa* u odnosu na rezultate u Mandeia i Langlais 2002 (slika 3).

3 Modeli

Postoji velik broj modela za opisivanje magnetskog polja (glavnog polja, polja kore, unutrašnjeg polja, vanjskog polja), na raznim vremenskim skalama (redovi veličina nekoliko tisuća godina, 50-ak godina, 10-ak godina).

U ovom radu korišteni su rezultati dva modela: POMME-7 (POtsdam Magnetic Model of the Earth)⁸ i GRIMM-3 model čije koeficijente razvoja za sfernu harmoničku analizu je Doc. dr. Verbanac (mentor) dobila od Dr. Vincenta Lesura (privatna komunikacija).

Oba modela bazirana su isključivo na satelitskim podacima s CHAMP satelita.

Potencijal glavnog polja standardno se parametrizira sfernim harmonicima:

$$V(r, \theta, \phi) = a \sum_{l=1}^{\infty} \left(\frac{a}{r}\right)^{l+1} \sum_{m=-l}^l g_l^m Y_l^m(\theta, \phi), \quad (2)$$

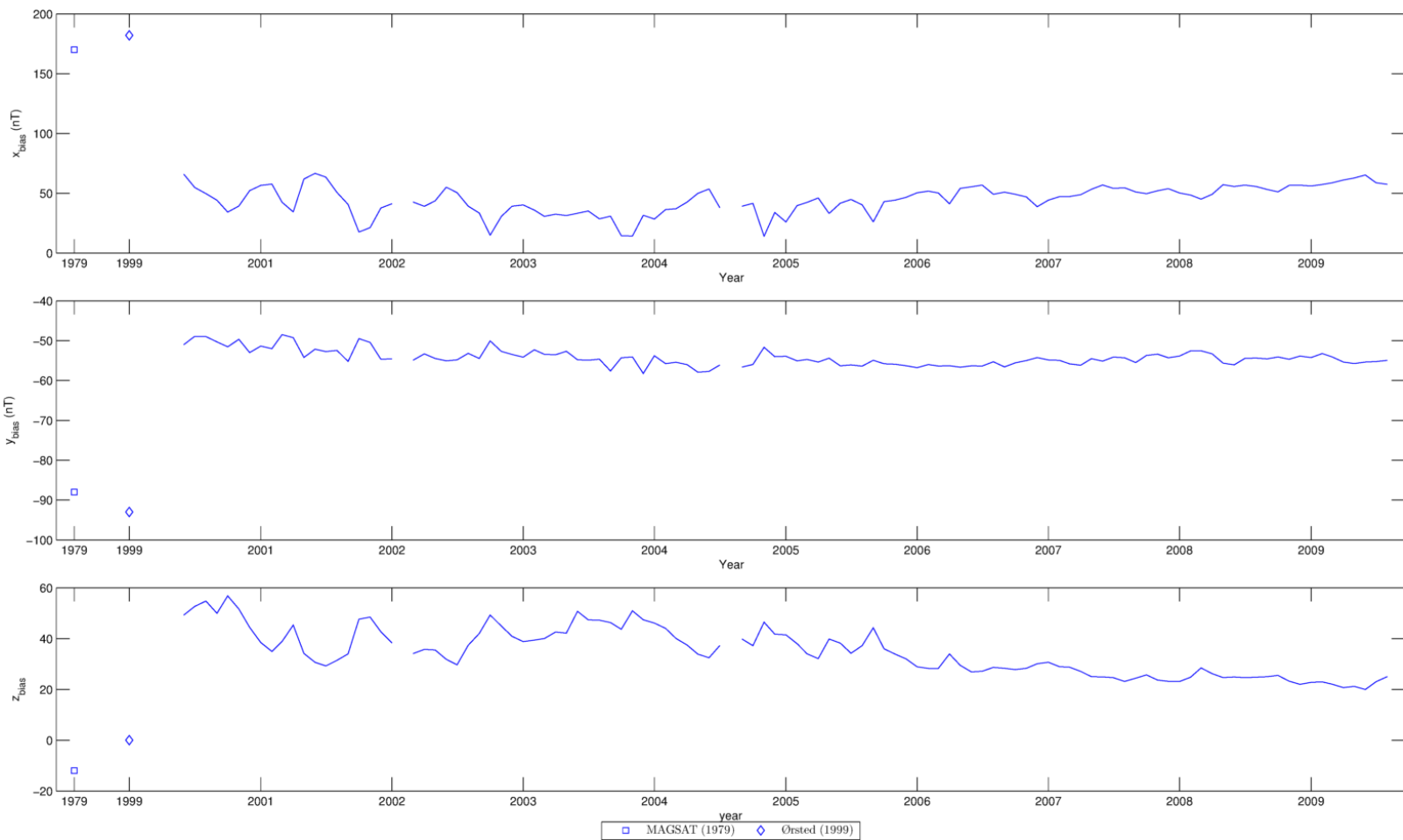
gdje je V potencijal magnetskog polja, $\mathbf{B} = -\nabla V$, θ kolatituda, ϕ longituda, a referentni radijus Zemlje, l i m stupanj i red, te Y_l^m sferni harmonici. Koeficijenti g_l^m nazivaju se Gaussovimi koeficijentima. Na osnovu izmjerenih vrijednosti magnetskih komponenata, modeli daju vrijednosti Gaussovih koeficijenata (do nekog određenog stupnja) koji najbolje opisuju polje.

Ulazni podaci za modele su koordinate (geografska širina, dužina i nadmorska visina), a rezultat su komponente magnetskog polja u toj točki.

4 Rezultati

Za analizu smo odabrali 42 opservatorija. Tablica 1 sadrži popis opservatorija, sortiranih prema geomagnetskim širinama (od juga prema sjeveru).

⁸<http://www.geomag.us/models/pomme7.html>



Slika 3: X, Y i Z komponenta *biasa* za opservatorij NVS, vidi se skok u svim komponentama. *Bias* je izračunat oduzimanjem mjesečnih srednjaka opservatorijskih podataka od rezultata GRIMM-3 modela. Kvadratićem je označen rezultat dobiven na temelju MAGSAT (1979.), a dijamantom je označen rezultat dobiven na temelju Ørsted misije (1999.).

Tablica 1: Popis korištenih opservatorija, sortiranih po geomagnetskoj širini (od juga prema sjeveru); broj, IAGA kod, koordinate. 75% razmatranih opservatorija spada u umjerene geomagnetske širine (23.5°-66.5°).

Broj	Opservatorij	IAGA kod	Geografska širina	Geografska dužina
1	Scott Base	SBA	-77.850	166.763
2	Dumont d'Urville	DRV	-66.667	140.007
3	Port-aux-Francais	PAF	-49.353	70.262
4	Port Alfred	CZT	-46.431	51.867
5	Gnangara	GNA	-31.780	115.950
6	Pamatai (Papeete)	PPT	-17.567	-149.574
7	Guam	GUA	13.590	144.870
8	Alibag	ABG	18.638	72.872
9	MBour	MBO	14.392	-16.958
10	Honolulu	HON	21.320	-158.000
11	Kakioka	KAK	36.232	140.186
12	Ebro	EBR	40.957	0.333
13	Novosibirsk (Klyuchi)	NVS	54.850	83.230
14	Tihany	THY	46.900	17.900
15	Hurbanovo	HRB	47.873	18.190
16	Fredericksburg	FRD	38.210	-77.367
17	Boulder	BOU	40.140	-105.233
18	Chambon-la-Foret	CLF	48.025	2.260
19	Belsk	BEL	51.837	20.792
20	Dourbes	DOU	50.100	4.600
21	Niemegk	NGK	52.072	12.675
22	Hel	HLP	54.608	18.816
23	Hartland	HAD	50.995	-4.484
24	Victoria	VIC	48.517	-123.417
25	Wingst	WNG	53.743	9.073
26	Ottawa	OTT	45.403	-75.552
27	Valentia	VAL	51.933	-10.250
28	Saint Johns	STJ	47.595	-52.677
29	Eskdalemuir	ESK	55.314	-3.206
30	Meanook	MEA	54.615	-113.347
31	Lerwick	LER	60.138	-1.183
32	College	CMO	64.870	-147.860
33	Abisko	ABK	68.358	18.823
34	Tromso	TRO	69.663	18.948
35	Fort Churchill	FCC	58.786	-94.088
36	Yellowknife	YKC	62.482	-114.482
37	Leirvogur	LRV	64.183	-21.700
38	Barrow	BRW	71.300	-156.620
39	Baker Lake	BLC	64.333	-96.033
40	Cambridge Bay	CBB	69.123	-105.031
41	Resolute Bay	RES	74.690	-94.895
42	Qaanaaq (Thule)	THL	77.483	-69.167

4.1 Vremenski nizovi

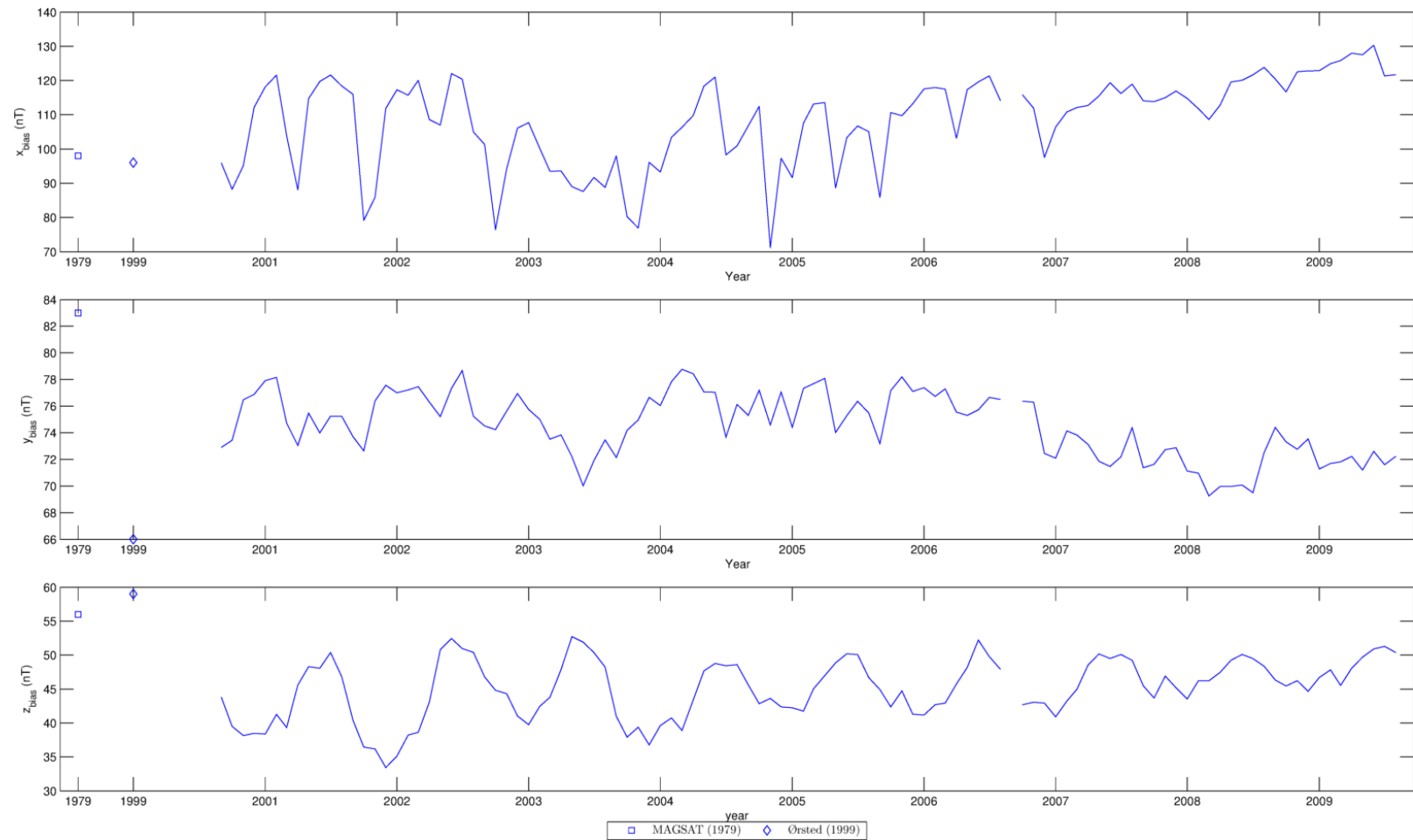
Od izračunatih mjesečnih srednjaka oduzete su vrijednosti dobivene modelima. Par primjera (na niskoj, srednjoj i visokoj geomagnetskoj širini) dobivenih vremenskih nizova prikazano je na slikama 4, 5, 6. Označene su i vrijednosti dobivene na temelju MAGSAT (1979.) i Ørsted misija (1999.).

Može se primijetiti kako opservatoriji GUA i BEL (na niskoj odn. umjerenoj geomagnetskoj širini) imaju vrlo slično ponašanje i vrijednosti X komponente *biasa*. Amplitude Y i Z komponenti su sličnih iznosa, ali oblici im se ne podudaraju.

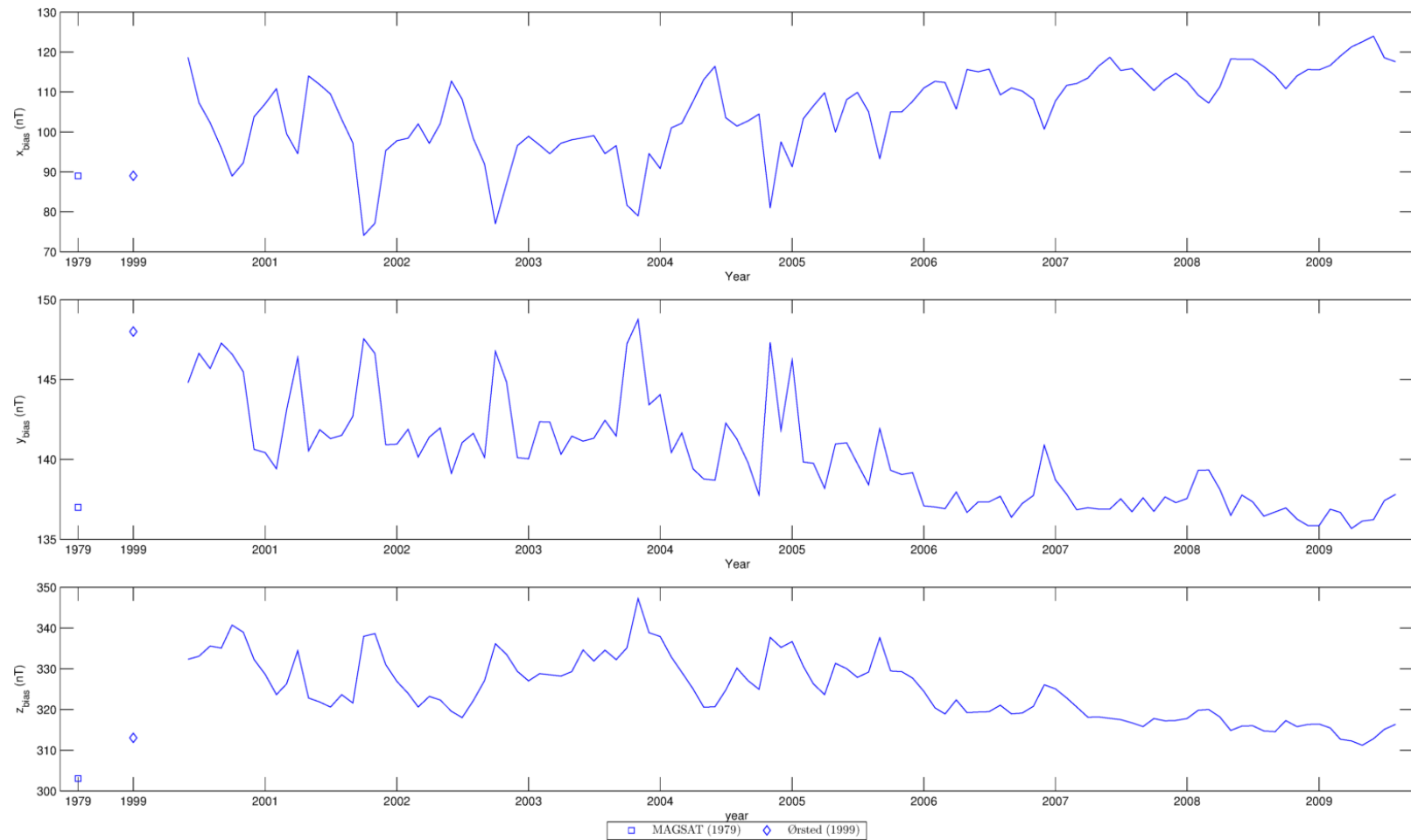
Ekstremi Z-komponente *biasa* za opservatorije BEL i THL (na umjerenoj odn. visokoj geomagnetskoj širini) su u istim mjesecima, ali THL ima znatno veću amplitudu; 80 za THL u odnosu na 20 nT za BEL. Veće amplitude Z-komponente (60 do 100 nT) tipične su za opservatorije u polarnim širinama ($>66.5^\circ$ geomagnetske širine). U umjerenim širinama (23.5° do 66.5° geomagnetske širine) amplitude Z-komponente uglavnom se kreću od 10 do 30 nT.

Amplitude X-komponentata podjednake su na svim geomagnetskim širinama (uglavnom oko 40 nT). Slično i za Y-komponentu, čije su amplitude najniže (nerijetko svega par nT).

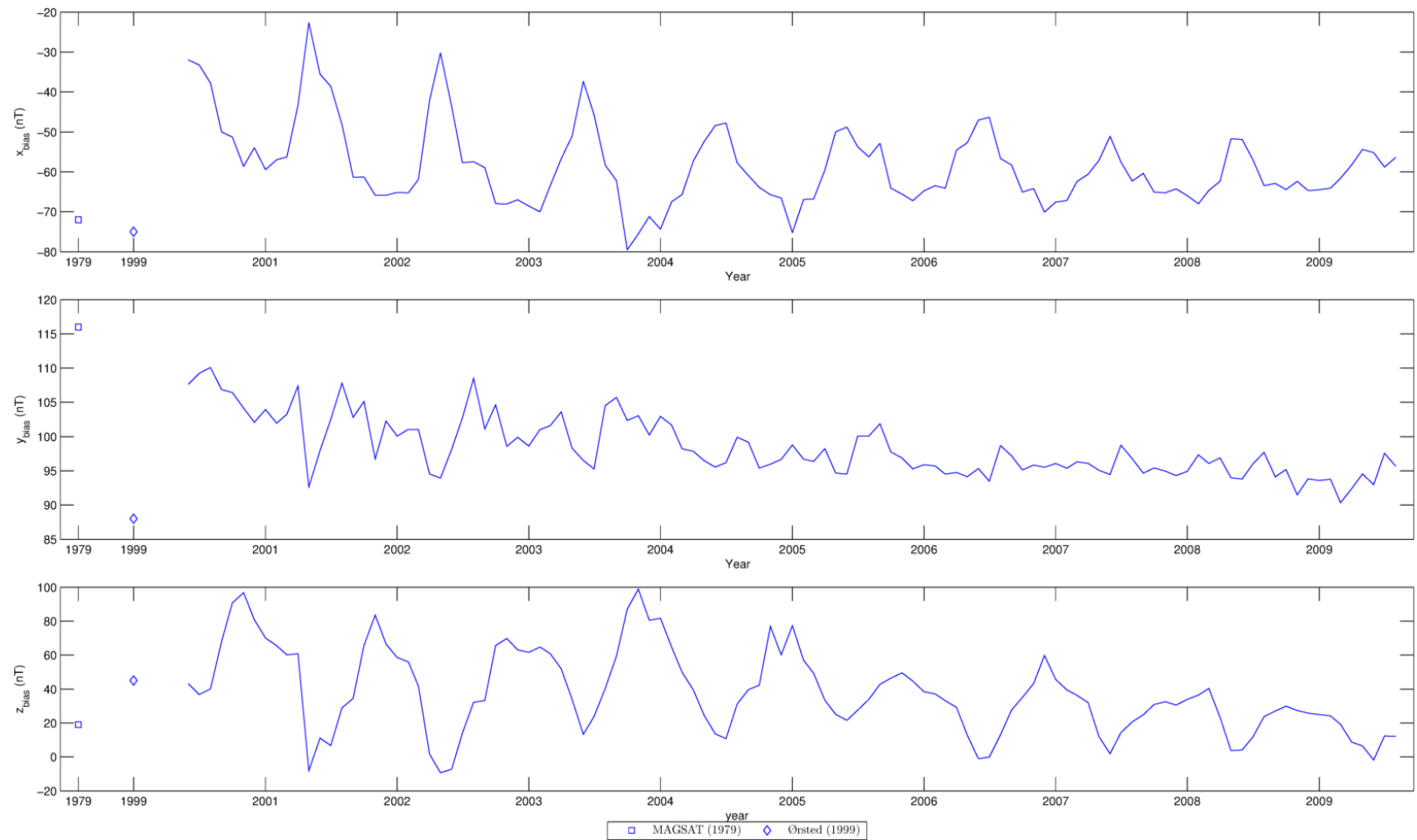
Karakteristika gotovo svih vremenskih nizova je ublažavanje amplituda oscilacija od 2006. godine.



Slika 4: X, Y i Z komponenta *biasa* za opservatorij GUA (5.48° geomagnetske širine). *Bias* je izračunat oduzimanjem mjesečnih srednjaka opservatorijskih podataka od rezultata GRIMM-3 modela. Kvadratićem je označen rezultat dobiven na temelju MAGSAT (1979.), a dijamentom je označen rezultat dobiven na temelju Ørsted misije (1999.).



Slika 5: X, Y i Z komponenta *biasa* za opservatorij BEL (50.24° geomagnetske širine). Može se uočiti stabilizacija nakon 2006. godine. *Bias* je izračunat oduzimanjem mjesečnih srednjaka opservatorijskih podataka od rezultata GRIMM-3 modela. Kvadratićem je označen rezultat dobiven na temelju MAGSAT (1979.), a dijamentom je označen rezultat dobiven na temelju Ørsted misije (1999.).



Slika 6: X, Y i Z komponenta *biasa* za opservatorij THL (87.32° geomagnetske širine). *Bias* je izračunat oduzimanjem mjesečnih srednjaka opservatorijskih podataka od rezultata GRIMM-3 modela. Kvadratićem je označen rezultat dobiven na temelju MAGSAT (1979.), a dijamantom je označen rezultat dobiven na temelju Ørsted misije (1999.).

4.2 Razlike između dva modela

I GRIMM-3 i POMME-7 model daju oblikom identične krivulje, ali uz vertikalni pomak u jednoj ili više komponenata. Iznosi razlika i komponente kod kojih se javljaju neovisne su o geomagnetskoj širini, i tipično iznose do 20 nT na početku našeg promatranog intervala. Prema kraju intervala, krivulje konvergiraju.

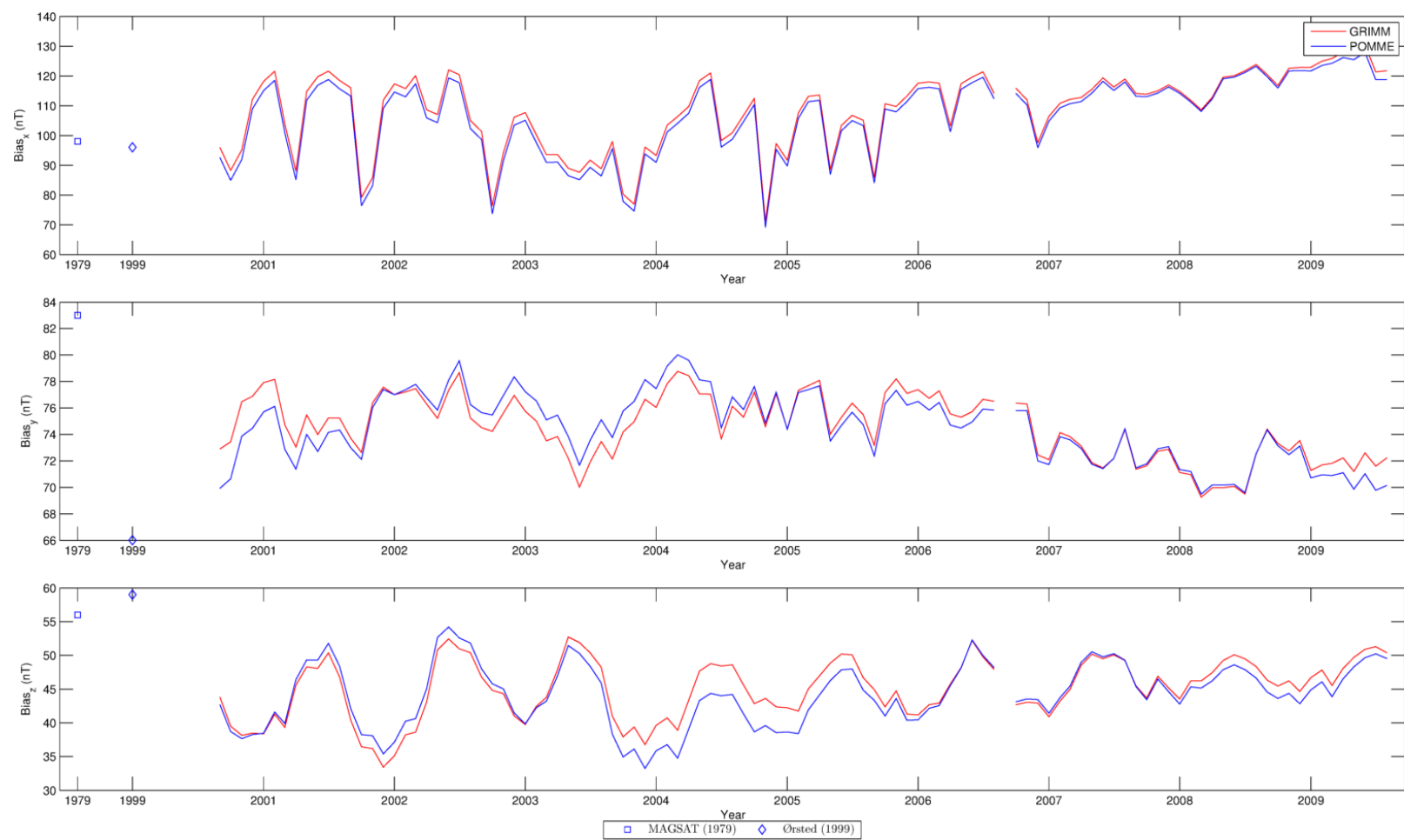
Na slikama 7, 8 i 9 prikazani su rezultati oba modela za ista 3 odabrana opservatorija od ranije.

4.3 Matrični prikaz

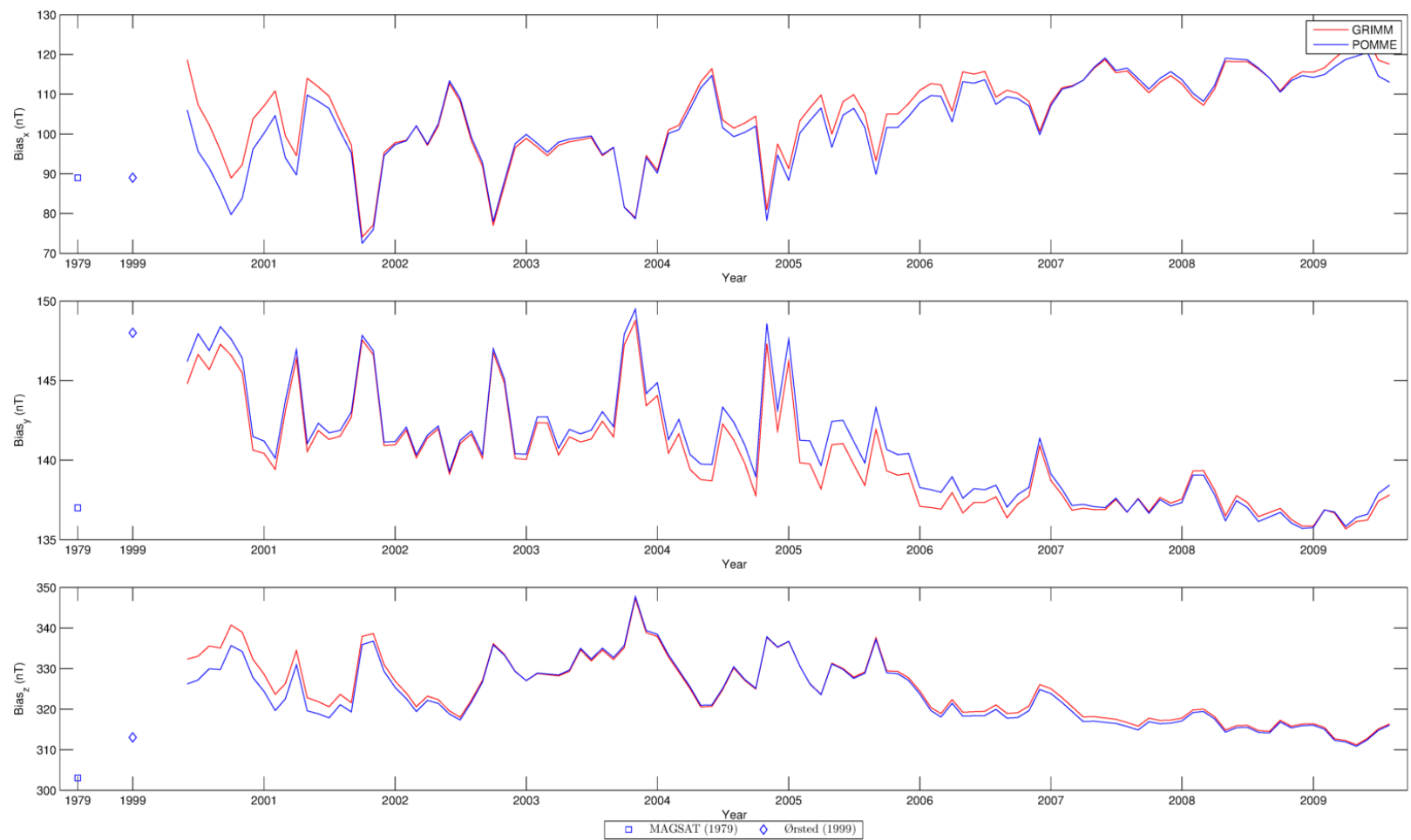
Slijedeći Verbanac, Korte i Manda 2007, vrijednosti reziduala *biasa* dobivenih GRIMM-3 modelom prikazujemo različitim bojama u matričnom prikazu (slike 10, 11, 12). Opservatoriji su sortirani prema geomagnetskim širinama, od juga prema sjeveru. Za svaki opservatorij (vremenski niz) naveden u tablici 1 računamo srednjak, i oduzimamo ga od niza. Rezultati su normirani na ± 20 nT. Bijeli kvadratići predstavljaju mjeseci za koji srednjak nije mogao biti izračunat (nepostojeći podaci ili premali broj podataka).

X i Z-komponenta pokazuju pravilnosti na svim geomagnetskim širinama, i međusobno su u protufazi. Oscilacije reziduala su vrlo izražene u blizini polova, i slabe prema juga. To je posebno uočljivo u Z-komponenti; uzorak se gubi oko ekvatora. Glavni period oscilacija je 11-12 mjeseci tijekom cijelog intervala. Oscilacije su slabije izražene u drugoj polovici promatranog perioda (iza 2006.).

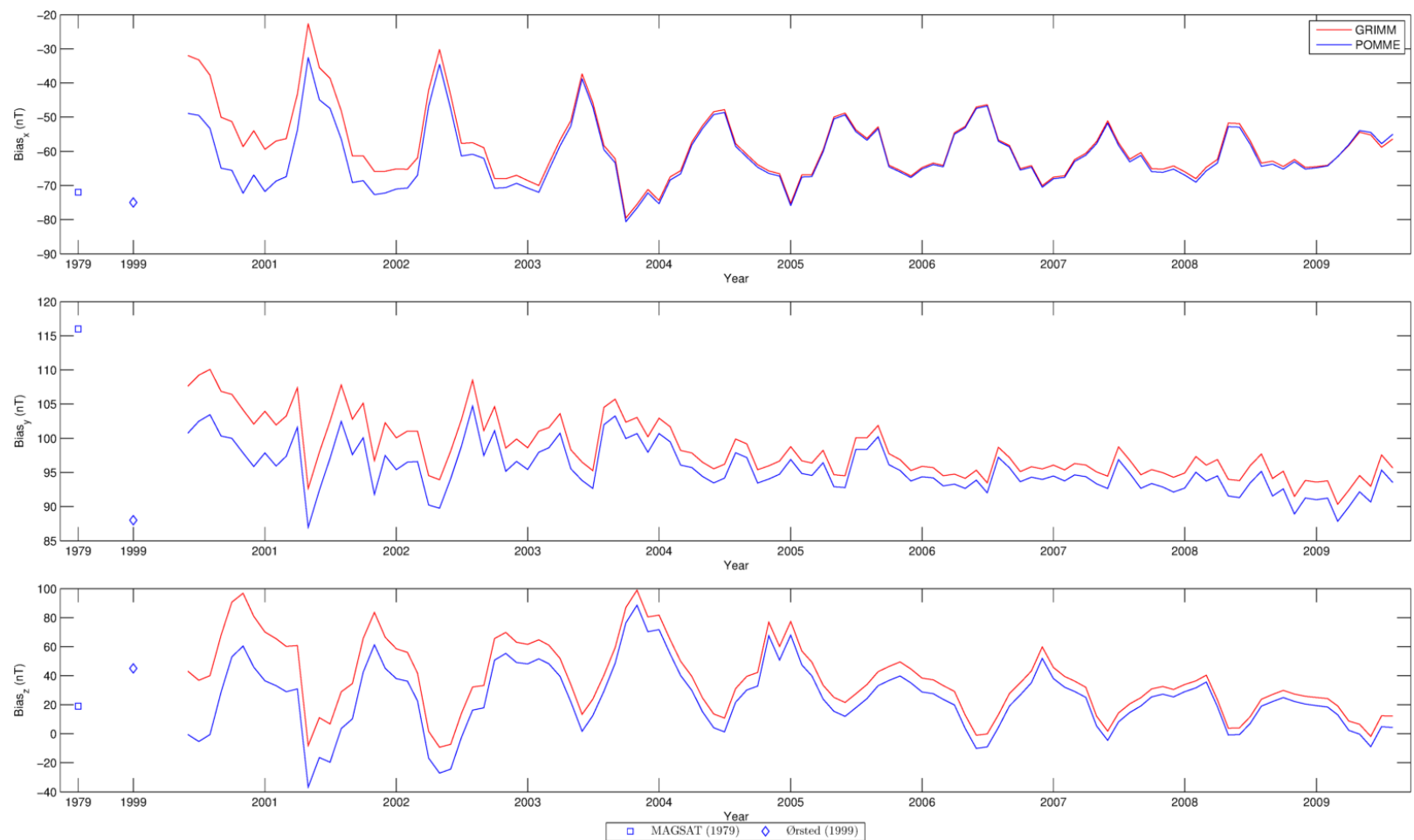
Postoje sličnosti Y i Z-komponente, ali na Y su uzorci ili puno slabiji, ili potpuno izgubljeni.



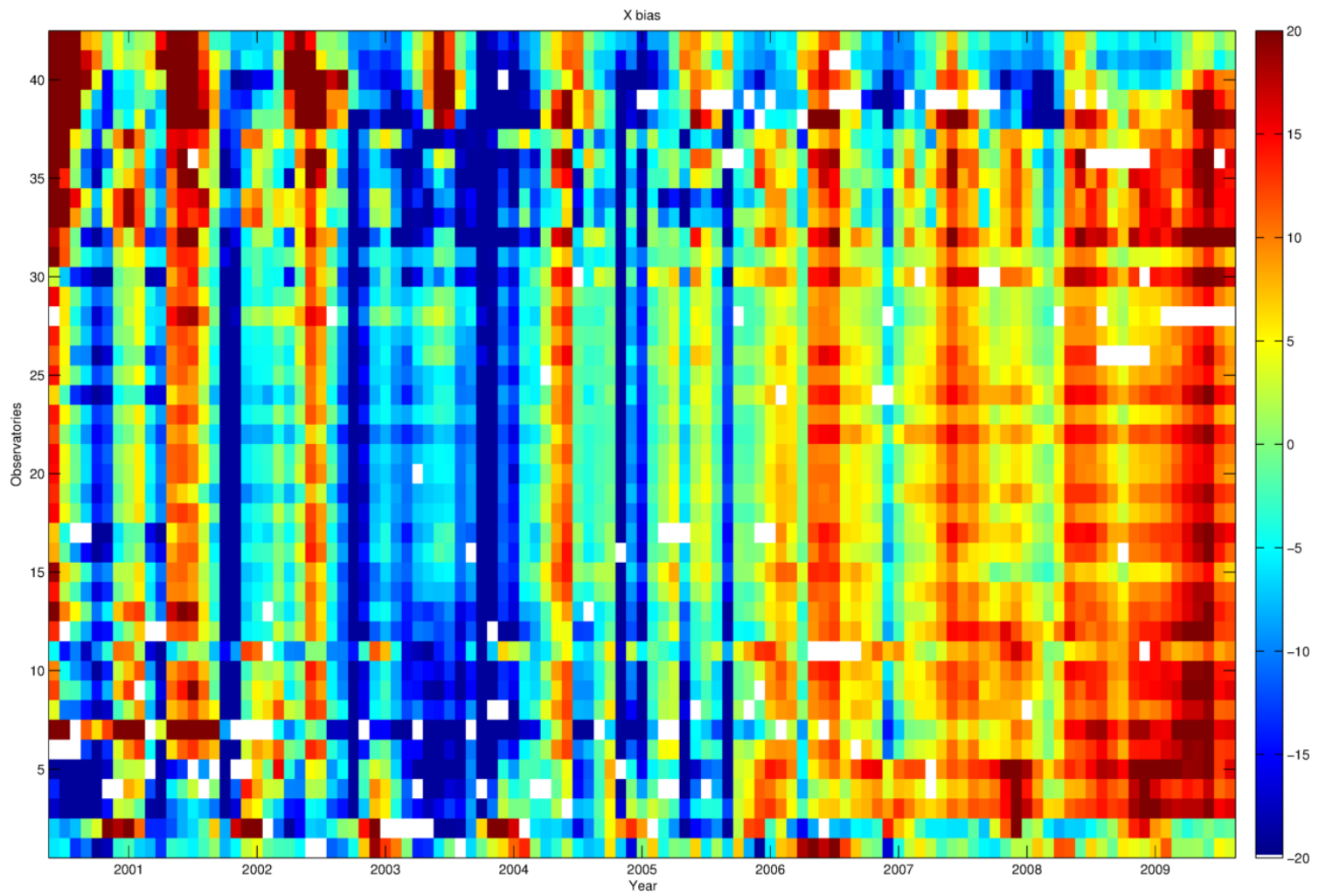
Slika 7: X, Y i Z komponenta *biasa* za opservatorij GUA (5.48° geomagnetske širine), paralelni prikaz rezultata dobivenih korištenjem GRIMM-3 (crvena linija) i POMME-7 (plava linija) modela.



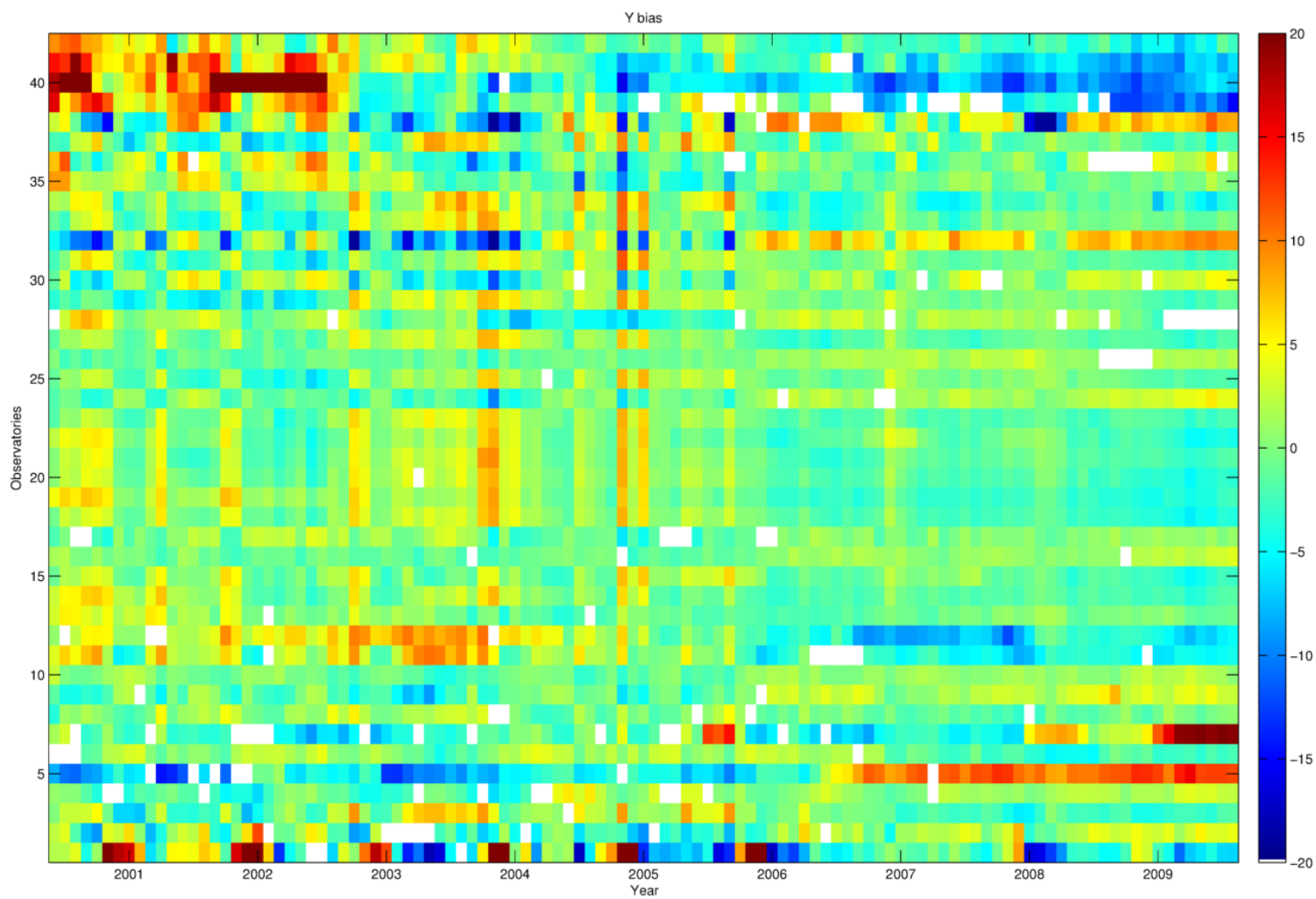
Slika 8: X, Y i Z komponenta *biasa* za opservatorij BEL (50.24° geomagnetske širine), paralelni prikaz rezultata dobivenih korištenjem GRIMM3 (crvena linija) i POMME-7 (plava linija) modela. Može se vidjeti da je razlika najveća na početku intervala, i opada s vremenom.



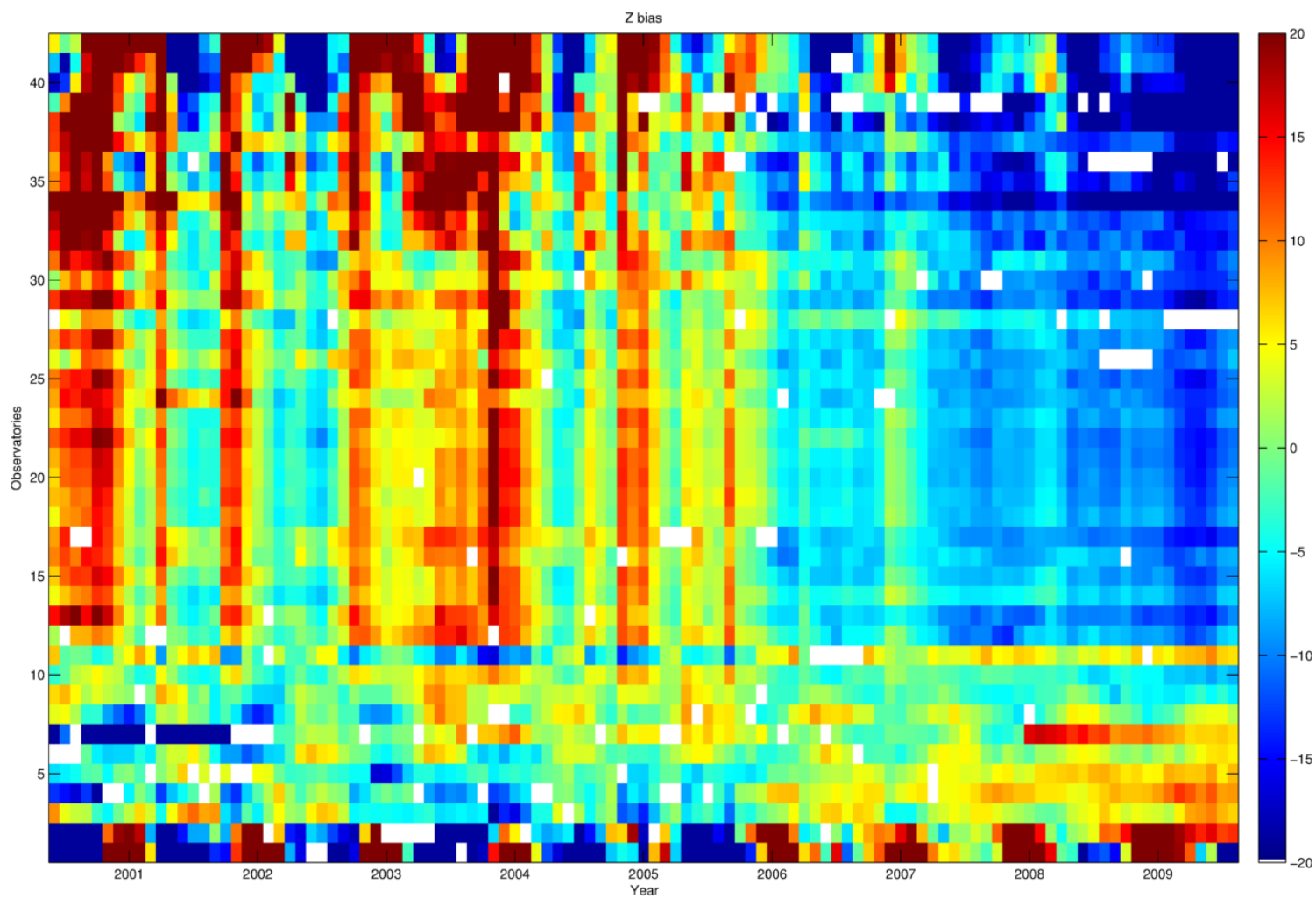
Slika 9: X, Y i Z komponenta *biasa* za opservatorij THL (87.32° geomagnetske širine), paralelni prikaz rezultata dobivenih korištenjem GRIMM-3 (crvena linija) i POMME-7 (plava linija) modela. Može se vidjeti da je razlika najveća na početku intervala, i opada s vremenom.



Slika 10: Reziduali X komponente *biasa* za odabrane opservatorije, poredane po geomagnetskim širinama.



Slika 11: Reziduali Y komponente *biasa* za odabrane opservatorije, poredane po geomagnetskim širinama.



Slika 12: Reziduali Z komponente *biasa* za odabrane opservatorije, poredane po geomagnetskim širinama.

5 Zaključak

U ovom radu analizirali smo promjenu magnetskog polja Zemljine kore u razdoblju 1979-2010.

Detaljno su analizirani podaci s 42 geomagnetska opservatorija, te uz pomoć GRIMM-3 modela izračunati mjesečni *biasi* na tim lokacijama za razdoblje 2000.-2009. Uočene su kratkoročne (mjesečne, godišnje) i dugoročne (10-godišnje) osilacije *biasa*.

Izračunati *biasi* uspoređeni su s onima dobivenim na temelju podataka satelita MAGSAT i Ørsted za godine 1980. i 1999. Na nekim lokacijama *biasi* su značajnije promijenjeni.

Općenito, čini se da se magnetsko polje Zemljene kore na istraživanim lokacijama nije značajnije promijenilo u zadnjih 30-tak godina.

6 Zahvale

Autor se zahvaljuje Doc. Dr. Verbanac za upute i pomoć pri izradi rada.

Doc. Dr. G.Verbanac zahvaljuje se Dr. Vincentu Lesuru na GRIMM-3 koeficijentima za sfernu harmoničku analizu, prof. Mioari Mandei i Dr. Mariu Bandiću na vrlo korisnim diskusijama vezanim za opservatorijske podatke.

Rezultati prikazani u ovom radu temeljeni su na podacima prikupljenima na magnetskim opservatorijima. Zahvaljujemo se institucijama koje ih podržavaju, te INTERMAGNET-u za promoviranje visokih opservatorijskih standarda.

Literatura

- [1] W.H. Campbell. *Introduction to Geomagnetic Fields*. Cambridge University press, 2003.
- [2] Ivan Hrvoic i Lawrence R. Newitt. “Instruments and Methodologies for Measurement of the Earth’s Magnetic Field”. *Geomagnetic Observations and Models*. Sv. 5. IAGA Special Sopron Book Series. Springer Netherlands, 2011, str. 105–126. ISBN: 978-90-481-9857-3. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-9858-0_5.
- [3] Mioara Mandea i Benoit Langlais. “Observatory crustal magnetic biases during MAGSAT and Ørsted satellite missions”. *Geophysical Research Letters* 29.15 (2002). DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2001GL013693>.
- [4] Giuli Verbanac, Monika Korte i Mioara Mandea. “On long-term trends in European geomagnetic observatory biases”. *Earth, Planets and Space* 59.7 (2007), str. 685–695. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/BF03352731>.