

**WMM-00 GEOMAGNETINIO LAUKO MODELIO LIETUVOS TERITORIJOJE  
TIKSLUMO TYRIMAS****Romuald Obuchovski***Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,  
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, el. paštas: gkk@ap.vtu.lt**Įteikta 2003 12 01; priimta 2004 02 10*

**Santrauka.** Matavimų technikos lygis teikia galimybę detaliau ištirti Žemės paviršiuje vykstančius fizikinius procesus. Atliekant geomagnetinio lauko palydovinius stebėjimus, tikslus ir nuolatinis matavimus magnetinėse observatorijose, geomagnetinio lauko matavimus amžių variacijų punktuose, aeromagnetinius ir jūrų matavimus sukaupia nemažai informacijos apie geomagnetinio lauko išsidėstymą erdvėje ir jo kitimą laike. Tokios informacijos gausybė suteikia galimybę matematiškai modeliuoti geomagnetinį lauką. Geomagnetinio lauko modeliai plačiai taikomi oro navigacijos, karybos bei civiliniams tikslams. Straipsnyje įvertintas WMM-00 (*World Magnetic Model*) geomagnetinio lauko modelio tikslumas Lietuvos teritorijoje. Pagal šį modelį nustatomos topografinių 1:50 000 mastelio žemėlapių magnetinės deklinacijos reikšmės. Šio modelio duomenys taip pat naudojami aviacijoje skaičiuojant aerouosto įrenginių magnetinio azimuto ir magnetinės deklinacijos reikšmes.

**Raktažodžiai:** Žemės magnetinis laukas, geomagnetinio lauko modeliai.

**1. Įvadas**

Žemės ir kosminės erdvės sąveika sukuria aplink Žemę magnetinį lauką. Žemei sukantis apie savo ašį, jos mantija su kietąja pluta, slysdamos branduolio išoriniu sluoksniu, sukasi šiek tiek greičiau negu vidinis branduolys, todėl branduolio elektronų ir mantijos bei plutos elektronų greičiai skiriasi. Toks elektronų judėjimas sukuria gamtinį srovės generatorių (dinamą), šis savo ruožtu – magnetinį lauką, panašiai kaip indukcinė rite tekanti elektros srovė. Magnetinio lauko, kurį sukuria Žemės gelmės, stiprumas lygus iki 95 % viso Žemės paviršiuje esamo magnetinio lauko stiprumo. Kiti apie 5 % – tai Saulės spinduliuojamų elektringųjų dalelių srautas, elektringosios dalelės, judančios jonosferoje ir magnetosferoje, bei išimagnetinusios Žemės plutos uolienos [1].

Žemės magnetinis laukas laike nuolat nevienodai kinta. Įvairūs vartotojai reikalauja patikimos informacijos apie geomagnetinio lauko elementų erdvėje reikšmių pasiskirstymą ir jų pokytį laike. Svarbu taip pat prognozuoti lauko pokyčius, t. y. kokios lauko reikšmės bus bet kuriame taške po tam tikro laikotarpio. Nuolat matuojant magnetinį lauką galima nustatyti lauko pokyčius ištisisus metus. Tokie matavimai atliekami magnetinėse observatorijose. Geomagnetinio lauko tyrimams taip pat taikomi palydoviniai stebėjimai, atliekami matavimai iš lėktuvų, jūriniai matavimai. Panaudojant šiuos duomenis yra galimybė matematiškai atvaizduoti Žemės magnetinį lauką ir jo pokytį, t. y. sukurti magnetinio lauko modelį. Beje, tikrasis geomagnetinis laukas skiriasi nuo teorinio lauko, kurį matematiškai aprašo magnetiniai modeliai.

Straipsnyje nagrinėjamas WMM-00 geomagnetinio lauko Lietuvos teritorijoje modelio tikslumas. „Modelio tikslumas“ suprantama tai, kaip tiksliai turimas geomagnetinis modelis nusako realią geomagnetinę situaciją. Apžvelgiami geomagnetiniam laukui modeliuoti naudoti duomenys, modeliavimo technologija, sudarinėjant WMM-00 modelį. Šis modelis skirtas oro bei jūros navigacijos tikslams. WMM modelį sukūrė Didžiosios Britanijos (*BGS*) ir JAV (*USGS*) geologai. Didžiosios Britanijos Gynybos ministerija, JAV Gynybos departamentas, *NATO* organizacija ir Pasaulio hidrografijos biuras (*WHO*) WMM modelį priėmė kaip standartinę navigacijos poreikiams skirtą modelį. Jis taip pat plačiai taikomas civilinėse navigacinėse sistemose. Lietuvoje pagal šį modelį skaičiuojamos magnetinės deklinacijos reikšmės. Jos pateikiamos 1:50 000 mastelio topografiniuose žemėlapiuose bei skaičiuojant aerouosto įrenginių magnetinį azimutą ir magnetinę deklinaciją.

**2. Kuriant magnetinį modelį naudoti duomenys**

Sudarant magnetinį modelį naudotasi šių šaltinių duomenimis [3]:

- Magnetinių observatorijų stebėjimų;
- Palydovinių stebėjimų;
- Geomagnetinių matavimų amžių variacijų punktuose;
- Aeromagnetinių ir jūrų geomagnetinių matavimų.

Magnetinėse observatorijose Žemės magnetinio lauko parametrai matuojami kas minutę arba trumpesniais

laiko intervalais. Observatorijos vieta parenkama plote, kuriame nėra magnetinių lauką trikdančių šaltinių poveikių. BGS ir USGS organizacijoms pavaldžios devyniolika magnetinių observatorijų Atlanto vandenyne, Didžiojoje Britanijoje, Folklandų salose, Kanadoje, Aliaskoje, Ramiajame vandenyne. Naudojami taip pat duomenys iš observatorijų, įtrauktų į *Intermagnet* (*International Real-time Magnetic Observatory Network*) asociaciją. Šios asociacijos tikslas – sukurti vientisą globalų magnetinių observatorijų tinklą, priimti modernius matavimų ir registracijos specifikacijų standartus, palengvinti keitimąsi geomagnetiniais duomenimis realiame laike. Iš viso modeliavimui panaudota 190 observatorijų duomenys.

Palydoviniai duomenys teikia globalią informaciją apie geomagnetinį lauką per santykinai trumpą laikotarpį. WMM serijos modeliuose pagrindiniai naudojami dviejų palydovų matavimų duomenys: Danų palydovo *Ørsted*, paleisto 1999 m., bei *POGS* palydovo, paleisto 1990 m. (duomenys kaupti iki 1993 m.).

Amžių variacijų punktai – tai vietovėje įtvirtinti punktai, kuriuose periodiškai, dažniausiai kas 2–4 metai, dideliu tikslumu išmatuojami geomagnetinio lauko parametrai [2]. Tokių matavimų tikslas – sekti geomagnetinio lauko amžių pokyčius. Šie duomenys papildo magnetinių observatorijų duomenis apie amžių pokyčius. Kuriant modelį naudotasi į Pasaulio duomenų centrą (*World Data Centre*) įtrauktais amžių variacijų punktais.

Aeromagnetiniai ir jūrų geomagnetiniai matavimai tikslingi Žemės plutos lauko apžvalginai analizei atlikti. Dėl sudėtingų matavimų procedūrų, aeromagnetiniais matavimais nustatomas tik magnetinio lauko jėgos intensyvumas. Dažniausiai tokie matavimai atliekami virš vandenynų.

### 3. WMM-00 geomagnetinis modelis

Taikant globalius ir regioninius Žemės magnetinio lauko modelius skaičiuojamos magnetinio lauko elementų reikšmės kaip padėties ir laiko funkcija [3–5].

Žemės magnetinį lauką nusako vektorius  $B$ , priklausantis nuo taško atstumo iki sferos centro –  $r$  ir laiko –  $t$ . Geomagnetinį lauką sudaro trys pagrindiniai šaltiniai: pagrindinis Žemės magnetinis laukas, susidaręs Žemės viduje ( $B_m$ ), Žemės plutos laukas, susidaręs dėl lokaliųjų uolienu įsimagnetinimo ( $B_c$ ) ir trikdžių laukas, kurį sukelia elektros srovės, tekančios aukštutinėje atmosferoje ir magnetosferoje. Taip indukuojama elektros srovė jūros ir žemės paviršiuose ( $B_d$ ). Žemės magnetinį lauką galima išreikšti tokia forma:

$$B(r,t) = B_m(r,t) + B_c(r) + B_d(r,t). \quad (1)$$

Pagrindinis Žemės magnetinis laukas  $B_m$  yra iki 95 % viso Žemės paviršiaus magnetinio lauko stiprumo ir lėtai kinta laike. Jo kitimas vadinamas amžių variacija. Yra daug įvairių pagrindinio lauko kilmės hipotezių, viena iš jų – hidromagnetinio generatoriaus hipotezė. Manoma, kad elektrai laidžiamame ir skystame Žemės

branduolyje vyksta intensyvūs ir sudėtingi judesiai, sukeliantys magnetinio lauko saviindukciją. Žemės magnetinis laukas stipriausias prie magnetinių polių, o silpniausias pusiaujo srityje.

Dėl Žemės plutos uolienu įmagnetinimo  $B_c$  padidėja magnetinio lauko stiprumas, susidaro lokaliosios variacijos, tačiau mažesnės nei pagrindinio lauko stiprumas. Kuriant Žemės magnetinį modelį buvo laikoma, kad lokaliųjų uolienu įmagnetinimas laike nekinta.

Kintamąjį Žemės magnetinį lauką  $B_d$  sukelia išoriniai šaltiniai Žemės magnetosferoje ir jonosferoje, o labiausiai – Saulės vėjas. Magnetosfera yra erdvės sritis apie Žemę, kurioje jaučiamas Žemės magnetinis laukas. Ji nesimetriška, nes ją veikia Saulės vėjas. Dėl Saulės vėjo poveikio šiek tiek pakinta priežeminis magnetinis laukas. Kai kurie pokyčiai, pavyzdžiui, paros svyravimai, būna reguliarūs, o kiti (magnetinės audros) nereguliarūs.

Žemės paviršiuje magnetinis laukas  $B$  nusakomas kaip neigiamas skaliarinio potencialo gradientas  $V$  [3–5]:

$$B = -\nabla V(r, \theta, \lambda, t), \quad (2)$$

kuris, tenkina Laplaso lygtį:

$$\nabla^2 V(r, \theta, \lambda, t) = 0, \quad (3)$$

čia  $(r, \theta, \lambda)$  yra sferinės koordinatės:  $r$  – spindulys nuo sferos centro,  $\theta$  – geocentrinė platumas,  $\lambda$  – geocentrinė ilguma,  $t$  – laikas. Skaliarinis potencialas – tai išorinio ir vidinio potencialų suma:

$$V = V_{int} + V_{ext}, \quad (4)$$

čia  $V_{int}$  – vidinis skaliarinis potencialas,  $V_{ext}$  – išorinis skaliarinis potencialas.

Laplaso lygtis pagal sferines koordinatas aprašoma:

$$V(r, \theta, \lambda, t) = a \sum_{n=1}^{n_{i\max}} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} \sum_{m=0}^n (g_n^m(t) \cdot \cos m\lambda + h_n^m(t) \cdot \sin m\lambda) \cdot P_n^m(\theta) + a \sum_{n=1}^{n_{e\max}} \left(\frac{r}{a}\right)^n \sum_{m=0}^n (q_n^m(t) \cdot \cos m\lambda + s_n^m(t) \cdot \sin m\lambda) \cdot P_n^m(\theta), \quad (5)$$

čia  $a$  – Žemės vidutinis spindulys (6371,2),  $g_n^m(t)$  ir  $h_n^m(t)$  – vidiniai Gauso koeficientai laiko momentu  $t$ ;  $q_n^m(t)$  ir  $s_n^m(t)$  – išoriniai Gauso koeficientai laiko momentu  $t$ ;  $P_n^m(\theta)$  – Schmidto normalizuotoji ir Lagranžo daugianarės  $m$  eilės ir  $n$  laipsnio sferinės harmoninės funkcijos. Gauso koeficientai lėtai kinta laike ir išreiškiami Teiloro lygtimi:

$$g_n^m(t) = g_n^m(T_{Epoch}) + \dot{g}_n^m(t - T_{Epoch}),$$

$$T_{Epoch} \leq t \leq T_{Epoch} + 5, \quad (6)$$

$$h_n^m(t) = h_n^m(T_{Epoch}) + \dot{h}_n^m(t - T_{Epoch}),$$

$$T_{Epoch} \leq t \leq T_{Epoch} + 5,$$

$T_{Epoch}$  – tai pagrindinė modelio epocha, kuri WMM-00 yra 2000,0 m.;  $g_n^m(T_{Epoch})$  ir  $h_n^m(T_{Epoch})$  – pagrindinio lauko modelio Gauso pagrindinės epochos koeficientai;  $\dot{g}_n^m$  ir  $\dot{h}_n^m$  – Gauso koeficientų variacijos per 5 metus nuo pagrindinės epochos pradžios. Laikoma, kad išoriniai parametrai nekinta laike:

$$q_n^m(t) = q_n^m \quad t \approx t_0$$

$$s_n^m(t) = s_n^m \quad t \approx t_0. \quad (7)$$

Praktikoje pagrindinis laukas, išorinis laukas ir lauko pokytis modeliuojami atskirai. Vidinio lauko rodiklis  $n_{i_{max}}=12$ , išorinio lauko  $n_{e_{max}} = 5$  ir pagrindinio lauko amžių variacijos  $n_{max} = 8$ . Išreiškę lygtį (5) pagal  $r$ ,  $\theta$  ir  $\lambda$  gausime:

$$B_r = -\frac{\partial V}{\partial r} = \sum_{n=1}^{12} (n+1) \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cdot \cos m\lambda + h_n^m \cdot \sin m\lambda) \cdot P_n^m(\theta) - \sum_{n=1}^5 n \left(\frac{r}{a}\right)^{n-1} \sum_{m=0}^n (q_n^m \cdot \cos m\lambda + s_n^m \cdot \sin m\lambda) \cdot P_n^m(\theta), \quad (8)$$

$$B_\theta = -\frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} = -\sum_{n=1}^{12} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cdot \cos m\lambda + h_n^m \cdot \sin m\lambda) \cdot \frac{dP_n^m(\theta)}{d\theta} - \sum_{n=1}^5 \left(\frac{r}{a}\right)^{n-1} \sum_{m=0}^n (q_n^m \cdot \cos m\lambda + s_n^m \cdot \sin m\lambda) \cdot \frac{dP_n^m(\theta)}{d\theta}, \quad (9)$$

$$B_\lambda = -\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \lambda} = \frac{1}{\sin \theta} \sum_{n=1}^{12} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n m \cdot (g_n^m \cdot \sin m\lambda - h_n^m \cdot \cos m\lambda) \cdot P_n^m(\theta) + \frac{1}{\sin \theta} \sum_{n=1}^5 \left(\frac{r}{a}\right)^{n-1} \sum_{m=0}^n m \cdot (q_n^m \cdot \sin m\lambda - s_n^m \cdot \cos m\lambda) \cdot P_n^m(\theta), \quad (10)$$

ir amžių variacijų lygtis:

$$\dot{B}_r = -\frac{\partial \dot{V}}{\partial r} = \sum_{n=1}^8 (n+1) \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n (\dot{g}_n^m \cdot \cos m\lambda + \dot{h}_n^m \cdot \sin m\lambda) \cdot P_n^m(\theta), \quad (11)$$

$$\dot{B}_\theta = -\frac{1}{r} \frac{\partial \dot{V}}{\partial \theta} = -\sum_{n=1}^8 \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n (\dot{g}_n^m \cdot \cos m\lambda + \dot{h}_n^m \cdot \sin m\lambda) \cdot \frac{dP_n^m(\theta)}{d\theta},$$

$$\cdot \sin m\lambda) \cdot \frac{dP_n^m(\theta)}{d\theta}, \quad (12)$$

$$\dot{B}_\lambda = -\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \dot{V}}{\partial \lambda} = \frac{1}{\sin \theta} \sum_{n=1}^8 \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n m \cdot (\dot{g}_n^m \cdot \sin m\lambda - \dot{h}_n^m \cdot \cos m\lambda) \cdot P_n^m(\theta). \quad (13)$$

Modelio skaičiavimams įvedami punkto padėties duomenys – geodezinė platuma  $\theta'$ , geodezinė ilguma  $\lambda$  ir geodezinis aukštis  $h$  – perskaičiuojami į geocentrinės koordinatės  $(r, \theta, \lambda)$ :

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{(A^2 \sin^2 \theta' + K^2 \cos^2 \theta')^{\frac{1}{2}} h + A^2}{(A^2 \sin^2 \theta' + K^2 \cos^2 \theta')^{\frac{1}{2}} h + K^2} \cdot \operatorname{tg} \theta' \quad (14)$$

ir

$$r^2 = h^2 + 2h(A^2 \sin^2 \theta' + K^2 \cos^2 \theta')^{\frac{1}{2}} + \frac{A^4 \sin^2 \theta' + K^4 \cos^2 \theta'}{A^2 \sin^2 \theta' + K^2 \cos^2 \theta'}, \quad (15)$$

čia  $A$  yra sferoido pusiaujinis spindulys,  $K$  – polinis spindulys.

Pagal  $B_\theta$ ,  $B_\lambda$  ir  $B_r$  geocentrinės koordinatės skaičiuojami  $X$ ,  $Y$  ir  $Z$  magnetiniai elementai:

$$X = -B_\theta \cos \psi - B_r \sin \psi,$$

$$Y = B_\lambda, \quad (16)$$

$$Z = B_\theta \sin \psi - B_r \cos \psi,$$

čia  $\psi$  – tai geocentrinės ir geodezinės platumos skirtumas:

$$\psi = \theta - \theta'. \quad (17)$$

Pagal ryšio lygtis apskaičiuojamos ir kitų magnetinio lauko elementų reikšmės:

$$D = \operatorname{arctg} \frac{Y}{X},$$

$$I = \operatorname{arctg} \frac{Z}{H},$$

$$F = \sqrt{H^2 + Z^2},$$

$$H = \sqrt{X^2 + Y^2}. \quad (18)$$

2000,5 m. epochos pagrindinio magnetinio lauko Gauso koeficientai bei 2000,0–2005,0 m. epochų amžių pokyčių ( $\dot{S}_V$ ) koeficientai pateikti 1 lentelėje.

**1 lentelė.** 2000,0 m. epochos Gauso koeficientai bei 2000,0–2005,0 m. epochų amžių pokyčių (SV) koeficientai  
**Table 1.** Gauss main-field coefficients for 2000,0 and secular-variation (SV) coefficients for 2000,0–2005,0 epoch

$g/h$	$n$	$m$	2000	$\frac{\bullet}{g/h}$	$g/h$	$n$	$m$	2000	$\frac{\bullet}{g/h}$	$g/h$	$n$	$m$	2000	$\frac{\bullet}{g/h}$
$g$	1	0	-29616	14,7	$g$	7	1	-73,9	-0,8	$h$	9	9	3,2	0
$g$	1	1	-1722,7	11,1	$h$	7	1	-62,3	1,4	$g$	10	0	-2,2	0
$h$	1	1	5194,5	-20,4	$g$	7	2	2,2	-0,2	$g$	10	1	-5,7	0
$g$	2	0	-2266,7	-13,6	$h$	7	2	-24,5	0,2	$h$	10	1	0,9	0
$g$	2	1	3070,2	-0,7	$g$	7	3	35,7	1,1	$g$	10	2	1,6	0
$h$	2	1	-2484,8	-21,5	$h$	7	3	8,9	0,7	$h$	10	2	-0,7	0
$g$	2	2	1677,6	-1,8	$g$	7	4	7,3	0,4	$g$	10	3	-3,7	0
$h$	2	2	-467,9	-9,6	$h$	7	4	23,4	0,4	$h$	10	3	3,9	0
$g$	3	0	1322,4	0,3	$g$	7	5	5,2	0	$g$	10	4	-0,6	0
$g$	3	1	-2291,5	-4,3	$h$	7	5	15	-0,3	$h$	10	4	4,8	0
$h$	3	1	-224,7	6,4	$g$	7	6	8,4	-0,2	$g$	10	5	4,1	0
$g$	3	2	1255,9	0,9	$h$	7	6	-27,6	-0,8	$h$	10	5	-5,3	0
$h$	3	2	293	-1,3	$g$	7	7	-1,5	-0,2	$g$	10	6	2,2	0
$g$	3	3	724,8	-8,4	$h$	7	7	-7,8	-0,1	$h$	10	6	-1	0
$h$	3	3	-486,5	-13,3	$g$	8	0	23,3	-0,3	$g$	10	7	2,2	0
$g$	4	0	932,1	-1,6	$g$	8	1	7,3	0,6	$h$	10	7	-2,4	0
$g$	4	1	786,3	0,9	$h$	8	1	12,4	-0,5	$g$	10	8	4,6	0
$h$	4	1	273,3	2,3	$g$	8	2	-8,5	-0,8	$h$	10	8	1,3	0
$g$	4	2	250,6	-7,6	$h$	8	2	-20,8	0,1	$g$	10	9	2,3	0
$h$	4	2	-227,9	0,7	$g$	8	3	-6,6	0,3	$h$	10	9	-2,3	0
$g$	4	3	-401,5	2,2	$h$	8	3	8,4	-0,2	$g$	10	10	0,1	0
$h$	4	3	120,9	3,7	$g$	8	4	-16,9	-0,2	$h$	10	10	-6,4	0
$g$	4	4	106,2	-3,2	$h$	8	4	-21,2	0	$g$	11	0	3,3	0
$h$	4	4	-302,7	-0,5	$g$	8	5	8,6	0,5	$g$	11	1	-1,1	0
$g$	5	0	-211,9	-0,9	$h$	8	5	15,5	0,1	$h$	11	1	-1,5	0
$g$	5	1	351,6	-0,2	$g$	8	6	4,9	0	$g$	11	2	-2,4	0
$h$	5	1	42	0	$h$	8	6	9,1	-0,1	$h$	11	2	0,7	0
$g$	5	2	220,8	-2,5	$g$	8	7	-7,8	-0,6	$g$	11	3	2,6	0
$h$	5	2	173,8	2,1	$h$	8	7	-15,5	0,3	$h$	11	3	-1,1	0
$g$	5	3	-134,5	-2,7	$g$	8	8	-7,6	0,1	$g$	11	4	-1,3	0
$h$	5	3	-135	2,3	$h$	8	8	-5,4	0,2	$h$	11	4	-2,3	0
$g$	5	4	-168,8	-0,9	$g$	9	0	5,7	0	$g$	11	5	-1,7	0
$h$	5	4	-38,6	3,1	$g$	9	1	8,5	0	$h$	11	5	1,3	0
$g$	5	5	-13,3	1,7	$h$	9	1	-20,4	0	$g$	11	6	-0,6	0
$h$	5	5	105,2	0	$g$	9	2	2	0	$h$	11	6	-0,6	0
$g$	6	0	73,8	1,2	$h$	9	2	13,9	0	$g$	11	7	0,4	0
$g$	6	1	68,2	0,2	$g$	9	3	-9,8	0	$h$	11	7	-2,8	0
$h$	6	1	-17,4	-0,3	$h$	9	3	12	0	$g$	11	8	0,7	0
$g$	6	2	74,1	1,7	$g$	9	4	7,6	0	$h$	11	8	-1,6	0
$h$	6	2	61,2	-1,7	$h$	9	4	-6,2	0	$g$	11	9	-0,3	0
$g$	6	3	-163,5	1,6	$g$	9	5	-7	0	$h$	11	9	-0,1	0
$h$	6	3	63,2	-0,9	$h$	9	5	-8,6	0	$g$	11	10	2,3	0
$g$	6	4	-3,8	-0,1	$g$	9	6	-2	0	$h$	11	10	-1,9	0
$h$	6	4	-62,9	-1	$h$	9	6	9,4	0	$g$	11	11	4,2	0
$g$	6	5	17,1	-0,3	$g$	9	7	9,2	0	$h$	11	11	1,4	0
$h$	6	5	0,2	-0,1	$h$	9	7	5	0	$g$	12	0	-1,5	0
$g$	6	6	-85,1	0,8	$g$	9	8	-2,2	0	$g$	12	1	-0,2	0
$h$	6	6	43	1,9	$h$	9	8	-8,4	0	$h$	12	1	-1	0
$g$	7	0	77,4	-0,4	$g$	9	9	-6,6	0	$g$	12	2	-0,3	0
$h$	12	2	0,7	0	$g$	12	6	-1,4	0	$h$	12	9	0,2	0
$g$	12	3	0,5	0	$h$	12	6	0	0	$g$	12	10	-0,3	0
$h$	12	3	2,2	0	$g$	12	7	0,6	0	$h$	12	10	-0,9	0
$g$	12	4	0,2	0	$h$	12	7	-0,2	0	$g$	12	11	0,3	0
$h$	12	4	-2,5	0	$g$	12	8	-0,6	0	$h$	12	11	-0,2	0
$g$	12	5	0,9	0	$h$	12	8	0	0	$g$	12	12	0,4	0
$h$	12	5	-0,2	0	$g$	12	9	-1	0	$h$	12	12	1	0

WMM serijos modelis atnaujinamas kas 5-eri metai sausio 1 dieną. Atnaujinama tais metais, kurie dalijasi iš 5 (pvz., 1980, 1985, 1990). Šio modelio koeficientai redukuoti į WGS-84 elipsoidą.

Skaičiavimams naudojama WMM-00 programa. Į programą įvedami tokie parametrai:

*ALT* – geodezinis aukštis (km);

*GLAT* – geodezinė platumą (laipsn.);

*GLON* – geodezinė ilguma (laipsn.);

*DATE* – laikas (epocha, kurios magnetinių elementų reikšmės skaičiuojamos).

Programa apskaičiuoja šias geomagnetinio lauko elementų reikšmes: deklinaciją – *DEC* (laipsn.), inklinaciją – *DIP* (laipsn.), magnetinio lauko jėgos intensyvumą – *TI* (nT) bei tų elementų kitimą per metus (*chgDEC* – minutės per metus; *chgDIP* – minutės per metus; *chgTI* – nT per metus).

Taikant modelį apskaičiuotų magnetinio lauko elementų sausumoje bei vandenynuose tikslumas yra skirtingas. Geomagnetinio lauko elementų tikslumas virš vandenynų:

*DEC* –  $\pm 0,5^\circ$ ;

*DIP* –  $\pm 0,5^\circ$ ;

*TI* –  $\pm 280,0$  nT (1 nT = 1 gamma);

*X* –  $\pm 140$  nT (šiaurės);

*Y* –  $\pm 140$  nT (rytų);

*Z* –  $\pm 200$  nT (vertikaliaji);

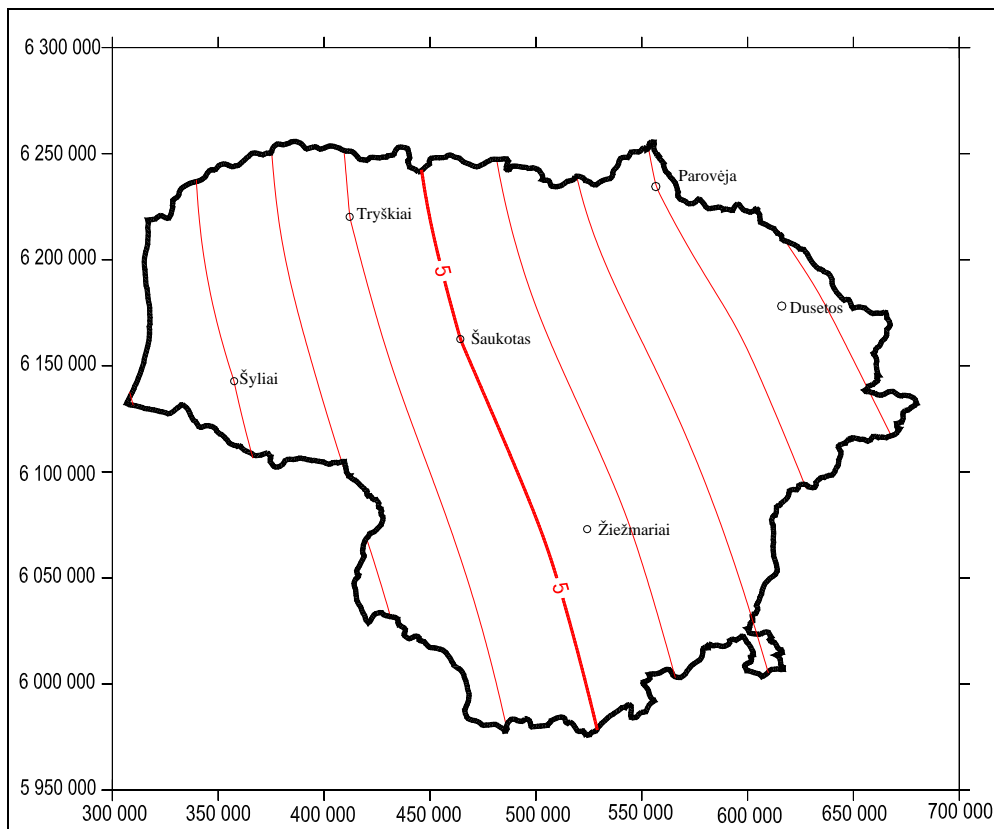
*H* –  $\pm 200$  nT (horizontalioji).

Parametrų nustatymo sausumoje klaidos kiek didesnės, tačiau, pagal modelių kūrėjų užtikrinimą, deklinacijų ir inklinacijų neviršija  $1^\circ$  per išstisus 5 metus. Kitų elementų paklaidas nustatyti sunku, todėl jos nepateikiamos. Visų elementų tikslumas priklauso nuo geodezinės platumos. Nustatyta, kad mažiausios elementų paklaidos ties ekvatoriumi, didžiausios – ties magnetiniais poliais.

Modelyje neįvertintas magnetosferos ir jonosferos poveikis amžių variacijoms.

#### 4. WMM-00 modelio tikslumas Lietuvos teritorijoje

Lietuvos teritorijos WMM-00 modelio deklinacijos žemėlapis pavaizduotas 1 paveiksle. Geomagnetinio lauko modelio tikslumas įvertintas dviem būdais: palyginus modelio skaičiavimo rezultatus su matavimų amžių variacijų punktuose duomenimis bei modelio skaičiavimo rezultatus – su atnaujinta 1940,5 m. epochos magnetine nuotrauka.



1 pav. 2000,5 m. epochos magnetinės deklinacijos žemėlapis pagal WMM-00 modelį  
Fig 1. Magnetic declination map for 2000,5 epoch from WMM-00 model

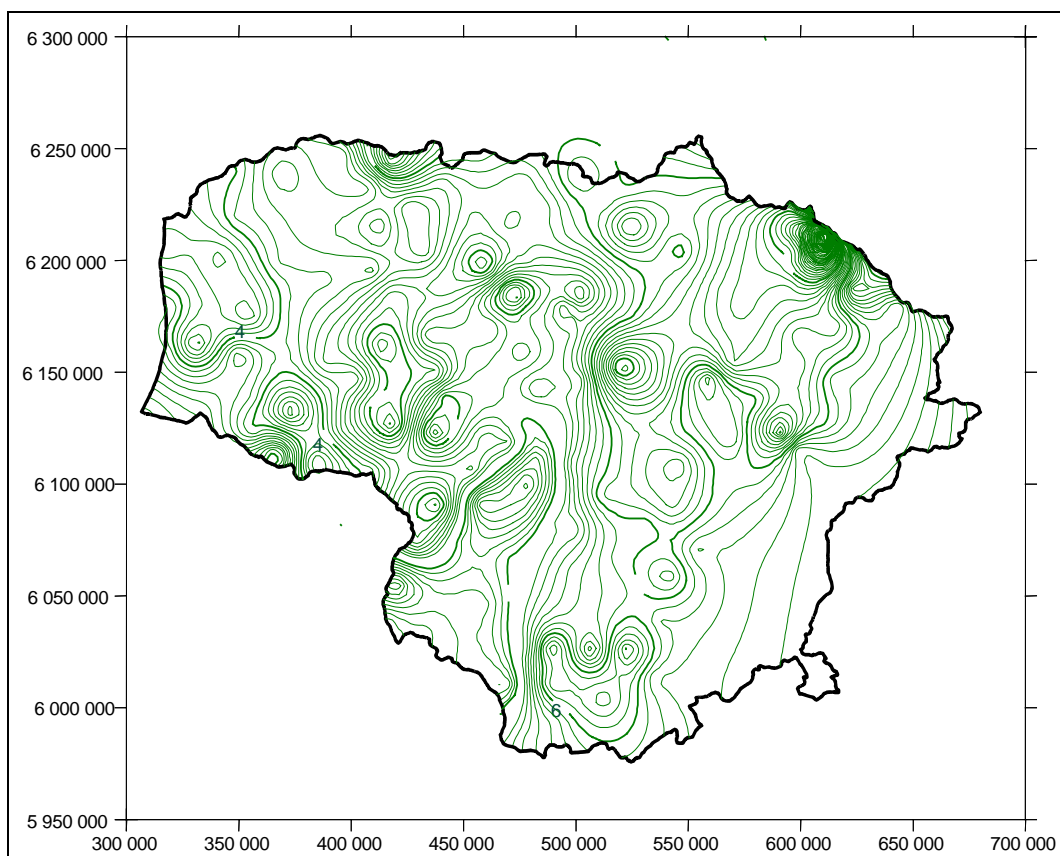
Pagal geomagnetinio lauko modelį apskaičiuotos 2000,5 m. epochos deklinacijos amžių variacijų punktuose reikšmės. Apskaičiuotosios reikšmės palygintos su amžių variacijų punktuose išmatuotomis ir redukuotomis į 2000,5 m. epochą deklinacijų reikšmėmis. Gauti deklinacijų skirtumai pateikti 2 lentelėje.

**2 lentelė.** 2000,5 m. epochos deklinacijos reikšmių, apskaičiuotų pagal modelį ir gautų atlikus matavimus, skirtumai  
**Table 2.** Differences between model and measured declination values for 2000,5 epoch

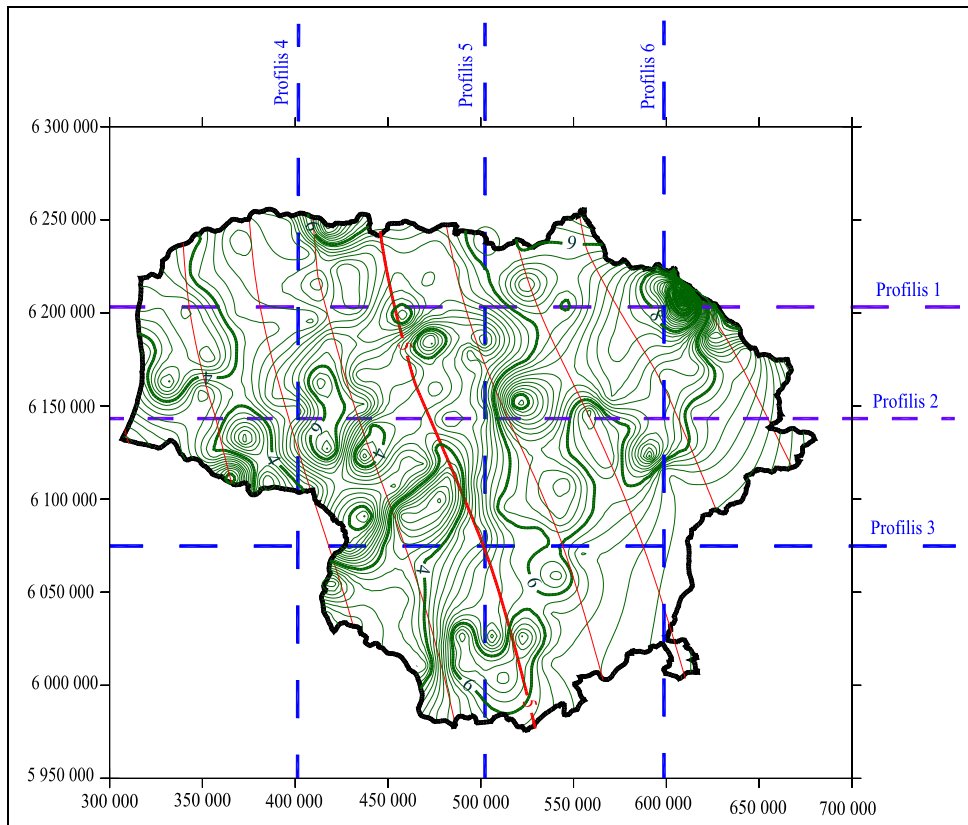
Punktas	$D$ pagal modelį o ' "	$D$ pagal matavimo duomenis o ' "	Skirtumas o ' "
Žiežmariai	5 06	6 03 44	+0 57 44
Dusetos	5 42	5 44 55	+0 02 55
Parovėja	5 36	5 37 07	+0 01 07
Šaukotas	5 00	4 10 28	-0 49 32
Tryškiai	4 48	5 03 29	+0 15 29
Šyliai	4 26	4 30 18	+0 04 18

Analizuojant gautus skirtumus matyti, kad modelio klaidos amžių variacijų punktuose siekia iki 1°. Didžiausi skirtumai yra Žiežmarių ir Šaukoto amžių punktuose, mažiausias – Parovėjos, čia pagal modelį apskaičiuotos reikšmės nuo gautų išmatavus skiriasi vos 1'.

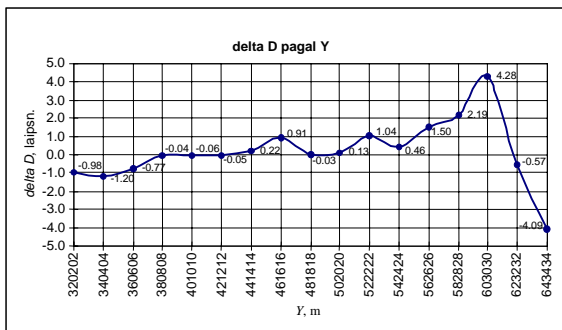
Modelio tikslumas tirtas lyginant pagal modelį apskaičiuotas deklinacijos reikšmes su atnaujintos 1940,5 m. epochos deklinacijos nuotraukos reikšmėmis. 1940,5 m. epochos deklinacijos nuotrauka pagal Lenkijos Geodezijos ir kartografijos instituto specialistų sukurta metodiką atnaujinta į 2000,5 m. epochos [6]. Atnaujinta deklinacijos nuotrauka pavaizduota 2 paveiksle. Modelio tikslumui tirti Lietuvos teritorijoje imti 6 profiliai, kuriuose modelio duomenys palyginti su atnaujintos nuotraukos deklinacijos reikšmėmis. Profilių išdėstymas pavaizduotas 3 paveiksle. Deklinacijų skirtumai profiliuose – 4–9 paveiksluose.



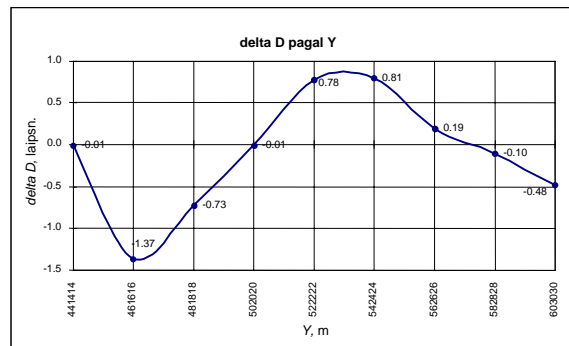
**2 pav.** 2000,5 m epochos magnetinės deklinacijos žemėlapis  
**Fig 2.** Magnetic declination map for 2000,5 epoch



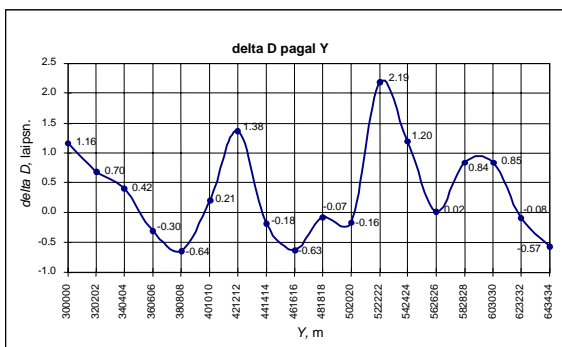
3 pav. Profilų išdėstymas WMM-0 modelio tikslumui tirti  
**Fig 3.** Profiles for analysis of WMM-0 model precision



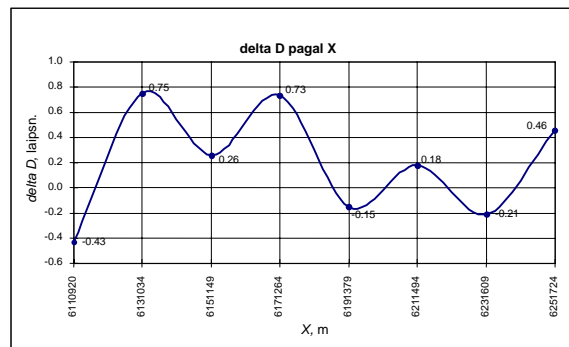
4 pav. Deklinacijos skirtumai profilyje 1  
**Fig 4.** Declination differences in profile 1



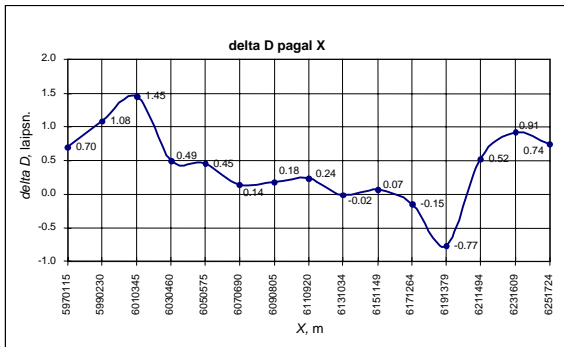
6 pav. Deklinacijos skirtumai profilyje 3  
**Fig 6.** Declination differences in profile 3



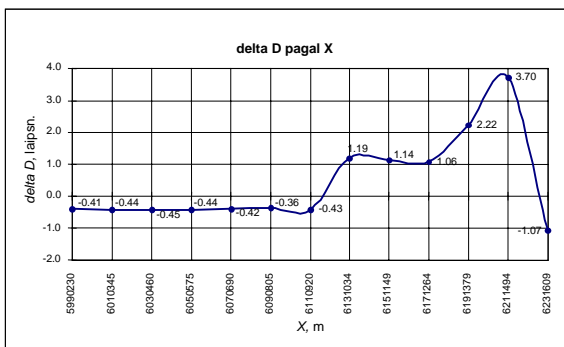
5 pav. Deklinacijos skirtumai profilyje 2  
**Fig 5.** Declination differences in profile 2



7 pav. Deklinacijos skirtumai profilyje 4  
**Fig 7.** Declination differences in profile 4



8 pav. Deklinacijos skirtumai profilyje 5  
Fig 8. Declination differences in profile 5



9 pav. Deklinacijos skirtumai profilyje 6  
Fig 9. Declination differences in profile 6

Analizuojant modelio klaidas profiliuose matyti, kad modelio klaidos Lietuvos teritorijoje siekia iki 4°. Didžiausios modelio klaidos yra šalies ŠR dalyje.

## 5. Išvados

1. WMM-00 modelio deklinacijos Lietuvos teritorijoje paklaidos ištirtos dviem būdais: palyginus pagal modelį apskaičiuotas deklinacijos reikšmes su reikšmėmis, gautomis išmatavus amžių variacijų punktuose, bei modelio reikšmes palyginus su reikšmėmis atnaujintoje 1940,5 m. epochos deklinacijos nuotraukoje. Atlikus tyrimus matyti, kad WMM-00 modelio klaidos Lietuvos teritorijoje siekia 4°. Tokio tikslumo modelio duomenys gali būti naudojami tik geomagnetinio lauko apžvalginėi analizei.

2. Būtina tęsti geomagnetinio lauko tyrimus amžių variacijų punktuose ir periodiškai kas 2–4 metai atlikti tikslius geomagnetinio lauko matavimus. Šie duomenys labai vertingi atnaujinant senus duomenis, tiriant geomagnetinio lauko pokyčius. Ypač tai svarbu teritorijose, kur retas magnetinių observatorių tinklas.

3. Būtina atlikti naują Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko nuotrauką. Paskutinį kartą tokia nuotrauka daryta daugiau kaip prieš šešiasdešimt metų ir yra jau pasenusi.

## Literatūra

- Merrill, R. T.; McElhinney, M. W. The Earth's Magnetic Field. London: Academic Press, 1983, p. 101–106.
- Newitt, L. R.; Barton, C. E.; Bitterly, J. Guide to Magnetic Repeat Station Surveys. International Association of Geomagnetism and Aeronomy. Boulder, 1996. 126 p.
- Haines, G. V. Regional Magnetic Field Modelling: a Review. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 42, Tokyo, 1990, p. 1001–1018.
- Macmillan, S.; Barraclough, D. R.; Quinn, J. M.; Coleman, R. J. The 1995 Revision of the Joint US/UK Geomagnetic Field Model – I. Secular Variation. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 49, Tokyo, 1997, p. 229–243.
- Quinn, J. M.; Coleman, R. J.; Macmillan, S.; Barraclough, D. R. The 1995 Revision of the Joint US/UK Geomagnetic Field Models. II: Main Field. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 49, Tokyo, 1997, p. 245–261.
- Welker, E.; Sas-Uhrynowski, A.; Obuchovski, R. Changes of magnetic declination in the period of 1941–2000 at the former eastern Polish and near-by territories. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXIX, No 4. Vilnius: Technika, 2003, p. 107–114 (in Lithuanian).