

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Romuald Obuchovski

**LIETUVOS TERITORIJOS GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRŲ
IR JŲ KITIMO NUSTATYMAS**

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai, matavimų inžinerija (10T)

Vilnius, 2006

Disertacija rengta 2002–2006 m. Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Darbo mokslinis vadovas:

prof. habil. dr. Petras Petroškevičius (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, matavimų inžinerija – 10T).

TURINYS

ĮVADAS	5
1. GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRŲ IR JŲ KITIMO NUSTATYMO PROBLEMATIKA	9
1.1. LITERATŪROS IR MOKSLO DARBŲ ANALIZĖ.....	9
1.2. LIETUVOS TERITORIJOS GEOMAGNETINIŲ MATAVIMŲ RAIDOS ANALIZĖ.....	26
1.3. IŠVADOS.....	31
2. ŽEMĖS MAGNETINIO LAUKO TRUMPALAIKIŲ VARIACIJŲ ANALIZĖ IR TYRIMŲ REZULTATAI	32
2.1. GEOMAGNETINIŲ AUDRŲ ĮVERTINIMAS.....	32
2.2. GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRŲ KITIMO PER PARĄ ANALIZĖ	36
2.3. PERIODINIŲ GEOMAGNETINIŲ VARIACIJŲ TYRIMŲ METODIKA.....	41
2.4. SAULĖS PARINIO POVEIKIO GEOMAGNETINIAM LAUKUI TYRIMAS	44
2.5. SAULĖS PARINIO POVEIKIO GEOMAGNETINIAM LAUKUI ĮVERTINIMO METODIKOS TESTAVIMAS	50
2.6. IŠVADOS	53
3. GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRŲ LIETUVOS TERITORIJOJE NUSTATYMAS IR JŲ AMŽIŲ VARIACIJŲ ĮVERTINIMAS	55
3.1. GEOMAGNETINIŲ TYRIMŲ PUNKTŲ TINKLAS.....	55
3.2. GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRŲ MATAVIMO PRIETAISAI IR METODIKA	58
3.2.1. Magnetinės deklinacijos nustatymas	62
3.2.2. Inklinacijos matavimai	66
3.2.3. Geomagnetinės indukcijos matavimai	68
3.3. GEOMAGNETINĖS OBSERVATORIJOS PARINKIMAS GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRAMS REDUKUOTI.....	68
3.4. IŠMATUOTŲ GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRŲ REDUKAVIMAS IR REZULTATAI	72
3.5. GEOMAGNETINIO LAUKO AMŽIŲ VARIACIJŲ NUSTATYMAS IR ANALIZĖ..	75
3.6. IŠVADOS	78

4. GEOMAGNETINIULOSE MATAVIMULOSE NAUDOJAMO ASTRONOMINIO DIENOVIDINIO NUSTATYMO METODIKOS TOBULINIMAS	79
4.1. GERIAUSIŲ MATAVIMO SĄLYGŲ NUSTATYMAS	79
4.2. HORIZONTALIOJO KAMPO MATAVIMO YPATUMŲ ĮVERTINIMAS	88
4.3. ASTRONOMINIO AZIMUTO NUSTATYMAS NEŽINANT VERTIKALĖS NUOKRYPIO	91
4.4. IŠVADOS	93
5. LIETUVOS TERITORIJOS MAGNETINĖS DEKLINACIJOS ŽEMĖLAPIO ATNAUJINIMAS IR PASAULINIO GEOMAGNETINIO LAUKO MODELIO TIKSLUMO ĮVERTINIMAS	95
5.1. ŽEMĖLAPIO ATNAUJINIMAS PAGAL OBSERVATORIJŲ DUOMENIS	95
5.2. NAUJŲ DUOMENŲ PANAUDOJIMAS ŽEMĖLAPIUI ATNAUJINTI	100
5.3. PASAULINIO GEOMAGNETINIO LAUKO MODELIO WMM TIKSLUMAS LIETUVOS TERITORIJOJE	101
5.4. IŠVADOS	107
DARBO REZULTATŲ APIBENDRINIMAS IR REKOMENDACIJOS	108
LITERATŪRA	110
AUTORIAUS SKELBTŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS	120
PRIEDAS. IŠMATUOTŲ GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRŲ REDUKAVIMO KAIMYNINIŲ OBSERVATORIJŲ ATŽVILGIU REZULTATAI	122

IVADAS

Darbo aktualumas. Geomagnetinio lauko parametrų nustatymas ir jų variacijų tyrimas yra aktuali ir sudėtinga Žemės mokslų problema, susijusi su gamtinės fizikinės sistemos – dabartinių geofizinių bei geodinaminių procesų – išorinių būvio parametrų pažinimu. Pagrindinis mus supančio pasaulio fizikinių procesų pažinimo šaltinis yra įvairiais būdais atliekamų stebėjimų ir matavimų rezultatai, kurie teikia skaitmeninius fizikinių procesų vystymosi rodiklius. Šie matavimais nustatomi išoriniai sistemos būvio parametrai susiję su vidinėmis sistemos ir jos elementų savybėmis, t.y. geologinėmis, geofizinėmis Žemės plutos ir jos viršutinių sluoksnių charakteristikomis, jų pokyčiais, tarpusavio sąveika, Žemės gelmėse vykstančiais procesais. Geomagnetinio lauko variacijos yra vykstantis procesas, skirtinguose Žemės paviršiaus taškuose pasireiškiantis nevienodai ir jį įmanoma nustatyti tiksliais matavimais. Vienas pagrindinių metodų – pakartotini geomagnetinio lauko parametrų matavimai amžių variacijų tyrimo punktuose. Norint nustatyti tam tikros epochos geomagnetinio lauko parametrus, būtina detali informacija apie geomagnetinį lauką ir jo kitimą.

Geomagnetinio lauko tyrimų duomenys panaudojami įvairiems teoriniams ir praktiniams uždaviniams spręsti. Jie svarbūs sprendžiant navigacijos, geofizikos, geodinamikos, naudingųjų iškasenų paieškų uždavinius. Pagal NATO ir ICAO (angl. International Civil Aviation Organization) reikalavimus geomagnetinio lauko parametrai pateikiami topografiniuose ir oro uostų navigaciniuose žemėlapiuose. Geodezijoje orientavimui kartais naudojamas kompasas ar busolė, kuomet jų rodyklė orientuojasi pagal geomagnetinio lauko linijas. Krypčiai, nustatyti šiuo atveju, reikalinga žinoti geomagnetinę deklinaciją. Deklinacijų vertės bei jų metinis pakitimas pateikiamas topografinio žemėlapių lapo viduriui. Naudingųjų iškasenų paieškai naudingi tiek gravimetriniai tiek geomagnetiniai duomenys. Išmatuotas sunkio pagreitis bei geomagnetinė indukcija (įmagnetinimas) padeda nustatyti naudingųjų iškasenų klodus ir jų gylį. Geomagnetinio lauko duomenys naudingi ir geodinaminiais tyrimams, kai Žemės plutos judesiai siejami su Žemės viduje vykstančiais procesais. Visiems šiems darbams reikalinga tiksli nuolat atnaujinama informacija apie geomagnetinio lauko parametrus bei jų kitimą – amžių variacijas.

Tobulėjant matavimų ir tyrimų aparatūrai, dauguma reiškinių, kurių anksčiau nebuvo įmanoma nustatyti, dabar išmatuojami ir užrašomi. Tikslėjant matavimams reikalingi nauji teoriniai ir praktiniai tyrimai. Būtina kurti bei tobulinti tyrimų metodiką.

Ištisiniai geomagnetinio lauko parametrų matavimai daromi geomagnetinėse observatorijose. Matavimai atliekami ir amžių variacijų tyrimo punktuose, kuriuose geomagnetinio lauko parametrų vertės nustatomos kas 2–4 metai. Čia išmatuoti ir atitinkamai apdoroti matavimų duomenys leidžia nustatyti geomagnetinio lauko ilgalaikius pokyčius – geomagnetinio lauko amžių variacijas. Lietuvoje geomagnetinės observatorijos nėra, geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimai nebuvo daryti o visos teritorijos geomagnetinė nuotrauka daryta 1936 – 1938 metais. Praktiniams uždaviniams dažnai parametrų vertės apskaičiuojamos pagal geomagnetinio lauko modelius. Atsižvelgiant į šiuolaikinius geomagnetinio lauko tyrimus, atliekamus kitose valstybėse, būtina įvertinti Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko ištirtumą, atlikti šiandieniniams reikalavimams atitinkančius geomagnetinio lauko parametrų matavimus bei jų kitimo tyrimus. Būtina ištirti geomagnetinių observatorių panaudojimo Lietuvos teritorijoje atliktiems geomagnetinio lauko parametrų matavimo duomenims redukuoti, problemą. Tikslinga taip pat įvertinti pasaulinio geomagnetinio lauko modelio tikslumą Lietuvos teritorijoje.

Mokslinių tyrimų tikslas. Nustatyti Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko parametrus ir jų kitimą. Sprendžiami šie uždaviniai:

- Įvertinti Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko ištirtumą;
- Atlikti periodinių geomagnetinio lauko variacijų tyrimą;
- Patobulinti geomagnetinio lauko parametrų ir jų kitimo nustatymo metodiką;
- Atlikti geomagnetinio lauko Lietuvos teritorijoje parametrų nustatymą ir jų amžių variacijų tyrimus;
- Ištirti geomagnetinių observatorių panaudojimo Lietuvos teritorijoje gautiems geomagnetinio lauko parametrų matavimo duomenims redukuoti galimybes;
- Patikslinti geomagnetiniuose matavimuose naudojamo astronominio dienovidinio nustatymo metodiką;
- Atnaujinti Lietuvos teritorijos magnetinės deklinacijos žemėlapi;
- Įvertinti pasaulinio geomagnetinio lauko modelio tikslumą Lietuvos teritorijoje.

Tyrimų objektas. Lietuvos teritorijos geomagnetinis laukas.

Tyrimų metodika. Teoriniai ir eksperimentiniai tyrimai. Geomagnetinio lauko parametrų ir jų kitimo matematinė, statistinė, harmoninė ir palyginamoji analizė. Tyrimams naudojami Lietuvos teritorijoje antžeminiais metodais gauti nauji matavimų duomenys ir geomagnetinių observatorių ištisiniai geomagnetinių parametrų matavimų rezultatai.

Mokslinis naujumas. Patobulinta geomagnetinio lauko parametrų bei jų kitimo nustatymo metodika. Lietuvos teritorijoje nustatytos geomagnetinio lauko parametrų vertės bei jų amžių variacijos. Atnaujintas Lietuvos teritorijos magnetinės deklinacijos žemėlapis. Pirmą kartą nustatytos pasaulinio geomagnetinio lauko modelio WMM paklaidos Lietuvos teritorijoje.

Praktinė mokslinio darbo svarba, jo pritaikomumas. Nustatyti Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko parametrai ir jų kitimų dėsningumai gali būti panaudoti sudarant navigacinius bei kitus specialios paskirties žemėlapius, atnaujinant ir patikslinant geomagnetinio lauko modelius bei žemėlapius, interpretuojant geofizinius bei geodinaminius procesus.

Darbo rezultatų aprobavimas. Tyrimų rezultatai pristatyti ir aptarti 8 tarptautinėse mokslinėse konferencijose:

1. „Geomagnetinių amžių variacijų tyrimas Lietuvos teritorijoje“. Tarptautinė mokslinė konferencija „Aplinkos inžinerija“, Vilnius, 2002 m. gegužės 23–24 d.;
2. „Trends of development of the Lithuanian National Geodetic Control“. Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF), Ponta Delgada, Azores, 5–8 June 2002;
3. „Status of research of the geomagnetic field over the territory of Lithuania“. Fifth international seminar on "Recent research and design progress in aeronautical engineering and its influence on education", Vilnius, 27–29 November 2002;
4. „Analysis of the research on Lithuanian Geodetic reference and magnetic field“. 8-th Baltic regional Workshop „Military topographic mapping and charting“, Vilnius 03–04 December 2003;
5. „Main Geodetic Activities of Lithuania in 2003“. IAG Subcommission for Europe Symposium EUREF2004, Bratislava, Slovakija 02–04 June 2004;
6. „Main Geodetic Networks of Lithuania and their relation to Struve's Geodetic Arc“. Conference „The Future of the Struve Geodetic Arc“, Chisinau, Moldova 27–29 September 2004;
7. „Geomagnetic Repeat Station measurements in Lithuania“. International Conference „2nd workshop on European Geomagnetic Repeat Station Survey 2003 – 2005“, Warsaw, Poland 6–8 April 2005;
8. „Investigation of geomagnetic field on the Lithuanian territory“. 6-th International Conference “Environmental Engineering”, Vilnius, 26–27 May 2005.

Skaityti 7 pranešimai respublikinėse konferencijose:

1. „Magnetinio lauko variacijų kitimas“. Respublikinė mokslo konferencija „Civilinė inžinerija ir geodezija“, Vilnius, 2001 m. spalio 5 d.;
2. „Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko variacijų įvertinimas“. Respublikinė mokslo konferencija „Civilinė inžinerija ir geodezija“, Vilnius, 2002 m. spalio 29d.;
3. „Magnetinių deklinacijų pokytis 1941–2000 m. laikotarpiu Lietuvos ir kaimyninių šalių teritorijose“. Respublikinė mokslo konferencija „Civilinė inžinerija ir geodezija“, Vilnius, 2003 m. spalio 17 d.;
4. „Geomagnetinio lauko kitimo tyrimas“. 7-oji jaunųjų mokslininkų konferencija „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“, Vilnius, 2004 m. kovo 25 d.;
5. „Geomagnetinio lauko amžių variacijos“. Respublikinė mokslo konferencija „Civilinė inžinerija ir geodezija“, Vilnius, 2004 m. spalio 29 d.;
6. „Nauji Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko tyrimai“. XIII Pasaulio Lietuvių Mokslo ir Kūrybos Simpoziumas, Vilnius, 2005 m. birželio 30 – liepos 4 d.;
7. „Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimų tęstinumas“. Respublikinė mokslo konferencija „Civilinė inžinerija ir geodezija“, Vilnius, 2005 m. spalio 28d.

Publikacijos. Autoriaus mokslinių publikacijų sąrašą sudaro 11 straipsnių.

Užsienio stažuotės. Varšuvos Geodezijos ir Kartografijos institute (2002 ir 2004 m.), geomagnetinėje Belsko (Belsk, Lenkija) observatorijoje (2004 m.) ir Lenkijos Mokslų akademijos Geofizikos institute (2005 m.).

Darbo apimtis ir struktūra. Darbą sudaro įvadas, penki skyriai, darbo rezultatų apibendrinimas ir rekomendacijos, 143 pavadinimų literatūros šaltinių sąrašas, autoriaus skelbtų publikacijų sąrašas, 16 puslapių priedas. Bendra darbo apimtis – 137 puslapiai. Darbe yra 65 paveikslai ir 83 lentelės.

1. GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRŲ IR JŲ KITIMO NUSTATYMO PROBLEMATIKA

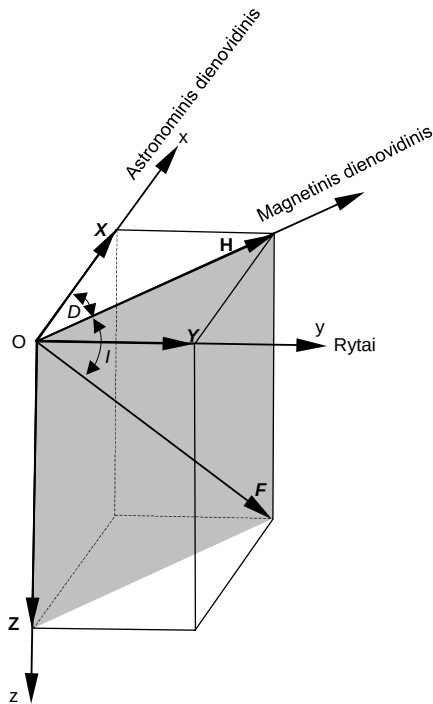
Pradedant naujus geomagnetinio lauko parametrų matavimus ir jų amžių variacijų tyrimus Lietuvos teritorijoje, svarbu detalai išanalizuoti geomagnetinio lauko tyrimų esamą situaciją užsienio šalyse ir įvertinti Lietuvoje atliktų tokių darbų būklę. Skyriuje nagrinėtos mokslo publikacijos, kurios liečia geomagnetinio lauko parametrų ir jų kitimo nustatymo problemas. Aptartos pagrindinės geomagnetinio lauko susidarymo hipotezės, išanalizuotos geomagnetinio lauko parametrų kitimo priežastys bei rūšys. Išnagrinėti geomagnetinio lauko tyrimų metodai, kiek daugiau dėmesio skirta geomagnetinių parametrų nustatymui geomagnetinėse observatorijose ir amžių variacijų tyrimo punktuose. Išnagrinėjus Lietuvoje darytus geomagnetinio lauko tyrimus ir įvertinus jų lygį kitų šalių atžvilgiu, buvo patikslinti pagrindiniai darbo uždaviniai, kurie sprendžiami kituose darbo skyriuose.

1.1. LITERATŪROS IR MOKSLO DARBŲ ANALIZĖ

Geomagnetinio lauko atsiradimo priežasčių analizavimas, jo kitimo laike nustatymas reikalauja atlikti sudėtingus geofizinius, geodezinius, geodinaminius ir geologinius tyrimus. Mokslo ir technikos pažanga, aktyvus tarptautinis bendradarbiavimas atliekant geomagnetinio lauko tyrimus suteikė naujas galimybes geriau pažinti geomagnetinio lauko susidarymo ir kitimo priežastis, sukurti geomagnetinio lauko modelius. Apie dabartinių geomagnetinių tyrimų svarbą liudija įvairiose valstybėse platus domėjimasis šiais tyrimais bei jų koordinavimas tarptautiniu mastu. Vienu iš tokių koordinatorių yra Tarptautinė geodezijos ir geofizikos sąjunga (angl. International Union of Geodesy and Geophysics). Ji koordinuoja tarptautinį projektą: „European Geomagnetic Repeat Station Survey“, pagal kurį Europoje atliekami geomagnetinio lauko parametrų ir jų pokyčio tyrimai. Kadangi geomagnetinio lauko amžių variacijos yra lėtai vykstantis gamtinis procesas, kokybiškų tyrimų rezultatų sukaupia nepakankamai ir šiuo metu atliekamų kokybiškų periodinių matavimų rezultatai bus vertingi analizuojant geomagnetinio lauko ilgalaikį pokytį.

Bet kuriame Žemės taške geomagnetinį lauką nusako geomagnetinės indukcijos vektorius $\mathbf{F}$, dar vadinamas pilnuoju indukcijos vektoriumi bei jo dedamosios (1.1 pav.) (Wallace, H., 2003; Janowski, B., 1958). Šis vektorius išreiškia magnetinio lauko jėgos kryptį bei dydį. Vektoriaus $\mathbf{F}$ išskaidymui į dedamąsias pasirenkama stačiakampė koordinačių sistema, kurios pradžia sutapatinama su Žemės paviršiaus tašku O. Ašis x nukreipiama astronominio dienovidinio

kryptimi į šiaurę, y – horizonto plokštumoje į rytus. Trečioji z ašis sutampa su vertikale ir nukreipta žemyn.

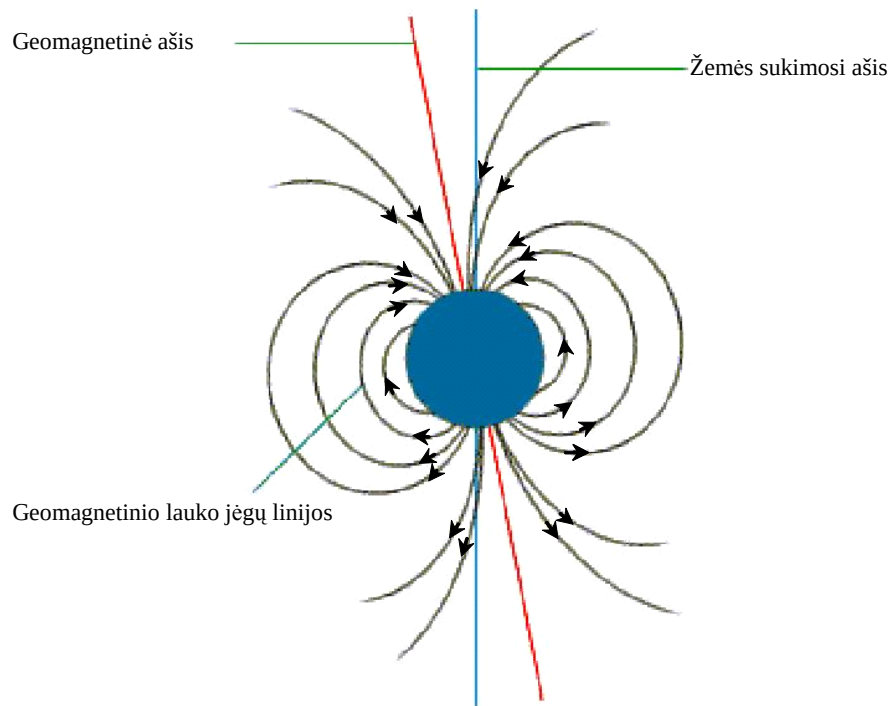


1.1 pav. Geomagnetinės indukcijos vektorius ir jo dedamosios

Dvisienis kampas D , tarp magnetinio ir astronominio dienovidinių plokštumų vadinamas deklinacija. Magnetinio dienovidinio plokštuma eina per stebėjimo vietos Žemės paviršiuje vertikale ir lygiagreti linijai jungiančiai Žemės magnetinius polius. Kampą kurį sudaro magnetinės indukcijos vektorius su horizontaliaja plokštuma yra vadinamas inklinacija ir žymimas raide I . Deklinacija D , inklinacija I bei dedamosios – horizontalioji H , vertikalioji Z , šiaurinė X ir rytinė Y yra geomagnetinės indukcijos komponentais, kuriuos galima laikyti vektoriaus F galinio taško koordinatėmis.

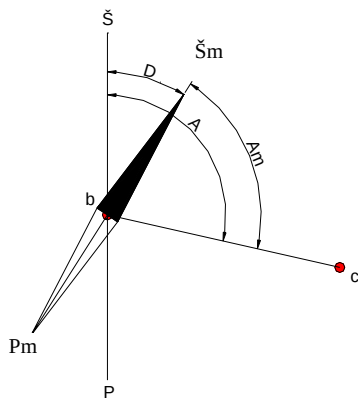
Geomagnetinio lauko jėgų linijos eina skleistine iš pietinio magnetinio poliaus ir sueina į šiaurinį magnetinį polį. Geomagnetinio lauko jėgų linijos pavaizduotos 1.2 paveiksle.

Geomagnetinio lauko dienovidinis nesutampa su astronominiu dienovidiniu. Nesutapimas įvairiose Žemės vietose skirtingas. Gali būti rytinis ir vakarinis magnetinio dienovidinio nuokrypis (magnetinis dienovidinis atitinkamai nukrypsta į dešinę ar kairę nuo astronominio dienovidinio). Rytinė deklinacija yra teigiama, vakarinė – neigiama. Ryšys tarp astronominio ir magnetinio azimuto pavaizduotas 1.3 paveiksle. Magnetinio dienovidinio nuokrypiai pavaizduoti 1.4 ir 1.5 paveiksluose.

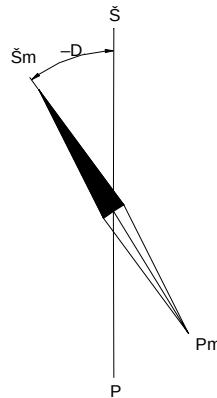


1.2 pav. Geomagnetinio lauko jėgų linijų schema

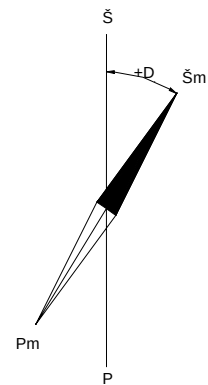
Inklinacijos I vertės yra teigiamos, kai vektorius F Žemės paviršiaus atžvilgiu nukreiptas žemyn (šiauriniame Žemės pusrutulyje) ir neigiamos, kai vektorius F Žemės paviršiaus atžvilgiu nukreiptas aukštyn (pietiniame Žemės pusrutulyje).



1.3 pav. Ryšys tarp astronominio ir magnetinio azimutų



1.4 pav. Vakarinė magnetinė deklinacija



1.5 pav. Rytinė magnetinė deklinacija

Visi septyni

geomagnetinio lauko parametrai tarpusavyje susiję. Išmatavus bent tris iš jų – kitų parametrų vertes galima apskaičiuoti pagal ryšio formules (Wallace, H., 2003):

$$H = F \cdot \cos I ; \quad (1.1)$$

$$Z = F \cdot \sin I = H \cdot \tan I ; \quad (1.2)$$

$$X = H \cdot \cos D ; \quad (1.3)$$

$$Y = H \cdot \sin D ; \quad (1.4)$$

$$X^2 + Y^2 = H^2 ; \quad (1.5)$$

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = H^2 + Z^2 = F^2 ; \quad (1.6)$$

$$\tan D = Y/X . \quad (1.7)$$

Geomagnetinės indukcijos matavimo vienetas SI sistemoje yra niutonas amperui metrui – $N/(A \cdot m)$ ir vadinamas *tesla* (T). Dar galima išreikšti Gausais (1 Gauss = 100,000 nT = 100,000 γ).

Geomagnetinio lauko parametrai naudojami geologijoje, ieškant naftos telkinių, naudingųjų iškasenų klodų. Magnetiniai bet kurio parametro anomalinių laukų žemėlapiai atspindi Žemės viršutinių sluoksnių geologinės sudėties įvairumą (Tsvetkov, Yu. P. 1996; An Tan, Zh., 1997). Magnetometrinė nuotrauka yra svarbi naudingųjų iškasenų paieškoms, ypatingai rūdinėmis savybėmis pasižymintiems kلودams ar telkiniams surasti. (Логачев, А. А., 1973; Инструкция по магниторазведке, 1981).

Geomagnetinio lauko parametrai reikalingi ir oro navigacijai. Pagal Tarptautinės civilinės aviacijos organizacijos (ICAO) reikalavimus, aeronavigaciniuose žemėlapiuose turi būti pateiktos deklinacijos vertės. Oro uostuose magnetinė deklinacija turi būti išmatuota 1° tikslumu (ICAO technical publications, 2002; Руководство по аэропортовым службам, 1983; Vaitkevičienė, J., 2003; Stankūnas, J., 2004).

Geodezijoje taškų padėtis dažniausiai nustatoma naudojant GPS matavimų metodą (Skeivalas, J. 1994, 1995, 1996 (a), 1996 (b), 2003). Kartais orientavimui naudojamas tradicinis kompasas ar busolė. Šiuo atveju būtina žinoti geomagnetinio dienovidinio nuokrypį nuo astronominio dienovidinio – geomagnetinę deklinaciją. Jos vertė dažniausiai pateikiama topografinio žemėlapių lapo viduriui.

Ilgalaikiai geomagnetinio lauko parametrų stebėjimai ir jų rezultatų analizavimas su kitais tyrimų duomenimis pvz. geologinėmis struktūromis teikia išsamesnę informaciją apie Žemės gelmių struktūrą bei vykstančius geodinaminius ir geofizinius procesus (Sas-Uhrynowski, A., 2001; Jankowski, J., 2004; Zakarevičius, A., 1994, 2003, 2004; Šliaupa, S., 2005; Česnulevičius, A., 1998, 1999, 2001; Paršeliūnas, E., 2005; 2006). Tyrimais bandoma nustatyti geomagnetinio lauko atsiradimo priežastis ir ryšį su fizikiniais reiškiniais, kurie vyksta Žemės gelmėse bei ją supančioje aplinkoje. Manoma, kad 95% išmatuoto Žemės paviršiuje geomagnetinio lauko

stiprumo sukelia Žemės viduje vykstantys procesai (Wallace, H., 2003; Janowski, B., 1958; Muller, D., 2002; Basalykas, A., 1999).

Išmatuoto geomagnetinio lauko matematinė analizė leidžia daryti išvadą, kad Žemės magnetinis laukas yra įvairių laukų suma (Janowski, B., 1958; Яновский, Б. М., 1978; Яновский, Б. М., 1964). Geomagnetinės indukcijos vektorių F galima išreikšti penkių laukų suma:

$$F = F_o + F_m + F_a + F_e + \delta F, \quad (1.8)$$

čia F_o – magnetinis laukas, kurį sudaro vienalytis Žemės plutos įmagnetinimas; F_m – magnetinis laukas, kurio priežastys yra Žemės gelmėse ir jį sukelia Žemės nevienalytiškumas; F_a – anomalinis geomagnetinis laukas; F_e – dėl išorinių priežasčių priklausęs magnetinis laukas; δF – variacinis laukas, kurio priežastys yra Žemės išorėje.

Žemės magnetinio lauko parametrų verčių nuokrypis tam tikroje teritorijoje nuo normalių verčių, kurios apibūdina tolygiai įmagnetėjusią Žemę, vadinama geomagnetine anomalija (Инструкция по магниторазведке, 1981; Логачев, А. А., 2000; Pecherskii, D. M., 2000). Anomalijos pagal apimamos teritorijos dydį skirstomas į žemyninę (10–100 tūkst. km²), regioninę (1–10 tūkst. km²) ir vietinę (nuo kelių iki kelių šimtų kvadratinų kilometrų). Žemyninės magnetinės anomalijas (pvz. Sibiro) sukelia Žemės branduolio medžiagos judėjimas, regionines (pvz. Rytų Europos platformos) – Žemės plutos (kristalinio pagrindo) sandaros ypatumai, vietines – Žemės plutos viršutinių sluoksnių nevienalytė sandara ar uolienų įmagnetėjimo ypatumai. Dažniausiai vietinės geomagnetinės anomalijos susijusios su geležies ar kitų feromagnetinių rūdų telkiniais, pvz. Kursko, Lietuvoje – Tumasonių anomalija.

Vienalyčio Žemės plutos įmagnetinimo, kontinentinio bei išorinio laukų suma yra vadinama normaliuoju lauku, kuris išreiškiamas tokia formule:

$$F_n = F_o + F_m + F_e. \quad (1.9)$$

Atmetus variacinį lauką, išmatuotas laukas bus normaliojo ir anomaliojo laukų suma:

$$F = F_n + F_a. \quad (1.10)$$

Atliekant mokslinius tyrimus ir analizuojant jų duomenis siekiama paaiškinti pastovaus geomagnetinio lauko kilmę. Pagrindinis klausimas, su kuriuo susiduria daugelis mokslininkų,

paaiškinti, kas sukelia magnetinius reiškinius Žemės paviršiuje. Geomagnetinio lauko kitimas taip pat glaudžiai susijęs su geomagnetinio lauko kilme. Manoma, kad Žemė nėra paprastas magnetas, tačiau elektromagnetas – elektros srovės plaukiančios jos metaliniame branduolyje sukuria magnetinį lauką (Wallace, H., 2003; Janowski, B., 1958; Яновский, Б. М., 1978; Яновский, Б. М., 1964; Muller, D., 2002). Tai susikūrė nuo pat Žemės susidarymo, kai gravitacinės jėgos sukaupė išmėtytą erdvėje materiją į vis mažesnę ir tankesnę ertmę. Sunkieji elementai susitelkė centre. Taip susidaręs branduolys susideda iš geležies ir nikelio metalų. Vidinė branduolio dalis yra kietos būsenos, išorėje skystos. Kadangi temperatūra gilyn didėja, labiau įkaitintas skystasis metalas kyla į viršų. Konvenciniai judesiai, sukelti dėl skystojo įkaitusio metalo judėjimo, vykstantys apie 10 km per metus greičiu bei sukūrinės srovės sudaro savotišką generatorių, kuris sukuria ir palaiko magnetinį lauką (Buffet, B., 2000; Agris, A., 2001; Reshetnyak, M. Yu, 1996; Romashchenko, Yu. A. A., 1996; Zinchenko, B. G., 1996; (a) Anufriev, A. P., 1997; (b) Anufriev, A. P., 1997; Sokoloff, D. D., 2004). Pagal dinamo teoriją, judantis laidus skystis gali sukurti ir pats palaikyti savuosius magnetinius laukus (Buffet, B., 2000; Agris, A., 2001; Reshetnyak, M. Yu, 1996, Romashchenko, Yu. A. A., 1996; Zinchenko, B. G., 1996; (a) Anufriev, A. P., 1997; (b) Anufriev, A. P., 1997; Sokoloff, D. D., 2004).

Žemės magnetinio lauko parametrų stebėjimai rodo, kad jie nepertraukiamai kinta. Žemės magnetinio lauko variacijos pagal jų kitimo greitį skirstomos į dvi rūšis: greitai kintančios – vadinamos periodinės bei lėtai kintančios – vadinamos amžių variacijomis (Heller, R., 2002; (a) Nachasova, I. E., 1997; (b) Nachasova I. E., 1997). Šios variacijos skiriasi ne tik pobūdžiu bet ir kilme (Janowski, B., 1958; Labrosse, S., 2003; Heller, R., 2002; Bondar, T. N., 2003). Greitai kintančių variacijų priežastis yra elektros srovės aukštutiniuose atmosferos sluoksniuose, magnetosferoje ((Heller, R., 2002; Richmond, A., 2002; Anghel, M., 1980; Kiselev, B. V., 1997). Čia magnetinį lauką labiausiai įtakoja Saulės vėjas (Andreescu, M., 1988; Rivin, Yu. R., 1997; Rivin Yu., 1998; Eselevich, V. G., 1996; Nikolskaya, K. I., 1998). Trumpalaikės periodinės variacijos, dažnai vadinamos Saulės variacijomis – tai geomagnetinio lauko parametrų periodiniai pakitimai, kurių periodas yra lygus Saulės paros trukmei (Rivin, Yu. R., 1996). Tuo tarpu amžių pokyčius sukelia procesai, vykstantys Žemės gelmėse.

Jau 1946 m. J. D. Kalininas įrodė, kad pagrindinė geomagnetinio lauko pokyčio priežastis yra Žemės viduje vykstantys procesai ir tik vieną dešimtadalį tų pokyčių sukelia išoriniai šaltiniai. Diskutuotinu aspektu lieka vidinių procesų, sukeliančių geomagnetinio lauko pokyčius, gylio nustatymas. Kai kurie tyrinėtojai mano, kad gylis siekia iki pusės Žemės spindulio, kitų nuomone, neviršija viršutinio Žemės rutulio sluoksnio. Todėl geomagnetinio lauko pokyčių

teoriją galima suskirstyti į dvi: “gilumines” ir “paviršines” (Яновский, Б. М., 1978). Už giluminių amžių variacijų priežastis pasisako McNish, Elsasser, Bullard bei Kalininas.

A. McNish vertikaliosios dedamosios lauko kitimą pavaizdavo kaip 13 vienodo magnetinio momento dipolių, išdėstytų įvairiuose Žemės rutulio taškuose. Dipolių gylis priimtas lygus pusei Žemės spindulio. Apskaičiuotos kitimų vertės gana gerai atitiko stebėjimais nustatytas kitimų vertes.

E. Bullard – pateikė dipolių amžių variacijų hipotezę. Keli dipoliai esantys Žemės viduje nuolat juda. Skaičiavimais įrodė, kad tokie dipoliai sukelia geomagnetinį lauką ir jo kitimą Žemės paviršiuje. Kiti tyrėjai taip pat geomagnetinį lauką aprašė kaip atitinkamai išsidėsčiusių ir orientuotų dipolių visumą (Kasyanenko, L. G. ir kt., 2002).

J. D. Kalininas geomagnetinio lauko kitimą sieja su gelminiais procesais. Jis savo hipotezę sieja su Žemės gelmėse sudaromu dipolio lauku, kurio veikimas yra sutapatinamas su sūkurinėmis srovėmis patalpintomis tam tikrame gylyje. Tas gylis siekia nuo 0,52 iki 0,95 Žemės spindulio.

W. M. Elsasser geomagnetinio lauko pokytį sieja su branduolyje vykstančiais konvekciniais judesiais. Šių judesių netaisyklingumas sukelia nevienodą pokytį.

Kitų tyrinėtojų nuomone amžių variacijas sukelia šie veiksniai (Яновский, Б. М., 1978):

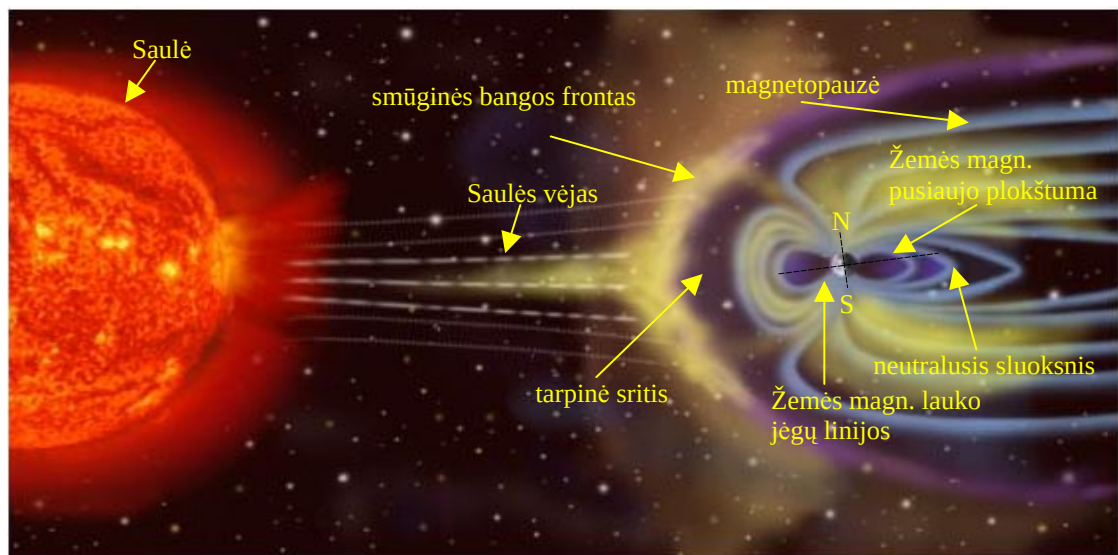
1. Žemės branduolys, skirtingu greičiu besisukantis tvirtos plutos bei mantijos atžvilgiu. Šios variacijos pasireiškia visame Žemės rutulyje;

2. Konvekciniai sūkuriai viršutinėje branduolio dalyje ties Žemės mantijos riba. Šie sūkuriai apima dešimtis milijonų kvadratinų kilometrų plotą ir nuo jų indukcijos pasikeitimo ir persistūmimo požeminiame paviršiuje priklauso amžių variacijos;

3. Tektoniniai, geoterminiai ir geocheminiai procesai Žemės plutoje ir jos viršutinėje mantijoje. Šių procesų sukeltos amžių variacijos yra nedidelės, lyginant jas su pirmųjų dviejų priežasčių sukeliamomis variacijomis. Ryškiau jos pasireiškia vulkaniniuose ir seismiškai aktyviuose regionuose.

Amžių variacijoms nustatyti reikalingi ilgalaikiai sistemingi geomagnetinio lauko parametrų stebėjimai. Jeigu pasirinktą geomagnetinio lauko parametą nepertraukiamai stebėsime ištikus metus, vėliau apskaičiuosime to parametro metų vidutinę vertę, tai pagal statistinius dėsnius ši vertė bus nepriklausoma nuo geomagnetinio lauko trumpalaikių periodinių trikdžių. Tokiu būdu nustačius kelių metų vidutinės metinės parametro vertes apskaičiuojamos amžių variacijos. Paskutinių metų amžių variacijų tyrimai rodo, kad jos nėra pasaulinio pobūdžio, t. y. nėra vienodos visam Žemės rutuliui, tačiau susietos su didesnėmis teritorijomis.

Kintamasis laukas iš esmės yra ne tik magnetinis, bet ir elektrinis, todėl vadinamas Žemės elektromagnetiniu lauku (Andreescu, M., 1988). Magnetosfera yra erdvės sritis apie Žemę, kurioje jaučiamas Žemės magnetinis laukas. Ji nesimetriška, nes ją veikia Saulės vėjas (Richmond, A., 2002; Anghel, M., 1980; Rivin, Yu., 1998; Nikol'skaya, K. I. ir kt., 1998). Saulės vėjo poveikis Žemės magnetiniam laukui pavaizduotas 1.6 paveiksle. Jo veikiamą magnetosferą ištįsta tarsi krintantis lietaus lašas (<http://www.geomag.bgs.ac.uk/earthmag.html>). Saulės vėjo elektringųjų dalelių srautui susidūrus su Žemės magnetiniu lauku, prieš dalelių srautą susidaro smūginė banga. Toliau už fronto yra turbulencijos sritis ir magnetopauzė – magnetinio lauko išorinė riba. Saulės vėjo elektringosios dalelės įlėkusios į aukštutinę atmosferą, šiek tiek pakeičia priežeminį magnetinį lauką. Kai kurie pokyčiai, pavyzdžiui, paros svyravimai, būna reguliarūs, o kiti (magnetinės audros) nereguliarūs (Baishev, D. G. ir kt., 1997)



1.6 pav. Saulės vėjas ir Žemės magnetosfera

Manoma, kad geomagnetinio lauko periodinius kitimus sukelia šie procesai (Janowski, B., 1958; Rivin, Yu., 1998):

1. Uždaroje ir nejudančioje atmosferos sūkurinių elektros srovių erdvėje sukasi Žemės rutulys. Atmosferoje susidaręs savotiško generatoriaus efektas sukuria papildomą geomagnetinį lauką. Dėl Žemės sukimosi apie ašį periodiškumo, periodiškai kinta ir geomagnetinis laukas;
2. Manoma, kad periodinius paros geomagnetinio lauko kitimus sukelia sukūrinės elektrinės srovės esančios jonosferos sluoksnyje. Pagal radijo bangų atspindėjimo matavimus nustatyta, kad šis sluoksnis yra 100–120 km aukštyje.

Periodiniai geomagnetinio lauko pokyčiai charakteringi tuo, kad jų eiga priklauso nuo vietinio laiko, geodezinės platumos, metų laiko bei Saulės ciklo (Rivin, Yu., 1998).

Be periodinių paros pokyčių dar išskiriami pokyčiai, kurie neturi periodiškumo. Tokie neperiodiniai geomagnetinio lauko pokyčiai vadinami geomagnetinėmis audromis (Яновский, Б. М., 1978). Geomagnetinės audros išskiriamos kaip vienas iš Žemės magnetinį lauką trikdančių reiškinių (Gorbachev, L. P., 1998). Jas sukelia Saulės vėjo sąveika su Žemės magnetosferoje ir jonosferoje esančiomis elektringosiomis dalelėmis. Magnetinės audros trunka nuo kelių valandų iki kelių parų. Pagal jų stiprumą, trukmę ir pasiskirstymą erdvėje magnetinės audros skirstomos į keturias grupes:

1. Didelio stiprumo magnetinės audros. Jos pasireiškia visoje Žemėje vienu metu ir turi tendenciją pasikartoti kas 27 paras. Keliais procentais valandai, ar net kelioms paroms, pakinta geomagnetinio lauko stiprumas ir kryptis. Magnetinės audros stipriausios, artėjant Saulės aktyvumo 11 metų ciklo maksimumui (Lotova, N. A. ir kt., 1998). Magnetinė audra suintensyvina poliarines pašvaistes, sukelia pokyčius jonosferoje, pablogina trumpabangį radijo ryšį (Gelberg, M. G. ir kt., 2000). Jos metu ikaista aukštieji atmosferos sluoksniai, todėl protosferoje susidaro ciklonai. Geomagnetinė indukcija magnetinės audros metu gali pakisti iki tūkstančio nanoteslų;

2. Vietinio pobūdžio trikdžiai, pasireiškiantys tik tam tikrose teritorijose ir dažniausia pasireiškia poliariniuose regionuose. Trikdžiai gali trukti vieną ar keletą valandų o jų stiprumas gali pakisti iki šimto nanoteslų;

3. Sūkuriniai trikdžiai – magnetinių observatorijų magnetogramose pastebimi kaip iškilimų ir įdubimų formą turintys magnetinio lauko pakitimai;

4. Pulsaciniai trikdžiai – sinusoidiniai geomagnetinio lauko svyravimai. Jų svyravimo amplitudė siekia iki kelių nanoteslų, periodas iki kelių minučių. Tokie trikdžiai gali pasireikšti tiek visoje Žemėje tiek atskirose vietovėse.

Geomagnetinio lauko pokytis taip pat siejamas su Žemės magnetinių polių judėjimu. Geomagnetiniu poliumi laikomas geomagnetinio lauko ašies sankirtos taškas su Žemės paviršiumi. Žemės magnetinių polių ašis į Žemės sukimosi ašį pakrypusi apie $11,5^\circ$ kampą (Dehant V., 2002). Polių judėjimas, kaip ir geomagnetinis laukas susijęs yra su Žemės gelminiais procesais. Šiaurinis magnetinis polius tai punktas, kuriame kompas rodyklės šiaurinis galas stačiu kampu nukrypsta nuo horizontaliosios padėties žemyn (inklinacija lygi 90°). Pietinis polius, tai punktas, kuriame kompas rodyklės šiaurinis galas stačiu kampu nukrypsta nuo horizontaliosios padėties aukštyn. Šiaurinis geomagnetinis polius yra Arktikos regione, apie 1600 km nuo šiaurinio geografinio poliaus (<http://www.albertaclassic.com/nav.php>). Pietinis geomagnetinis polius yra Antarktidoje, apie 2400 km nuo pietinio geografinio poliaus. Tiek geomagnetiniai tiek geografiniai poliai pastoviai keičia savo padėtį. 2001 metais nustatyta, kad

šiaurinis geomagnetinis polius juda apie 40 km per metus greičiu šiaurės – vakarų kryptimi (<http://science.nasa.gov>). Geomagnetinio poliaus judėjimo kelias nuo 1831 iki 2001 metų pavaizduotas 1.7 paveiksle. Per šį laikotarpį polius pasislinko 1100 km.



1.7 pav. Ilgalaikis geomagnetinio poliaus judėjimo kelias.

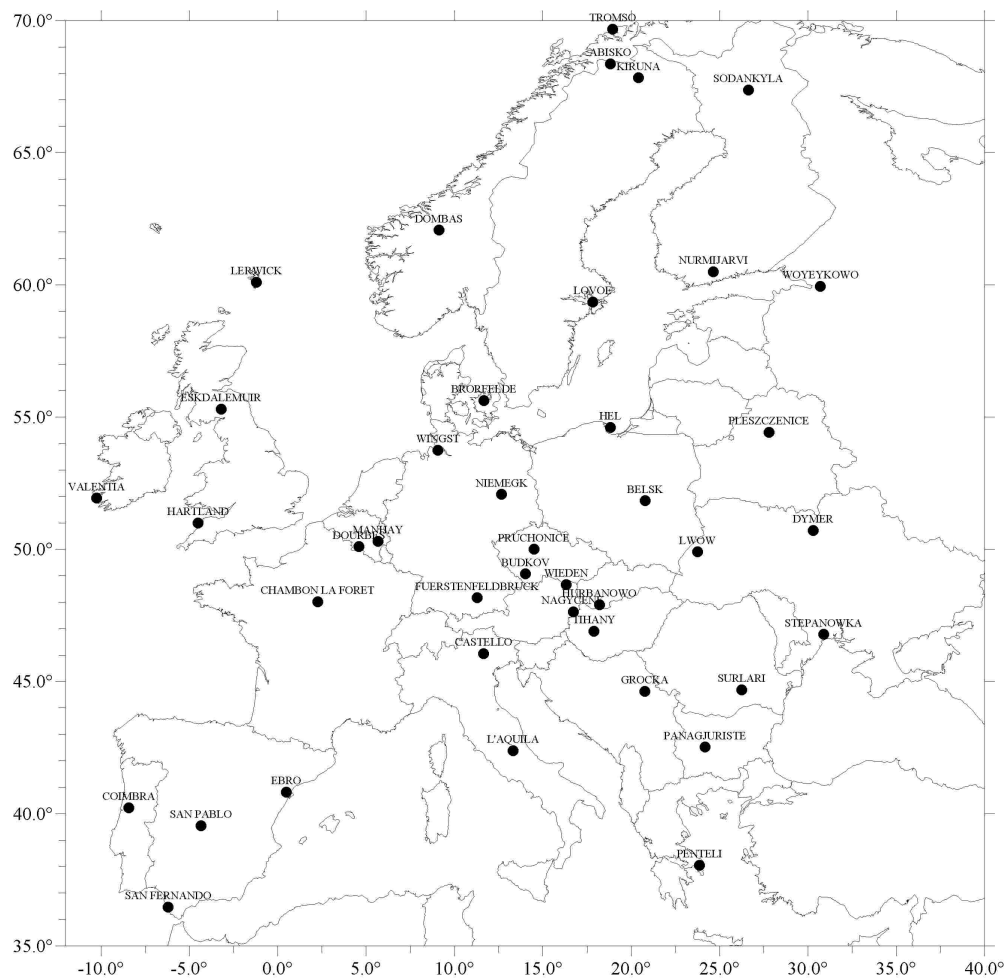
Pagrindinis geomagnetinio lauko tyrimo būdas yra betarpiškai išmatuoti geomagnetinio lauko parametrus ir nustatyti jų pasikeitimą laike. Pagal tyrimo vietą išskiriami šie geomagnetinio lauko tyrimo būdai:

1. Antžeminiai matavimai;
2. Matavimai jūrose ir vandenynuose;
3. Aeromagnetiniai matavimai;
4. Palydoviniai matavimai.

Antžeminiams matavimams priskiriami matavimai geomagnetinėse observatorijose, amžių variacijų tyrimo punktuose, matavimai sudarant geomagnetinę nuotrauką bei atliekant geomagnetinę žvalgybą.

Ištisiniai geomagnetinio lauko parametrų matavimai atliekami geomagnetinėse observatorijose. Geomagnetinių observatorių paskirtis yra nuolat registruoti geomagnetinio lauko parametrus, stebėti geomagnetinio lauko amžių variacijas, tirti Žemės viduje vykstančius

procesus, kurie sukuria geomagnetinį lauką, taip pat kalibruoti geomagnetinio lauko matavimuose naudojamus prietaisus. Observatorių vietos parenkamos magnetiškai švariuose plotuose, kuriuose nėra geomagnetinį lauką trikdančių šaltinių poveikio (Rasson J., 2001). Jos įrengiamos atokiau nuo elektrinių, geležinkelų ar kitų geomagnetinį lauką trikdančių objektų ar statinių. Pastatui, kuriame įrengiama observatorija keliama ypatingi reikalavimai. Pastato konstrukcijos turi būti pagamintos iš nemagnetinių medžiagų. Dažniausiai observatorijos įrengiamos mediniuose pastatuose (Rasson, J. L., 2001; Sas-Uhrynowski, A., 1980; Sas-Uhrynowski, A., 1990). Europos geomagnetinių observatorių tinklas pavaizduotas 1.8 paveiksle.



1.8 pav. Europos geomagnetinių observatorių tinklas

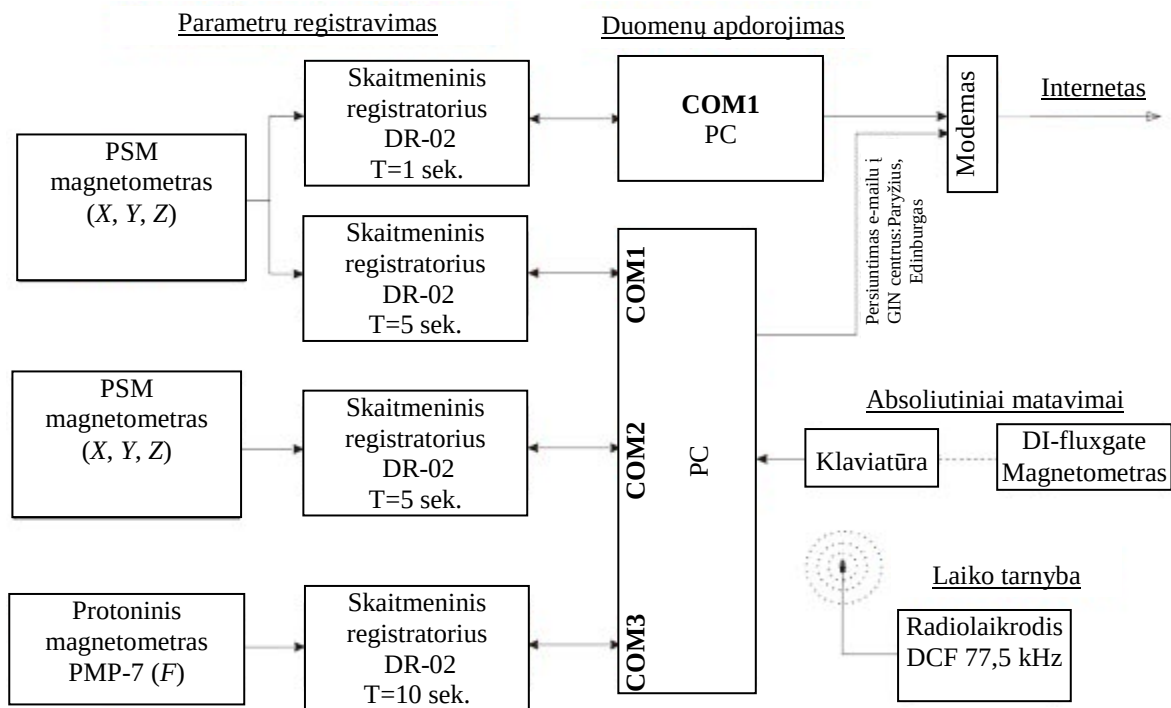
Nenutrūkstami parametrų matavimai leidžia įvertinti geomagnetinio lauko amžių variacijas. Ilgalaikiais matavimais siekiama maksimaliai įvertinti išorinių šaltinių poveikį Žemės magnetiniam laukui ir kuo tiksliau nustatyti Žemės vidaus sukiamą geomagnetinį lauką.

Geomagnetinėse observatorijose naudojami tokie pagrindiniai prietaisai (Belsko (Belsk, Lenkija) observatorijos pavyzdys) (Reda, J., 2000; Marianiuk, J., 2001; Czyszek, A., 2002):

- 2 PSM magnetometrai matuojantys X , Y ir Z parametrų vertes;

- Skaitmeniniai registratoriai *DR-02*;
- Magnetometras *DI-Fluxgate* ir protoninis magnetometras *PMP-7* – skirtas absoliutiniams matavimams;
- Radiolaikrodis *DCF-77*;
- *IBM-PC* tipo kompiuteris ir modemas.

Observatorijos duomenų kaupimo ir apdorojimo schema pavaizduota 1.9 paveiksle. Schema sudaryta Belsko magnetinės observatorijos pavyzdžiu.



1.9. pav. Geomagnetinės observatorijos duomenų kaupimo ir apdorojimo schema

Du prietaisų rinkiniai registruojantys X , Y ir Z parametrus užtikrina nenutrūkstamą duomenų kaupimą. Absoliutiniai matavimai kuriais nustatoma PSM magnetometrų atskaitymo bazės vertė daromi *DI-Fluxgate* ir protoninio magnetometrų pagalba. Ant specialiai įrengto stulpo magnetometru *DI-Fluxgate* matuojama deklinacija ir inklinacija. Protoniniu magnetometru *PMP-7* matuojama magnetinė indukcija F . Absoliutiniai matavimai atliekami 6 kartus per savaitę. Pagal išmatuotas D , I ir F parametrų vertes panaudojus ryšio formules apskaičiuojamos X , Y ir Z parametrų vertės. Jos sulyginamos su užregistruotomis tuo pačiu momentu PSM magnetometrų vertėmis ir taip nustatoma magnetometrų bazių vertės.

Duomenys iš skaitmeninių registratorių *DR-02* kartą per parą automatiškai persiunčiami į kompiuterį. Tarptautinės geomagnetizmo ir oreivystės asociacijos *IAGA* (angl. International Association of Geomagnetism and Aeronomy) siūlymu duomenys pertvarkomi į *IMFV1.22* tekstinį formatą, kurį naudoja *Intermagnet* (angl. International Real-Time Magnetic Observatory

Network) tinklas. *Intermagnet* tinklui priklausančios observatorijos savo duomenis siunčia į atitinkamus *GINS* centrus. Skaičiuojant vidutines minutines parametrų vertes, 5 sekundžių registravimo intervalo duomenys *Intermagnet* pasiūlymu filtruojami Gauso filtru (vidurkinama). Vidutinės minutinės X , Y , Z ir F parametrų vertės *IMFV1.22* duomenų formatu pateikiamos pasauliniu UT laiku (U.S. Geological Survey, 2004).

Matuotų parametrų duomenys kaupiami ne tik skaitmeninėje formoje, bet ir grafinėje – išbraižant magnetogramas. Magnetogramose kreivių pavidalu vaizduojamas atskirų parametrų kitimas nuo pastoviosios bazės.

Geomagnetinėse observatorijose duomenys dažniausiai redukuojami į metų vidurį. Observatorijoje, kaip ir bet kuriame Žemės paviršiaus punkte, geomagnetinio lauko parametro E (deklinacijos D , inklinacijos I , geomagnetinės indukcijos F ir kt.) vertė išreiškiama kaip laiko T funkcija ir aprašoma jo pokyčiu dėl išorinio (priežastis už Žemės ribų) ir vidinio (priežastis Žemės viduje) laukų poveikio:

$$E(T) = f_{is}(T) + f_v(T), \quad (1.11)$$

čia funkcijos $f_{is}(T)$ ir $f_v(T)$ rodo parametro E kitimų dėl išorinio ir vidinio laukų poveikio.

Geomagnetinio lauko parametrų pokyčiai, kuriuos sukelia vidinis Žemės laukas, vyksta lėtai. Greitus geomagnetinio lauko parametrų kitimus labiausiai įtakoja Saulė. Parametro amžių variacija yra lygi parametro prieaugiui dėl vidinio lauko per tam tikrą laiko tarpą, ne trumpesnę kaip vieneri metai. Parametro amžių variacijai nustatyti būtina eliminuoti išorinio lauko poveikį. Magnetinėje observatorijoje tai atliekama skaičiuojant visų metų verčių vidurkį. Vidutinė metinė geomagnetinio lauko parametro E vertė $E(O, t_{vid.})$ skaičiuojama pagal formulę:

$$E(O, t_{vid.}) = \frac{1}{k-p} \left[\int_p^k f_{is}(T) dT + \int_p^k f_v(T) dT \right] + E_B, \quad (1.12)$$

čia E_B variometro, fiksuojančio parametro E kitimą, bazė; $p-k$ – tiriamo laikotarpio intervalas.

Išorinio lauko poveikis per metus kinta cikliška, todėl galima priimti, kad:

$$\int_p^k f_{is}(T) dT = 0. \quad (1.13)$$

Taigi parametro E , tirto panaudojant vidutines metines vertes, prieaugis nuo vienos epochos iki kitos bus lygus vidinio geomagnetinio lauko parametro prieaugiui (parametro E amžių variacijai).

Praktiškai daroma taip: geomagnetinio lauko parametrai geomagnetinėje observatorijoje matuojami kas 5 sekundes, iš matavimų skaičiuojamos vidutinės minutinės, vėliau vidutinės valandinės, paros, mėnesio, o galiausiai metų vidutinės geomagnetinio lauko parametrų vertės.

Atliekant matavimus svarbu, kad observatorijų prietaisų standartai būtų vienodi, t.y. išmatuotų atskirose observatorijose geomagnetinio lauko parametrų verčių skirtumai būtų lygūs realaus geomagnetinio lauko parametrų observatorijose skirtumams. Europos observatorijų prietaisų standartų tyrimai parodė, kad jie nėra vienodi ir laike kinta. Prietaisų standartų skirtumų žinojimas leidžia pataisyti observatorijų duomenis ir rasti realius geomagnetinio lauko skirtumus (Sas-Uhrynowski, A., 1980; Sas-Uhrynowski, A., 1990). Standartų suvienodinimas yra labai svarbus, nes redukuojant duomenis dviejų kaimyninių observatorijų atžvilgiu gali gautis neleistini skirtumai.

Geomagnetinio lauko pažinimui svarbią vietą užima geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimai (Chernova, T. A., 1998; Kasyanenko, L. G., 1998; Zoltowski, A., 1962; Sas-Uhrynowski, A., 1977; Sas-Uhrynowski, A., 2000; Kaparaev, Г. И., 1991; Welker, E., 1993; Zoltowski, A., 1973). Vietovėje tolygiai įtvirtintuose specialios konstrukcijos punktuose (atstumas tarp jų apie 150 km), kuriuose periodiškai, dažniausiai kas 2–4 metai, išmatuojami geomagnetinio lauko parametrai. Daugelyje vakarų Europos šalių: Vokietijoje, Lenkijoje, Rumunijoje, Prancūzijoje šie tyrimai vykdomi daugiau kaip 50 metų, sukaupta ne mažai matavimų medžiagos. Tokių matavimų tikslas – sekti geomagnetinio lauko amžių (ilgalaikius) pokyčius. Šie matavimai naudojami geomagnetinio lauko modeliavimui, geomagnetinių nuotraukų bei duomenų atnaujinimui.

Atlikus geomagnetinio lauko matavimus amžių variacijų punktuose, matavimo duomenys redukuojami į metų vidurį, pasirinktos magnetinės observatorijos atžvilgiu (Sas-Uhrynowski, A., 1977). Redukavimui reikalingi ištisiniai geomagnetinio lauko parametrų matavimai, kurie atliekami geomagnetinėse observatorijose. Matavimo duomenų redukavimui bei įvertinant geomagnetinio lauko amžių variacijas būtina įvertinti kitus trumpalaikius geomagnetinio lauko pokyčio ypatumus.

Tikrą perversmą geomagnetinio lauko parametrų matavimams padarė naujų prietaisų panaudojimas. Tiek geomagnetinėse observatorijose, tiek amžių variacijų tyrimo punktuose dažniausiai matuojama *DI-Fluxgate* ir protoniniais magnetometrais (Sas-Uhrynowski, A., 1968;

Operation and maintenance manual for Mag-01 Fluxgate Declinometer/Inclinometer, 1989). Jais nesudėtingai išmatuojamos D , I bei F parametrų vertės.

Sudarant geomagnetines nuotraukas tam tikroje teritorijoje matuojami geomagnetinio lauko parametrai geomagnetinio lauko žemėlapiams sudaryti (Инструкция по магниторазведке, 1981; Лорачев, А. А., 2000). Geomagnetinė nuotrauka būna regioninė arba bendroji (mastelis 1:100 000–1:1 000 000 ir smulkesnis) ir detalioji (mastelis $> 1:100 000$). Kuo smulkesnis mastelis, tuo retesnis matavimo taškų tinklas. Regioninė geomagnetinė nuotrauka daroma didelėje teritorijoje. Žemėlapiai sudaryti pagal geomagnetinę nuotrauką naudojami oro ir jūrų navigacijai, didelėms geomagnetinėms anomalijoms rasti, geomagnetinio lauko kitimui tirti. Regioninei geomagnetinei nuotraukai – dažniausia matuojama horizontalioji ir vertikalioji dedamosios. Detaliosios geomagnetinės nuotraukos duomenys naudojami geologiniam kartografavimui ir naudingųjų iškasenų paieškoms. Atstumai tarp matavimo taškų priklauso nuo nuotraukos detalumo (būna nuo 1 iki 1000 m). Geomagnetiniam kartografavimui naudojami įvairių tipų magnetometrai, patalpinti Žemės palydovuose, lėktuvuose, nemagnetiniuose laivuose, automobiliuose arba nešiojamieji.

Išmatuotų geomagnetinio lauko parametrų pasiskirstymas Žemės paviršiuje pateikiamas grafiškai išbraižant izolinių žemėlapius, t.y. kreives, jungiančias žemėlapyje geomagnetinio lauko parametrus su vienodomis vertėmis. Svarbiausios izolinijos tai:

- Izogonos – linijos jungiančios punktus su vienodomis deklinacijos vertėmis;
- Izoklinos – linijos jungiančios punktus su vienodomis inklinacijos vertėmis;
- Horizontalinės izodinamos – linijos jungiančios tuos punktus, kur yra vienoda H vertė;
- Vertikalinės izodinamos – linijos jungiančios punktus su vienodomis Z vertėmis;
- Izodinamos – linijos jungiančios vienodus geomagnetinės indukcijos F punktus;
- Izoanomalės – linijos jungiančios punktus, kurių geomagnetiniai parametrai turi vienodus atsilenkimus nuo tam tikros nustatytos vertės.

Kadangi geomagnetinio lauko parametrų vertės nepastovios ir laikui bėgant nuolat kinta, magnetiniai žemėlapiai sudaromi tam tikro laiko momentui. Dažniausiai parenkamas metų vidurys, t. y. liepos 1 diena 0^h00^m pasauliniu UT (angl. Universal time) laiku ir tas laiko momentas vadinamas metų vidurio epocha. Nuskaitytos iš žemėlapių geomagnetinio lauko parametrų vertės, atitinkančios tam tikrą epochą, gali būti perskaičiuotos į kitą epochą. Perskaičiavimams naudojama žemėlapiuose pateikta papildoma informacija apie geomagnetinio lauko pokytį laike.

Magnetines anomalijas tiria geomagnetinė žvalgyba, kuri pagrįsta uolienų magnetinių savybių nustatymu. Geomagnetinės žvalgybos metu geomagnetinio lauko parametrai panašiai kaip darant geomagnetinę nuotrauką, matuojami Žemės paviršiuje, ore, jūroje ir vandenyne. Matuojama įvairių tipų magnetometrais, aeromagnetometrais bei protoniniais magnetometrais. Dažniausiai matuojama geomagnetinė indukcija ir horizontalioji bei vertikalioji dedamosios. Pagal matavimo rezultatus sudaromi geomagnetinio lauko anomalijų žemėlapiai ir grafikai. Geomagnetine žvalgyba naudojama geologiniam kartografavimui, geležies ir kitų metalų bei nemetalinių rūdų paieškoms. Geomagnetinė žvalgyba dažnai daroma kartu su gravimetrine arba kitokia geofizine žvalgyba.

Geomagnetiniai matavimai ant vandens paviršiaus tiek metodika tiek naudojama aparatūra ir duomenų apdorojimu skiriasi nuo antžeminių matavimų (Heitzler, J., 2003; Uhrynowski, A., 1987; Sas–Uhrynowski, A., 2001, Korotaev, S. M., 1996, Fonarev, G. A., 1997; Roze, E. N. ir kt., 1997; Fonarev, G. A. ir kt., 2002). Atliekant matavimus susiduriama su keletą problemų, kurios veikia matavimo duomenis. Viena iš jų – pačio laivo sukelti magnetiniai laukai, kurie iškraipo geomagnetinius duomenis. Laivo konstrukciją sudarančios medžiagos, variklis, transformatorius ir kt. įrenginiai sukelia savuosius magnetinius laukus, kurie kinta keičiantis laivo kryptčiai bei Žemės magnetiniam laukui. Geomagnetiniams matavimams jūroje naudojami nemagnetiniai (medinės konstrukcijos) laivai, kuriuose nebūna magnetinių medžiagų, kaip geležis, plienas, nikelis ir kt., kurios veikdamos matavimo prietaisus galėtų iškreipti gaunamus rezultatus. Dažnai taip pat naudojama medinė valtis, kuri su prietaisų komplektu tempiama paskui laivą 200–300 m atstumu nuo jo. Prietaisas užduotu laiko intervalu automatiškai matuoja geomagnetinio lauko parametrus, dažniausiai D , H , Z ir F – priklausomai nuo turimos aparatūros. Matavimai atliekami profilių metodu, t. y. laivas plaukia tam tikrais profiliais, matuojami geomagnetinio lauko parametrai, fiksuojamas matavimo momentas bei laivo padėtis. Amžių variacijoms nustatyti matavimus būtina atlikti tose pačiose vietose kelis kartus, todėl naudojamas laivo judėjimo kryptčių sankirtos metodas, kada laivas plaukia nustatytomis kryptimis, kurios susikerta viename taške. Toks kryptčių sankirtų taškas vandenynuose priimtas vadinti amžių variacijų punktu ((a) Sas–Uhrynowski, A. 1990). Žemyne dažniausiai įrengiamos variacinės stotys, kurios per visą matavimo laiką nuolat registruoja geomagnetinio lauko parametrų kitimą. Matavimo duomenų apdorojimas yra taip pat specifinis, kadangi matavimai vyksta nuolat judančiame laive, jį veikia pašaliniai trikdantys šaltiniai kaip vandenyje indukuoti elektromagnetiniai laukai. Šios įtakos neįmanoma atsieti nuo matavimų ir traktuojama kaip sisteminė klaida.

Aeromagnetiniais matavimais dažniausiai nustatoma geomagnetinio lauko indukcija (Инструкция по магниторазведке, 1981). Kiti geomagnetinio lauko parametrai nematuojami, kadangi judančiame lėktuve sunku orientuoti matavimo aparatūrą geomagnetinio dienovidinio atžvilgiu. Aeromagnetiniai matavimai tikslingi Žemės plutos lauko apžvalginei analizei atlikti, geomagnetinio lauko anomaliniams plotams nustatyti. Lėktuvas skiedamas atitinkamais maršrutais nekintančiu greičiu ir tempdamas žemyn nuo lėktuvo nuleistą 26–30 m aukštyje ir patalpintą gondoloje aeromagnetometrą, nuolat matuoja geomagnetinio lauko indukciją. Fiksuojamas lėktuvo greitis, aukštis bei jo padėtis. Nedidelis lėktuvo greitis, didelis aeromagnetometro jautrumas, nedidelis aukštis leidžia pasiekti 5–7 nT tikslumą. Matavimų rezultatai pavaizduojami anomaliniuose žemėlapiuose, kuriuose užbrėžiamas lėktuvo maršrutas bei matuoto geomagnetinės indukcijos nuokrypis nuo normaliojo lauko.

Palydoviniai matavimai tai vienas iš perspektyviausių metodų tiriant Žemės vidaus struktūrą bei vykstančius procesus Žemės paviršiuje (Olsen, N., 2002; Rotanova, N. M., 2004). Palydoviniais geomagnetinio lauko matavimais tiriamas pagrindinis geomagnetinis laukas (šaltinis Žemės vidus), uolienų anomalinis geomagnetinis laukas, jonosferos ir magnetosferos geomagnetiniai laukai. Pirmieji tikslūs matavimai atlikti 1965–1971 m. *Ogo* palydovais. Vėliau geomagnetinio lauko palydoviniai stebėjimai vyko: *Magsat* (lapkritis 1979 m. – kovas 1980 m.), *Orsted* paleisto 1999 m. vasario mėn., *Champ* paleisto 2000 m. liepos mėn. ir *Orsted-2* paleisto 2000 m. lapkričio mėn. (Olsen, N., 2001; Cain, J. C., 1983; Abramova, D. Yu. ir kt., 1996; Cain, J. C., 1984; Kamide, Y., 1984). Šių trijų palydovų bendras darbas suteikė galimybę geriau išanalizuoti Žemės magnetinio lauko sandarą ir jo kompleksinę erdvinę – laikinę struktūrą. Palydoviniai matavimai reikalauja sudėtingų duomenų apdorojimo procedūrų, nes matavimai atliekami 250–525 km aukštyje ir į juos įtakoja įvairių šaltinių laukai. Apdorojimas susideda iš atskirų šaltinių atskyrimo ir išanalizavimo. Palydovinių matavimų dėka tiriamos dinamiškos Žemės vidaus elektrinių srovių savybės, sąsaja su skystąja pluta ir mantija bei kitus vykstančius geomagnetinius procesus. Geomagnetinio lauko parametrų amžių variacijų tyrimai geomagnetinėse observatorijose susieti su palydoviniais tyrimais leidžia globaliai tirti vykstančius geomagnetinius procesus. Palydoviniais matavimais analizuojama Saulės vėjo įtaka Žemės magnetiniam laukui, magnetosferai ir jonosferai. Palydoviniai duomenys teikia globalią informaciją apie geomagnetinį lauką. Šie duomenys plačiai naudojami sudarinėjant geomagnetinio lauko modelius (Dolginov, Sh. Sh., 1996; Porokhova, L. N., 1996; Golovkov, V. P. 1997; Olsen, N., 2002) Sudaryti modeliai suteikia galimybę visapusiškai nagrinėti Žemės pagrindinį (vidinį) lauką ir jo amžių variacijas, išskirti jonosferos ir magnetosferos poveikį išmatuotam Žemės magnetiniam laukui (Andrescu, M., 1988; Rivin, Yu. R., 1996).

Geomagnetinei deklinacijai nustatyti būtina žinoti astronominio dienovidinio kryptį nemažesniu kaip 12" tikslumu (Sas-Uhrynowski, A., 2003). Astronominio dienovidinio kryptį galima nustatyti geodezinės astronomijos metodais (Petroškevičius, P., 1989; Petroškevičius, P., 1994; Уралов, С. С., 1980; Abalakin, V. K., 1996). Geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimuose dažniausiai astronominio dienovidinio kryptis nustatoma pagal Saulės valandinį kampą, todėl tikslinga detaliau ištirti šito metodo galimybes.

Geomagnetinio lauko palydoviniais stebėjimais, tiksliais ir ištisiniais matavimais geomagnetinėse observatorijose, matavimais amžių variacijų tyrimo punktuose, aeromagnetiniais ir jūrų matavimais sukaupta nemažai informacijos apie geomagnetinio lauko parametrų pasiskirstymą erdvėje ir jo kitimą laike (Golovkov, V. P., 2004). Tokios informacijos gausybė suteikia galimybę matematiškai atvaizduoti Žemės magnetinį lauką ir jo pokytį, t.y. sukurti geomagnetinio lauko modelį. Modeliai plačiai naudojami oro navigacijos, kariuomenės bei civiliniams tikslams.

JAV USGS (angl. United State Geological Survey) ir Didžiosios Britanijos BGS (angl. British Geological Survey) geologinės tarnybos bendromis pastangomis sukurtas plačiai naudojamas *IGRF* (angl. International Geomagnetic Reference Field) geomagnetinio lauko modelis. JAV gynybos departamentas DOD (angl. Department of Defence) sukūrė *WMM* (angl. World Magnetic Model) modelį (John, M., 1986; Cain, J., 1967; Zmuda, A. J., 1971; Macmillan, S., 1997). Britanijos gynybos ministerija, JAV gynybos departamentas, *NATO* organizacija ir Pasaulio hidrografijos biuras *WMM* modelį priėmė kaip standartinę navigacijos poreikiams skirtą modelį. Modeliai geomagnetinį lauką aprašo sferinėmis harmoninėmis funkcijomis. Pagal modelių kūrėjus, išskaičiuotos deklinacijos ir inklinacijos paklaidos sausumoje neturėtų viršyti 1° (McLean, S., 2004).

1.2. LIETUVOS TERITORIJOS GEOMAGNETINIŲ MATAVIMŲ RAIDOS ANALIZĖ

Pirmieji geomagnetinio lauko tyrimai Lietuvos teritorijoje siejami su S. Kalinovskio 1927 m. Vilniuje dviejuose punktuose atliktais *D*, *I* ir *H* parametrų matavimais (Bobinas, A., 1969). 1928 m. S. Kalinovskis matavimus atliko dar septyniuose punktuose rytinėje Lietuvos teritorijoje: Klevičiuose, Jašiūnuose, Santakoje, Švenčionėliuose, Mielagėnuose, Dūkšte ir Turmante.

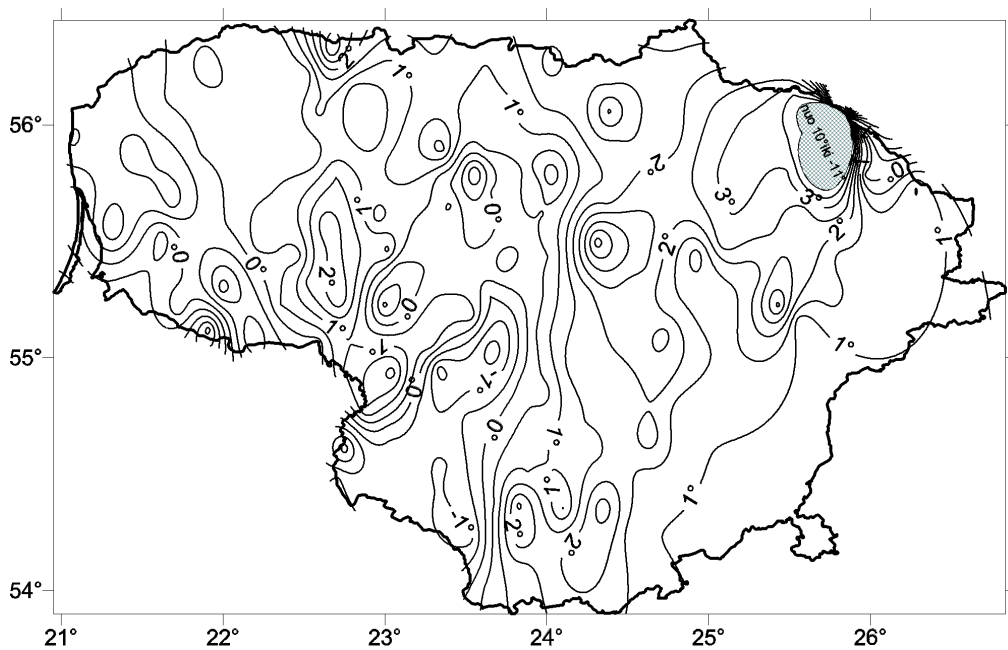
1930 m. Susiekimo Ministerija pavedė kap. A. Gernetui, bendradarbiaujant su Estijos Armijos Topo – Hidrografiniu Skyriumi, nemagnetiniu laivu „Cecilie” padaryti Baltijos jūros Lietuvos teritorijos magnetinius matavimus. Organizuojant šį projektą didžiausias Kauno

universiteto geofizikos katedros vedėjo prof. K. Sleževičiaus indėlis. Vienas iš pagrindinių ekspedicijos dalyvių ir projekto vykdytojų buvo prof. K. Brazdžiūnas. Jis atliko visus skaičiavimo darbus ir aprašė tyrimus (Sleževičius, K., 1941). Matavimo ekspedicijos metu 39-uose jūros ir 5-uose sausumos punktuose buvo nustatytos magnetinio lauko D , H ir Z parametrų vertės. Nuotolis tarp jūrinių matavimo punktų siekė nuo 6 iki 12 jūrmylių. Matavimų duomenys buvo pavaizduoti Merkatoriaus projekcijos jūrlapiuose masteliu 1:600 000, 1930,5 m. epochai.

Išmatavus nustatyta, kad Baltijos jūros Lietuvos pakraštyje deklinacijos vertės kito nuo $3,3^\circ$ iki $0,7^\circ$, H – nuo 18040 nT iki 16610 nT ir Z nuo 46210 nT iki 45010 nT. Matavimų tikslumas gautas atitinkamai: $D - 6'$, $H - 50$ nT ir $Z - 70$ nT.

Visos Lietuvos magnetinės nuotraukos darbams pradėta ruošti 1935 m. Juos organizavo Karo topografijos skyrius, o vykdė Vytauto Didžiojo Universiteto Geofizikos katedros vedėjas prof. K. Sleževičius su asistentu I. Salduku. Per 1936–1938 metų ekspedicijas D , I , H ir Z magnetinio lauko parametrų vertės išmatuotos 179 punktuose. Punktai paskirstyti maždaug tolygiai kas 20–25 km vienas nuo kito, t.y. vienas punktas teko 360 km^2 plotui. Magnetinio lauko parametrai išmatuoti tokiu tikslumu: $D - 2,0'$, $I - 0,5'$ ir $H - 5,0 \gamma$. Matavimams panaudoti tuo metu naujausi prietaisai (Sleževičius, K., 1941). Deklinacijai matuoti naudotas nemagnetinis teodolitas „Askania“, kurio kampo atskaitymo tikslumas $0,5'$. Prieš matavimus teodolitas buvo nugabentas į Slucko Magnetinę Observatoriją ir jos dirbtuvėse buvo pagamintas inklinatorius magnetinei inklinacijai nustatyti. Inklinacija buvo matuota indukcijos (Lamont'o) metodu. Astronominis azimutas nustatytas pagal Saulės valandinį kampą. Chronometro pataisos rastos pagal Maskvos arba Varšuvos radijo laiko signalus. Instrumentinės pataisos, nustatytos Slucko magnetinėje observatorijoje, svyravo nuo $+ 2,9'$ iki $- 0,2'$ (Sleževičius, K., 1941).

Sudaryti izogonų D , izoklinų I bei izodinamų H ir Z žemėlapiai masteliu 1:1 000 000 1940,5 m. epochai. Pirmą kartą Lietuvos teritorijai sudarytas tolygiai išsidėsčiusių magnetinių punktų tinklas. Naudojant prof. K. Sleževičiaus matavimo duomenis sudarėme skaitmeninį Lietuvos teritorijos 1940,5 m. epochos deklinacijų žemėlapi, kuris pavaizduotas 1.10 paveiksle. Izodinamos praveistos kas $0,5^\circ$.



1.10 pav. 1940,5 m. epochos skaitmeninis deklinacijos žemėlapis

Vėliau magnetinio lauko matavimai buvo atliekami tik kai kuriuose Lietuvos rajonuose, sudarinėjant detalias stambaus mastelio geomagnetines nuotraukas ir matuojant tik kai kuriuos magnetinio lauko parametrus ar nustatinėjant geomagnetinio lauko anomalijas. Vieni iš tokių matavimų buvo atlikti 1949–1952 m. Kauno geofizinės laboratorijos specialisto V. Kolobkovo. Tiriant magnetines anomalijas Tauragės, Tumasonių – Subato ir kt. rajonuose buvo matuotos vertikaliosios dedamosios Z vertės. Matavimai buvo atliekami tarp taškų, išsidėsčiusių kas 2 km vienas nuo kito. Darbo maršrutai buvo planuojami iš anksto, prieš tai atsižvelgiant į magnetinio lauko žemėlapių Z parametro vertes ir į Lietuvos kelių tinklą taip, kad daromos nuotraukos maršrutai užsidarytų kas 200–300 km. Matavimų rezultatų pagrindu V. Kolobkovas sudarė vertikaliosios dedamosios Z anomalijų pasiskirstymo žemėlapi masteliu 1:400000, kur izodinamos išvestos kas 200 nT. Jis padarė išvadą, kad Lietuvos regioninės magnetinės anomalijos išsidėstę pagal tektoninių lūžių linijas iki pat kristalinio guolio (Колобков, В. П., 1941).

Profesorius K. Sleževičius nustatė, kad šiaurės – rytinėje respublikos dalyje, netoli Latvijos sienos – tarp Tumasonių kaimo ir Subato miestelio (Latvija) – Z magnetinės anomalijos vertė yra didžiausia. Ekspedicijos metu padaryta detali magnetinių anomalijų nuotrauka. V. Kolobkovas ir S. Blinstrubas matavo Z parametą ir nustatė, kad geomagnetinio lauko anomalijos vertės čia siekė iki +12000 nT (Колобков, В. П., 1952).

1951 m. vakarinėje respublikos dalyje V. Kolobkovas magnetinio lauko parametrus matavo kartu su „Glavneftgeofizikos“ specialistais D. Mišinu ir A. Šarmajumi. Lekėčių regione magnetinės anomalijos matavimai atlikti 657 punktuose (3900 km² plote) ir sudaryta detali

1:25 000 mastelio nuotrauka. Mokslininkai nustatė, kad anomaliją sukeliantis magnetinis kūnas slypi 3000–4000 m gylyje. Vėliau matavimai buvo pratęsti ir taikyti naudingųjų iškasenų paieškomis (Колобков, В. П. 1953).

1956 m. tirtos Tauragės neigiamos magnetinės anomalijos. Magnetinė anomalija nustatyta ir Ukmergės rajone, Krikštėnuose. Pagrindiniai ekspedicijų organizatoriai ir vykdytojai buvo Lietuvos geologijos instituto geofizikai dr. S. Blinstrubas ir N. Gedvilaitė. Visi šie matavimai lietė tik geomagnetinio lauko vertikaliąją dedamąją (Блинструбас, С. И., 1965).

1956–1957 m. Lietuvos teritorijoje atlikta aeromagnetinė nuotrauka. Nuotrauką atliko buvusios Sovietų Sąjungos vakarinės dalies geofizikos tresto darbuotojai J. Kuzminas, M. Polek ir kt. Rezultate buvo sudaryta F parametro anomalaus lauko žemėlapis 1:200 000 masteliu [Зандер, В. Н., 1963].

Visi pokario laikotarpio matavimai buvo susiję tik su vertikaliąja geomagnetinio lauko dedamąja ir dauguma darbų skirti geologiniams tikslams. Praktiškai nebuvo tiriama magnetinė deklinacija ir jos kitimas – amžių variacija. 1959 m. Lietuvos respublikos MA Geologijos ir geografijos institutas, vadovaujant A. Ražinskui, pradėjo organizuoti magnetinės deklinacijos matavimus. Matavimai atlikti tuose rajonuose, kuriuose buvo vykdomi kiti geofiziniai tyrimai. Visą darbo iniciatyvą perėmė Lietuvos Žemės Ūkio akademijos vyr. dėstytojas, geodezijos inžinierius A. Bobinas. 1959–1965 m. surinkęs nemažai matavimų duomenų, jis patikslino pasenusį K. Sleževičiaus deklinacijų žemėlapi įvedus naują pokyčių koeficientą (Bobinas, A., 1965).

1966 m. vadovaujant V. V. Fedinskiui atlikta Baltijos jūros aeromagnetinė nuotrauka (Лапина, Е. Г., 1968). Sausumoje veikė trijų komponentų stotis (МБС АНИИ-56), kuri registravo magnetinio lauko variacijas. Lėktuve naudotas АММ tipo magnetometras, kuris matavo H , Z , ir F parametrus. Lauko medžiagos kokybė ir tikslumas atitiko aeromagnetinės nuotraukos 1:200 000 mastelio tikslumą.

1972–1973 m. 1:50 000 mastelio magnetinės nuotraukos darbai (atlikti kompleksškai su gravimetriniais) pradėti pietrytinėje Lietuvos dalyje (Панко, А. М., 1973). Siekta parengti geofizinį pagrindą kristalinio pamato geologiniam kartografavimui. 1986 m. kartu su gravimetriniais tyrimais tame pačiame plote geologinės žvalgybos ekspedicija atliko matavimus magnetinei nuotraukai sudaryti (taškai kas 50 metrų).

1994–1996 m. atliekant specialų geologinį kartografavimą 1:50 000 masteliu Šiaulių apylinkėse kartu su gravimetriniais buvo atlikti ir magnetinio lauko F parametro matavimai (Šliaupa, S., 1997).

1997 m. sudarytas Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko indukcijos žemėlapis skaitmeninis modelis 1956–1957 m. aeromagnetinės nuotraukos pagrindu. Izolinių tankis įvairiuose plotuose netolygus – didelės indukcijos anomalijose izodinamų tankis yra kas 5 nT, kitur – kas 2 nT. Anomalaus aeromagnetinio lauko žemėlapis 1:500 000 masteliu sudarytas 1:200 000 mastelio žemėlapis pagrindu (Korabliova, L., 1997).

Išanalizavus Lietuvos geomagnetinio lauko vykdytų tyrimų darbus, matomas darbų nekompleksiškumas. Visos Lietuvos teritorijos geomagnetiniai matavimai atlikti prieš 60 metų, vėliau matavimai atlikti tik kai kuriuose rajonuose, matuojant tik kai kuriuos geomagnetinio lauko parametrus, dažniausiai panaudojant naudingųjų iškasenų paieškoms. Kadangi geomagnetinis laukas nuolat kinta, geomagnetinės nuotraukos po tiek laiko tampa netikslios. Jų atnaujinimui naudojami geomagnetinių observatorių duomenys bei matavimo rezultatai amžių variacijų tyrimo punktuose. Lietuvoje geomagnetinės observatorijos nėra, tad panaudojus kaimyninėse šalyse esančias observatorijas būtina paruošti senų duomenų atnaujinimo metodiką. Lietuvoje geomagnetinio lauko amžių variacijos nebuvo tiriamos, todėl svarbu tokius tyrimus pradėti ir reguliariai vykdyti. Tuo tikslu būtina paruošti tinkamą geomagnetinio lauko parametrų nustatymo ir jo amžių variacijų tyrimo metodiką. Atlikus tikslius matavimus reikia įvertinti prof. Sleževičiaus gautų duomenų tikslumą ir jų panaudojimo galimybes. Naujų duomenų pagrindu būtina atnaujinti seną nuotrauką. Panaudojus naujus, daug tikslesnius prietaisus tikslinga taip pat atlikti naują geomagnetinę nuotrauką.

Didelę patirtį geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimų srityje turi Varšuvos Geodezijos ir kartografijos specialistai. Jie nuo 1957 metų periodiškai kas 2–4 metai atlieka tyrimus Lenkijos teritorijoje. Pasitelkiant Lenkijos specialistų patirtimi ir jų matavimo įrangą tokie darbai 1999 m. Nacionalinės žemės tarnybos prie Žemės ūkio ministerijos užsakymu pradėti ir Lietuvos teritorijoje. Geresniam geomagnetinio lauko tyrimų problemų pažinimui bei žinių gilinimui autorius stažavosi Varšuvos Geodezijos ir Kartografijos institute, Lenkijos Mokslo Akademijos Geofizikos institute bei Belsko geomagnetinėje observatorijoje.

Naujai sudaromuose Lietuvos teritorijos topografiniuose žemėlapiuose pagal NATO standartus 1:50 000 masteliu pateikiamos deklinacijos vertės ir jų metinis pokytis. Deklinacijos vertėms paskaičiuoti naudojamas *WMM* modelis. Šis modelis taip pat naudojamas aviacijoje, skaičiuojant oro uosto objektų magnetinę deklinaciją, pateikiant deklinacijos vertes aeronavigaciniuose žemėlapiuose. Tačiau nežinomas šio modelio tikslumas Lietuvos teritorijoje, nes iki šiol nebuvo atlikti tokie tyrimai. Šio modelio atitikimą realiam Lietuvos teritorijos geomagnetiniam laukui būtina iširti.

1.3. IŠVADOS

Apžvelgus mokslinėje literatūroje nagrinėtus magnetinio lauko tyrimų klausimus bei Lietuvos teritorijos geomagnetinį ištirtumą, išryškėja pagrindiniai uždaviniai, kuriuos būtina spręsti:

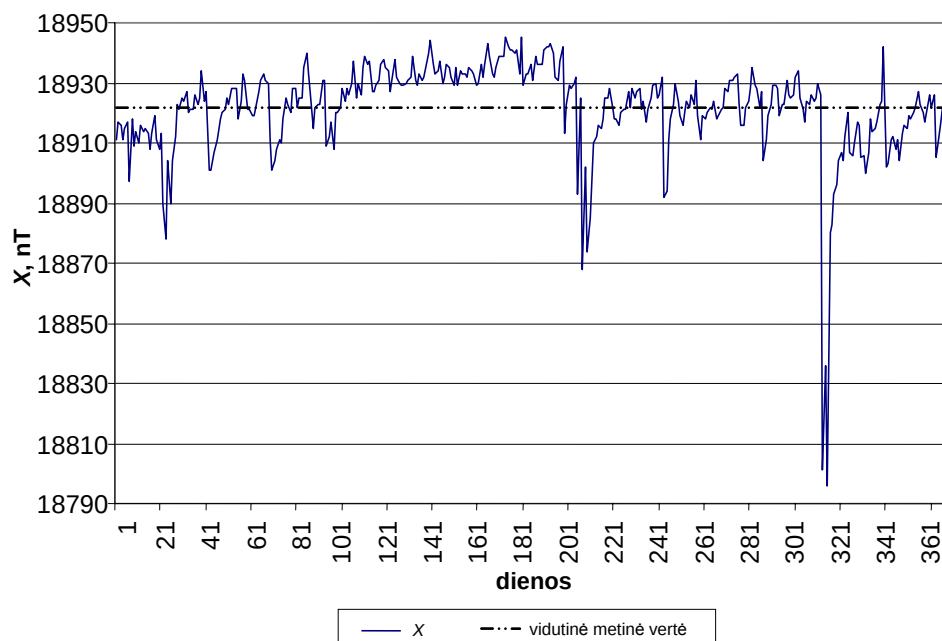
- atlikti geomagnetinio lauko parametrų trumpalaikių kitimų analizę, atkreipiant pagrindinį dėmesį periodinėms variacijoms;
- atlikti Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko parametrų nustatymą ir galimus nustatymo metodikos patobulinimus;
- išnagrinėti geomagnetinių observatorijų panaudojimo matavimų duomenims redukuoti galimybes;
- atlikti geomagnetinio lauko amžių variacijų Lietuvos teritorijoje tyrimus;
- įvertinti astronominio dienovidinio nustatymo pagal Saulės valandinį kampą, galimybes;
- išnagrinėti ankstesnių metų geomagnetinio lauko matavimų duomenų redukavimo galimybes ir atlikti redukavimą;
- įvertinti geomagnetinio lauko modelio Lietuvos teritorijoje tikslumą.

2. ŽEMĖS MAGNETINIO LAUKO TRUMPALAIKIŲ VARIACIJŲ ANALIZĖ IR TYRIMŲ REZULTATAI

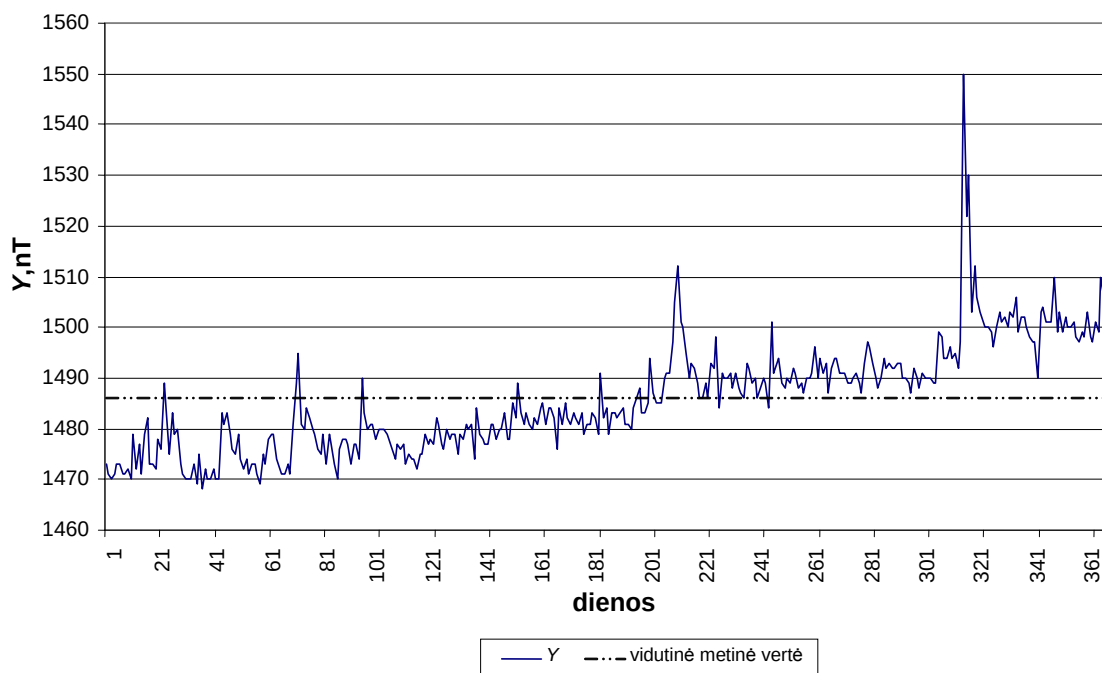
Nustatant geomagnetinio lauko parametrus ir jų amžių variacijas, tobulinant šių nustatymų metodiką, svarbu pakankamai giliai išnagrinėti ir ištirti kitus galimus geomagnetinio lauko pakitimus bei teisingai įvertinti juos atliekant geomagnetinio lauko tyrimus. Geomagnetinio lauko kitimo analizei geriausiai tinka geomagnetinių observatorijų duomenys. Lietuvoje geomagnetinės observatorijos nėra, todėl tokiems tyrimams pasirinkta artimesnės Lietuvai geomagnetinės observatorijos. Panaudojus observatorijų duomenis ištirtos geomagnetinės audros. Ištirtas taip pat periodinis geomagnetinio lauko kitimas, didesnis dėmesys skirtas Saulės poveikiui, kaip labiausiai įtakojančiam periodinius geomagnetinio lauko pakitimus, priklausančius nuo punkto platumos ir Saulės deklinacijos. Pasiūlyta ir pratestuota Saulės poveikio geomagnetiniam laukui įvertinimo metodika, kurią tikslinga naudoti siekiant padidinti duomenų redukavimo tikslumą.

2.1. GEOMAGNETINIŲ AUDRŲ ĮVERTINIMAS

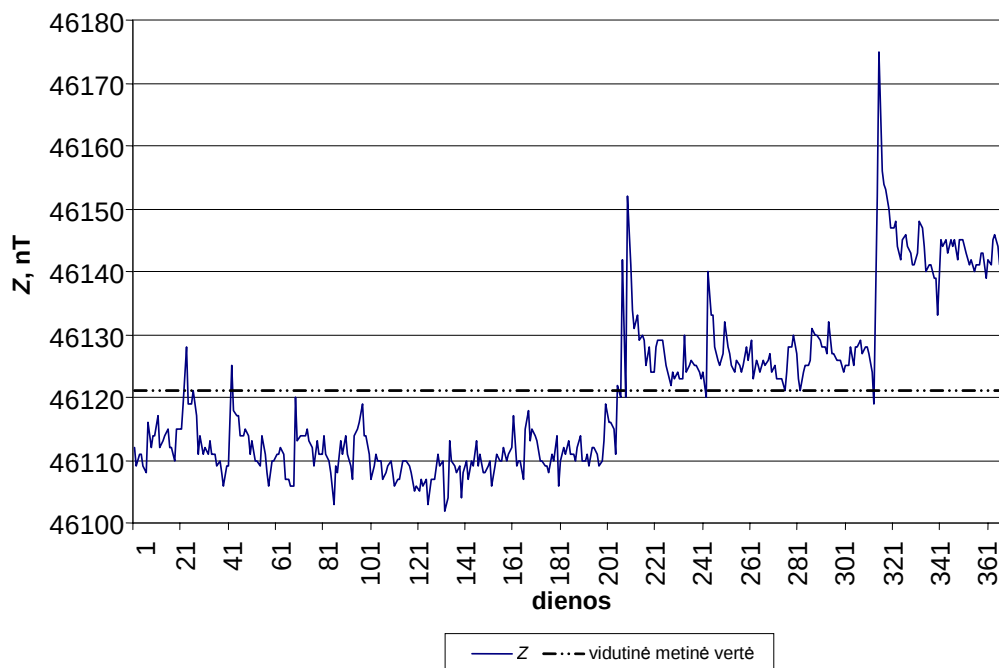
Atliekant geomagnetinio lauko matavimus svarbu žinoti geomagnetinio lauko būklę. Esant sudėtingam geomagnetinio lauko kitimui neįmanoma tiksliai įvertinti geomagnetinio lauko parametrų verčių ir kokybiškai apdoroti duomenis. Geomagnetinių audrų metu parametrų vertės kartais labai žymiai skiriasi nuo verčių esant geomagnetiškai ramiu laiku. Geomagnetinių audrų rūšys ir jų priežastys trumpai aptartos pirmajame disertacijos skyriuje. Geresniam geomagnetinių audrų pažinimui reikėtų detaliau jas patyrinėti, paanalizuoti jų periodiškumą, trukmę ir dydį. Tam būtini geomagnetinių observatorijų duomenys. Lietuvos teritorijai artimiausios geomagnetinės observatorijos yra Pleshenitzi (Baltarusija), Hel (Lenkija) ir Belsko observatorija. Pleshenitzi observatorijos duomenys yra tik iki 1994 m. ir tik valandinės parametrų vertės. Helio observatorijos duomenys pagal platumą labiausiai tiktų, tačiau dėl to, kad ji yra labai arti jūros ir observatorijos duomenis gali įtakoti vandenyje indukuotos elektromagnetinės bangos nebuvo pasirinkta. Tyrimams pasirinkta 2004 metų Belsko geomagnetinės observatorijos parametrų X , Y ir Z kitimas per ištikus metus. Parametrų kitimas pavaizduotas 2.1, 2.2 ir 2.3 paveiksluose. Čia ordinačių ašies kryptimi atidėtos dienos vidutinės parametrų vertės, abscisių kryptimi – paros skaičius metuose.

2.1. pav. X kitimas per 2004 metus

Analizuojant vidutinius dieningus parametro X kitimus per metus, audringu metu parametro vertės maksimaliai nukrypo nuo metų vidutinės vertės iki 126 nT (315 metų dieną – 11.11 d.). 2004 metais stipriausia geomagnetinė audra truko 7 dienas. Kitos kiek silpnesnės audros buvo 23 ir 207 metų dienomis (01.23 d. ir 07.26 d.). Šių audrų metu parametro vertės nuo metinės vidutinės parametro vertės nukrypo atitinkamai 44 ir 48 nT. Nors audros buvo silpnesnės, laiko atžvilgiu jos truko ilgiau net 11 dienų.

2.2. pav. Y kitimas per 2004 metus

Apibendrinant Y parametro kitimą per metus, pastebimos 4 parametro geomagnetinės audros kurios buvo 22, 71, 209 ir 313 metų dienomis (01.22 d., 03.12 d., 07.28 d. ir 11.09 d.). Jų metu parametro vertės pasiekia maksimalias vertes, lyginant jas su kitu metu išmatuotomis parametro vertėmis. Dvi didžiausios metų Y parametro audros (209 ir 313 d.) truko atitinkamai 11 ir 7 dienas. Šių audrų metu parametro vertės nukrypo nuo vidutinės metinės parametro vertės atitinkamai 26 ir 64 nT.

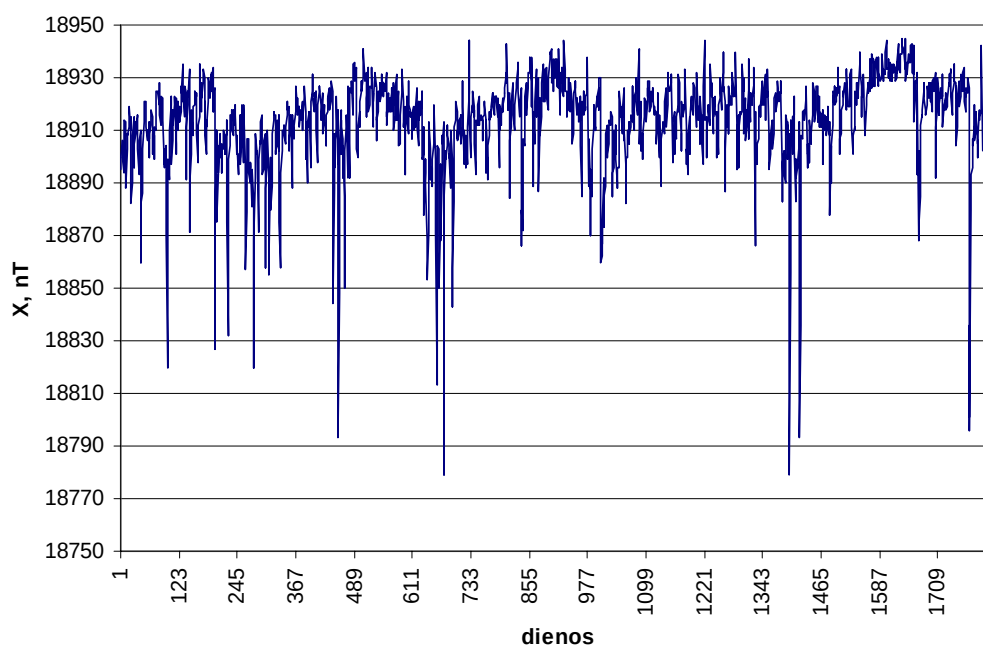


2.3. pav. Z kitimas per 2004 metus

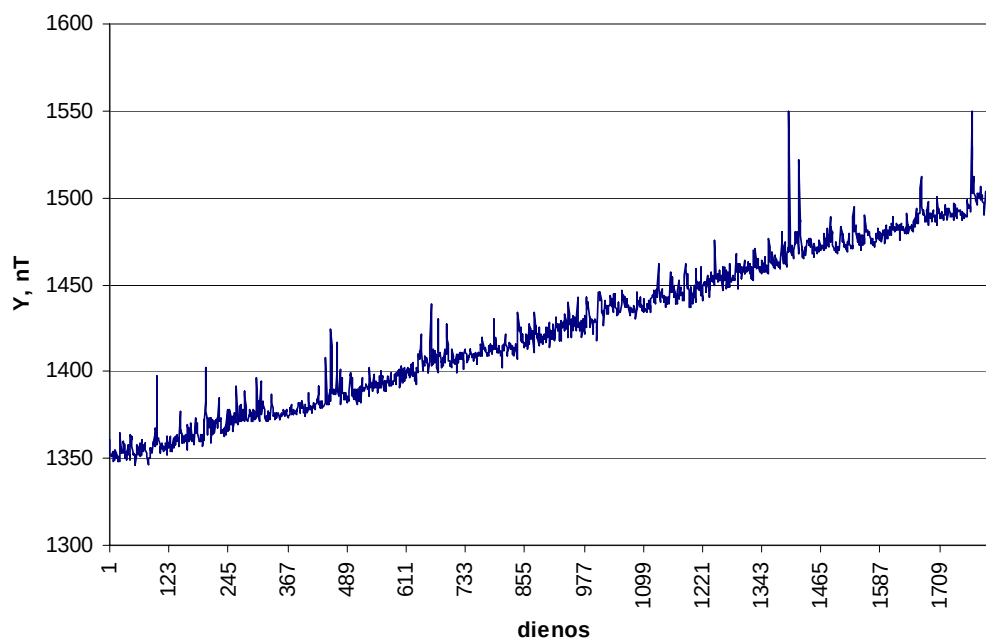
Z parametro audros pastebimos 23, 209 ir 315 metų dienomis (01.23 d., 07.28 d. ir 11.11 d.). Dvi paskutinės ir didžiausios audros truko atitinkamai 11 ir 10 dienų. Jų metu Z parametro vertės maksimaliai nukrypo nuo vidutinės metinės vertės atitinkamai per 31 ir 54 nT.

Visų parametrų metiniuose pokyčiuose pastebimi 2 šuoliai. X parametro ryškus šuolis pastebimas 207 ir 315 metų dienomis (07.26 d. ir 11.11 d.), Y parametras laiptiškai padidėjo 212 ir 313 metų dienomis (07.31 d. ir 11.09 d.) ir Z parametras laiptiškai padidėjo 212 ir 315 metų dienomis.

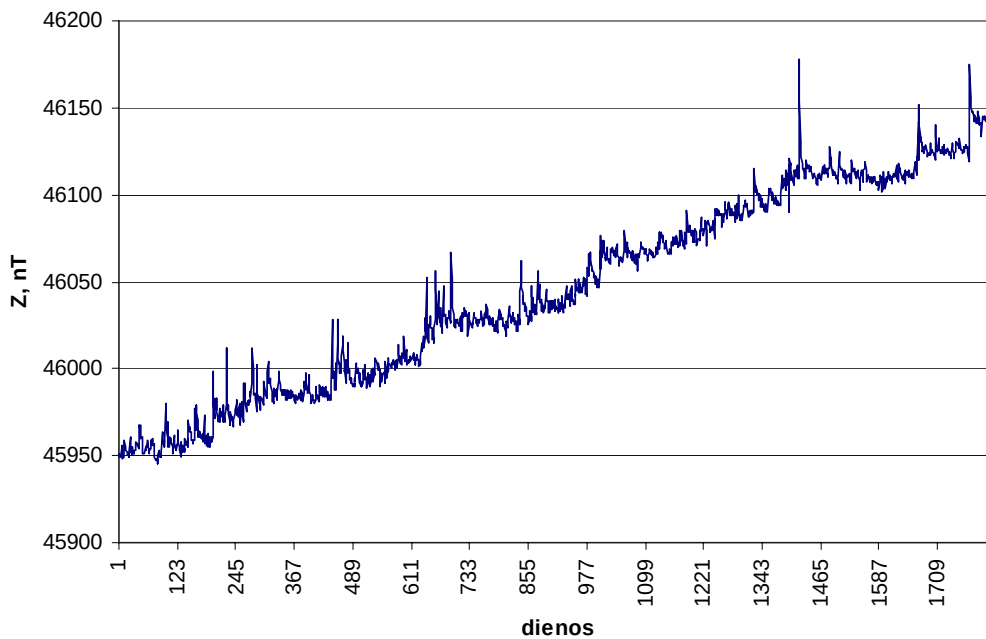
Geomagnetinių audrų periodiškumui tirti buvo paimta tos pačios observatorijos X , Y ir Z parametrų kitimas penkių metų laikotarpyje. Parametrų kitimas laikotarpyje nuo 2000 iki 2004 metų pateiktas 2.4–2.6 paveiksluose.



2.4. pav. X kitimas 2000–2004 metais



2.5. pav. Y kitimas 2000–2004 metais



2.6. pav. Z kitimas 2000–2004 metais

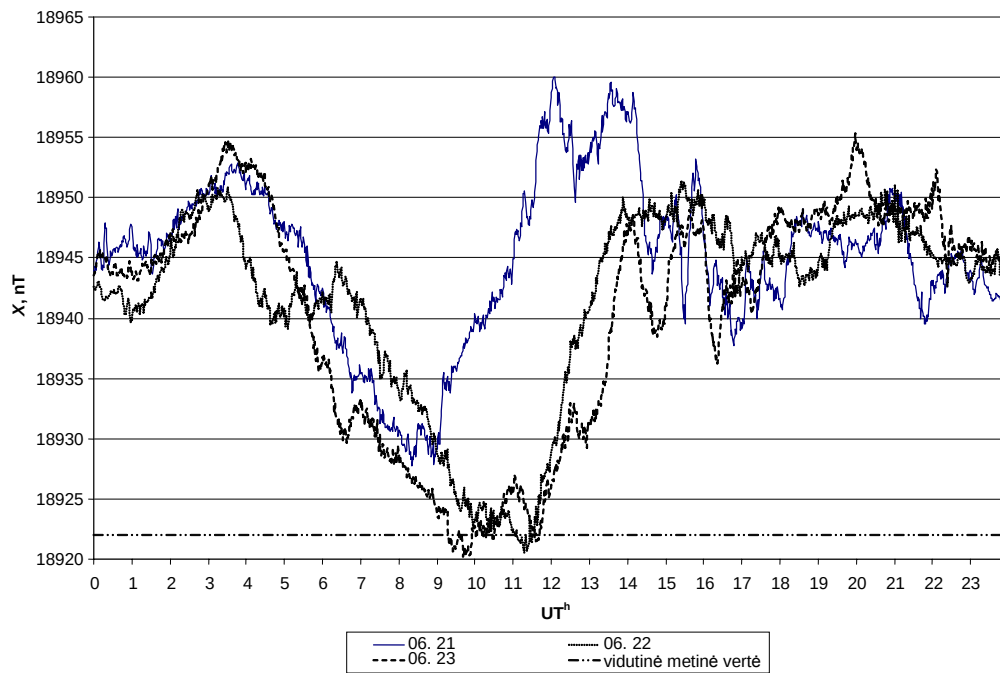
Apibendrinant penkių metų geomagnetinio lauko X , Y ir Z parametrų kitimus pastebima, kad stipresnės geomagnetinės audros kartojasi kiekvienais metais beveik vienu metu – lapkričio mėn. pradžioje. Ypatingai gausu geomagnetinių audrų buvo 2000 metais, kuomet beveik kas 30 dienų užfiksuotos kiek silpnesnės audros.

Remiantis atliktais geomagnetinių audrų tyrimais galima teigti, kad audros metu visų parametrų vertės žymiai skiriasi nuo vidutinių metinių verčių. Visų geomagnetinio lauko parametrų audros vyksta beveik vienu metu. Tyrimais apimtu laikotarpiu ilgiausia audra tęsėsi 11 parų. Turint tai omenyje, būtina tinkamai organizuoti geomagnetinio lauko parametrų matavimus ir per visą matavimo laikotarpį stebėti geomagnetinio lauko būklę. Svarbu, kad matavimo metu nebūtų geomagnetinės audros, kadangi tai gali žymiai iškreipti matavimų duomenis. Matavimo metu patartina nuolat palaikyti ryšį su geomagnetine observatorija ir taip stebėti geomagnetinio lauko būklę. Gerai parinkus matavimo laiką galima išvengti didelių matavimo bei redukavimo klaidų.

2.2. GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRŲ KITIMO PER PARĄ ANALIZĖ

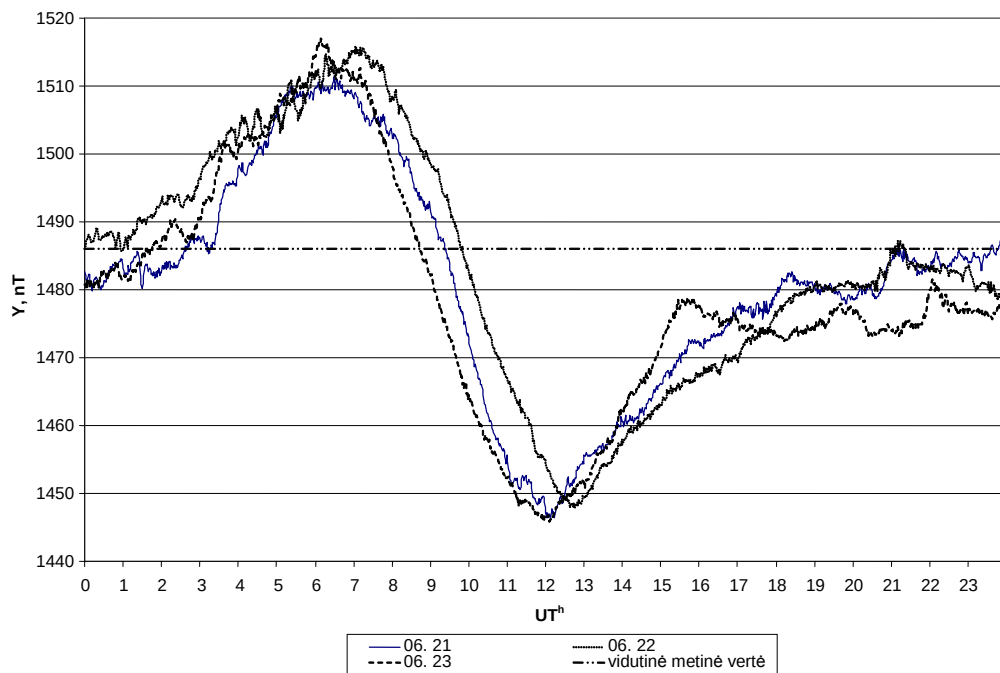
Pagal geomagnetinio lauko parametrų metinius kitimus pastebėta, kad parametrai kinta periodiškai. Kitimo periodiškumui analizuoti toliau naudosime 2004 m. vasaros saulėgrįžos laikotarpio Belsko geomagnetinės observatorijos duomenis.

Parametrų X , Y , ir Z kitimas per parą pavaizduotas 2.7–2.9 paveiksluose. Čia ordinačių ašies kryptimi atidėtos vidutinės minutinės parametrų vertės, abscisių kryptimi – pasaulinis laikas UT.



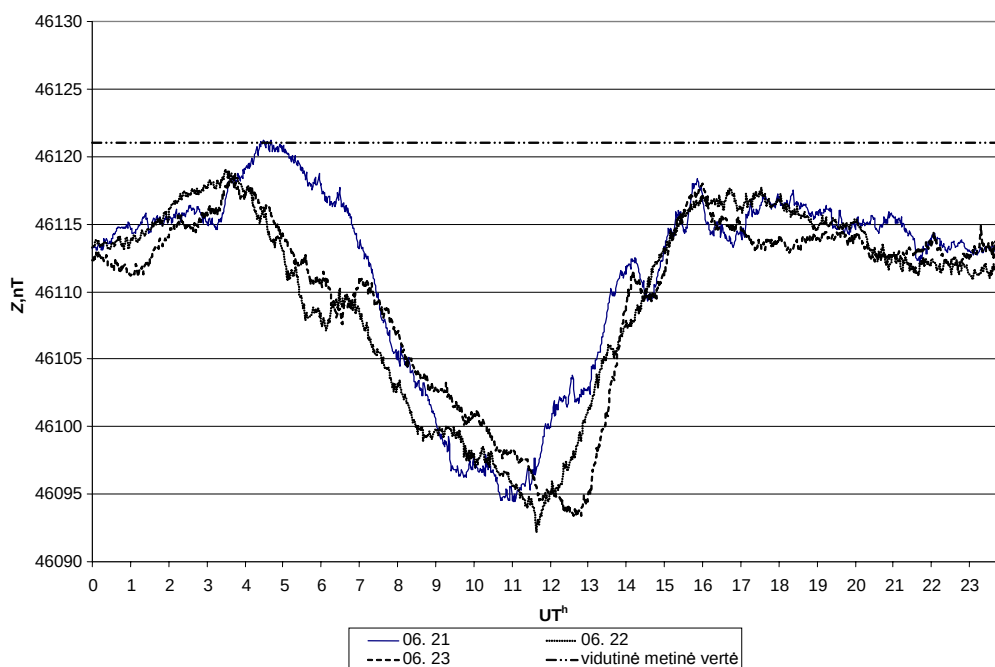
2.7. pav. X kitimas per parą

Visi parametrai per parą kinta periodiškai, tačiau kitimo diapazonas ir amplitudė skirtingomis dienomis yra nevienoda. Apžvelgus parametro X kitimą trijų dienų laikotarpyje, pastebima, kad vertės minimumą pasiekia apie 11^h, maksimumą apie 4^h. Paros parametro vertė maksimaliai nuo metų vidutinės vertės nukrypo 33 nT (06.23 d. 20^h). Per parą parametras kito 35 nT diapazone.



2.8. pav. Y kitimas per parą

Y parametro vertės vasaros saulėgrįžos laikotarpiu mažiausios apie 12^h, didžiausios apie 7^h. Šiuo metu parametras maksimaliai nukrypo nuo metinės vidutinės vertės per 39 nT (06.23 d. 12^h). Per parą Y parametras kito 68 nT diapazone.



2.9. pav. Z kitimas per parą

Vasaros saulėgrįžos metu vertikaliosios dedamosios vertės minimalios buvo apie 12^h, maksimalios apie 4^h. Šiuo laikotarpiu Z parametro vertės maksimaliai nukrypo nuo vidutinės metinės vertės per 29 nT (06.22 d.). Per parą parametro vertės vidutiniškai kito 27 nT diapazone.

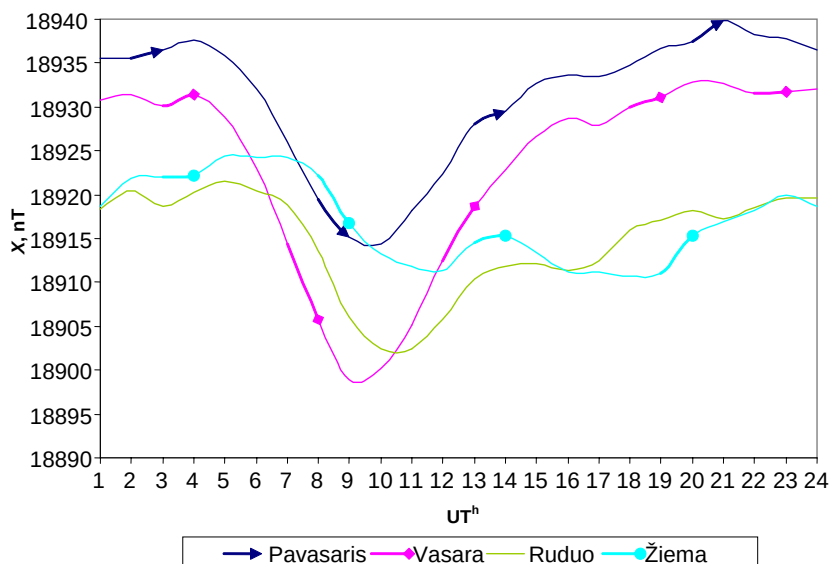
2.1 lentelėje pateikta paros vidutinių parametrų verčių kitimo diapazonas skirtingais metų laikais. Paros vidutinės parametrų vertės gautos vidurkinant valandines parametrų vertes paimtas iš atskirų metų laikų. Metų laikai apima tokius laikotarpius: žiema: 12.22 d.–03.21 d.; pavasaris: 03.21 d.–06.22 d.; vasara: 06.22 d.–09.23 d. ir ruduo: 09.23 d.–12.22 d.

2.1. lentelė. Parametrų vidutinių parinių verčių kitimo diapazonas skirtingais metų laikais

Metų laikai	$X_{\max}-X_{\min}$ nT	$Y_{\max}-Y_{\min}$ nT	$Z_{\max}-Z_{\min}$ nT
Žiema	37	29	40
Pavasaris	37	20	17
Vasara	53	33	34
Ruduo	42	25	29

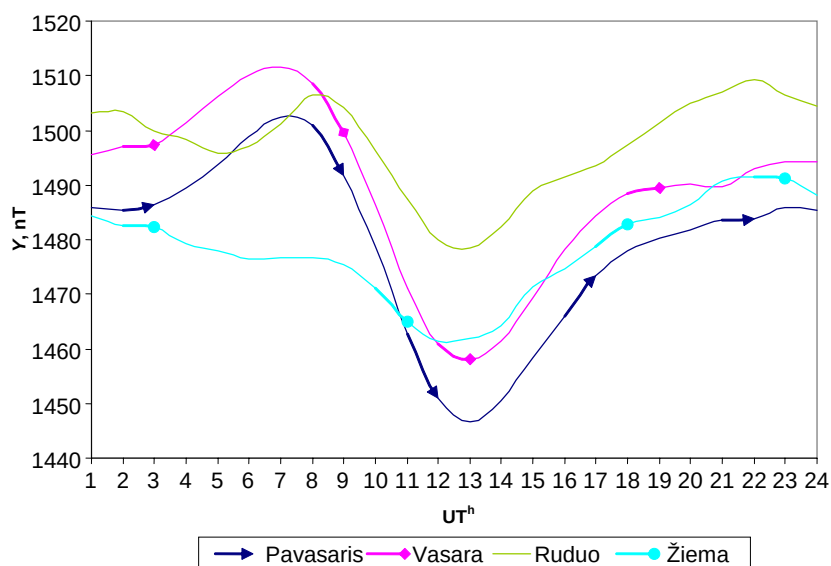
Lentelėje 2.1 matyti, kad X ir Y parametrų vidutinių parinių verčių kitimo diapazonas didžiausias vasaros laikotarpyje, o parametro Z žiemos laikotarpiu. Visų parametrų mažiausias kitimo diapazonas yra pavasario laikotarpiu. Diapazonų įvertinimui neimti audringi laikotarpiai.

Skirtinguose metų laikotarpiuose vidutinis parametrų kitimas per parą pavaizduotas 2.10–2.12 paveiksluose. Kreivės išbrėžtos iš suvidurkintų skirtinguose laikotarpiuose vidutinių valandinių parametro verčių.



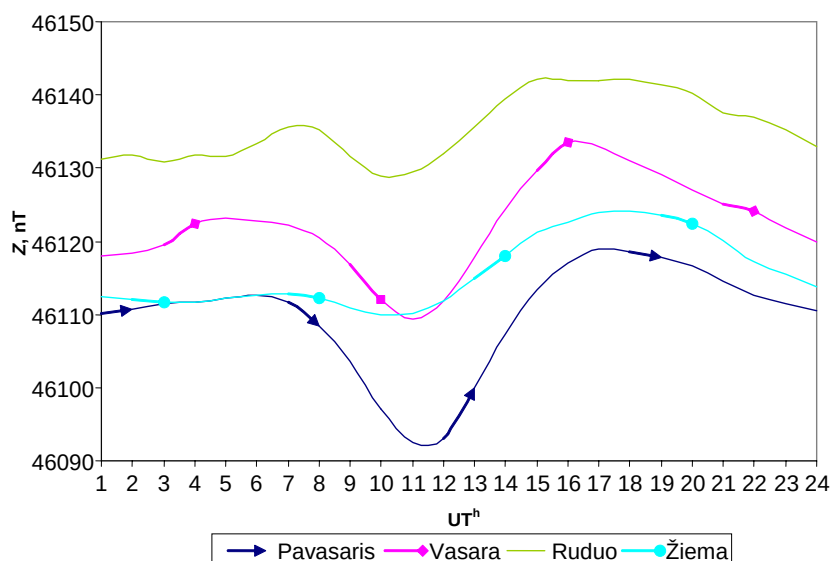
2.10. pav. X kitimas per parą skirtinguose metų laikotarpiuose

Matyti, kad X parametro kitimas per parą skirtinguose metų laikotarpiuose nevienodas. Panašus parametro paros kitimas yra pavasarį ir vasarą, kada parametro vertės apie $9^{\text{h}}30^{\text{m}}$ (UT) pasiekia minimumą ir apie 21^{h} pasiekia maksimumą. Kiek panašus yra taip pat parametro kitimas žiemos ir rudens metu, kada parametro vertės minimumą pasiekia 10^{h} , o maksimumą apie 5^{h} .



2.11. pav. Y kitimas per parą skirtinguose metų laikotarpiuose

Y parametro vertės visuose metų laikotarpiuose minimumą pasiekia apie 13^h . Panašus kitimas pastebimas pavasarį ir vasarą, kai parametro vertės apie 7^h30^m pasiekia maksimumą ir apie 13^h pasiekia minimumą.



2.12. pav. Z kitimas per parą skirtinguose metų laikotarpiuose

Z parametro kitimas per parą visuose metų laikotarpiuose yra panašus. Parametro vertės mažiausios yra apie 11^h30^m , didžiausios apie 15^h30^m .

2.2. lentelėje pateiktos parametrų paros kitimo diapazonų vertės. Diapazonų vertės apskaičiuotos pagal atitinkamų laikotarpių vidutinės valandines parametrų vertes.

2.2. lentelė. Parametrų paros kitimo diapazonas skirtingais metų laikais

Metų laikai	$X_{\max}-X_{\min}$ nT	$Y_{\max}-Y_{\min}$ nT	$Z_{\max}-Z_{\min}$ nT
Žiema	14	30	14
Pavasaris	25	56	26
Vasara	34	53	24
Ruduo	19	31	13

Iš 2.2 lentelės matome, kad Y ir Z parametrų kitimo diapazonas per parą didžiausias yra pavasarį, o X parametro – vasarą. X ir Y parametrų mažiausias kitimo diapazonas yra žiemą, o Z parametro – rudenį.

Kaip matyti, geomagnetinis laukas nuolat kinta. Kitimas nustatomas kaip skirtumas tarp stebimo lauko ir jo vidutinės vertės gautos tam tikrame laiko intervale. Intervalas dažniausiai apima vieną savaitę, mėnesį ar metus. Šis kitimas kartais vyksta sklandžiai pagal tam tikrą nuoseklumą, kituomet – nenuosekliai. Pirmu atveju tai ramus (neaudringas) kitimas, antru audringas. Pagal observatorių duomenų analizę jau pastebėjome, kad ramus neaudringas

parametro kitimas vyksta periodiškai. Pagal periodiškumo savybes galima išskirti Saulės ir Mėnulio variacijas. Tai geomagnetinio lauko parametrų kitimas per Saulės ar Mėnulio parą. Siekiant išskirti geomagnetinio lauko parametrų įvairias periodinio kitimo savybes tikslinga magnetinėse observatorijose išmatuotus duomenis apdoroti statistiniais ir harmoninės analizės metodais.

2.3. PERIODINIŲ GEOMAGNETINIŲ VARIACIJŲ TYRIMŲ METODIKA

Statistinis metodas. Ilgesnio ramaus laikotarpio parametrų pokyčių grafikuose matyti, kad kreivės periodiškai kas parą kartojasi, tačiau skirtingomis amplitudėmis ir fazėmis. Tikslesniam pokyčių pažinimui būtina duomenis apdoroti statistiniu metodu, t.y. išskaičiuoti vidutines valandines vertes iš pakankamai ilgo laikotarpio (savaitės, mėnesio, metų). Vidurkinant panaikinami atsitiktiniai pokyčiai, bei kiti, kurie nesusieti su ilgalaikiu lauko kitimu – amžių variacija. Metodo pagrindimui kiek detaliau paanalizuosime sprendimo eigą (Janowski, B., 1958; Яновский, Б. М., 1978; Яновский, Б. М., 1964).

Priimame, kad magnetinio parametro kitimas nepriklauso nuo ilgalaikio pokyčio ir yra trijų skirtingų laikotarpių periodinių pokyčių suma. Du iš jų kinta pagal sinusoide, trečias laisvai, t.y.:

$$S = S_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + S_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2) + S_3(t), \quad (2.1)$$

čia S_1 ir S_2 – amplitudės; ω_1 ir ω_2 – apskritiminis dažnis, φ_1 ir φ_2 – parametro harmoninių pokyčių fazės; $S_3(t)$ – parametro S_3 vertės t laiko momentais, kuris kinta neperiodiškai. Ilgesniame geomagnetinio lauko parametro S stebėjimo laikotarpyje $t_1 - t_2$ padalintame į eilę periodinių laikotarpių $T_1 = 2\pi / \omega_1$, galima rasti parametrų vertes S_k kiekvienam t laiko momentui

$$t, t + T_1, t + 2T_1, \dots, t + nT_1,$$

$$S_k = S_1 \sin[\omega_1(t + kT_1) + \varphi_1] + S_2 \sin[\omega_2(t + kT_1) + \varphi_2] + S_3(t), \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (2.2)$$

Susumavus šias lygtis gausime:

$$\sum_{k=0}^n S_k = S_1 \sum_{k=0}^n \sin(\omega_1 t + \varphi_1 + 2k\pi) + S_2 \sum_{k=0}^n \sin(\omega_2 t + \varphi_2 + k\omega_2 T_1) + \sum_{k=0}^n S_3^{(k)}(t), \quad (2.3)$$

arba

$$\sum_{k=0}^n S_k = (n+1)S_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + S_2 \sum_{k=0}^n \sin(k\alpha + \beta) + \sum_{k=0}^n S_3^{(k)}(t), \quad (2.4)$$

čia $k\alpha = k\omega_2 T_1$ ir $\beta = \omega_2 t + \varphi_2$.

Vidutinė S_m vertė bus lygi

$$S_m = S_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + \frac{S_2}{n+1} \sum_{k=0}^n \sin(k\alpha + \beta) + \frac{1}{n+1} \sum_{k=0}^n S_3^{(k)}(t). \quad (2.5)$$

S_3 parametro variacijos yra atsitiktinės ir gali turėti tiek teigiamą tiek neigiamą ženklą, tad kai didelis stebėjimų skaičiaus n , S_3 artės prie nulio. Todėl galima užrašyti:

$$S_m = S_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + \frac{S_2}{n+1} \sum_{k=0}^n \sin(k\alpha + \beta) \quad (2.6)$$

arba

$$S_m = S_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + \frac{S_2}{n+1} (\sin \beta \sum_{k=0}^n \cos k\alpha + \cos \beta \sum_{k=0}^n \sin k\alpha). \quad (2.7)$$

Remiantis trigonometrinėmis formulėmis galima apskaičiuoti:

$$\sum_{k=0}^n \cos k\alpha = \frac{\sin[(2n+1)\alpha/2]}{2\sin(\alpha/2)} + \frac{1}{2}, \quad (2.8)$$

$$\sum_{k=0}^n \sin k\alpha = \frac{\sin(n\alpha/2)\sin[(n+1)\alpha/2]}{\sin(\alpha/2)}.$$

Taigi įstačius šias išraiškas į (2.7) formulę ir atlikus nesudėtingus trigonometrinius pertvarkymus gausime:

$$S_m = S_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + \frac{S_2}{n+1} \cos ec \frac{\alpha}{2} \sin \frac{n+1}{2} \alpha \sin \left(\frac{n\alpha}{2} + \beta \right). \quad (2.9)$$

Iš 2.9 formulės matyti, kad didėjant matavimų skaičiui n dešinioji formulės pusė artėja prie nulio, todėl galima parinkti tokį matavimų n skaičių, prie kurio antroji formulės dalis bus mažesnė už prieš tai buvusią. Tuo atveju galima užrašyti:

$$S_m = S_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1). \quad (2.10)$$

Taigi vidutinės pokyčio vertės, gautos vidurkinant parametrų vertes užsiduotais laikotarpiais T_1 ir prie pakankamai didelio šių laikotarpių skaičiaus, bus laisva nuo atsitiktinių pokyčių ir kitų besiskiriančių nuo laikotarpio T_1 pokyčių. Tad per tam tikrą laikotarpį ir prie pakankamai didelio periodinių kitimų skaičiaus galima išskirti sinusoidinius ir atsitiktinius kitimus. Bet kokio periodinio pokyčio funkcija $S(t)$ laikotarpiu T gali būti pavaizduota kaip harmoninių funkcijų suma, besikartojančių T laikotarpiais.

$$S(t) = \sum_{k=1}^n S_k \sin(\omega_k t + \varphi_k), \quad (2.11)$$

čia k ir n sveiki skaičiai. Taigi pakeitus (2.9) formulėje harmoninę funkciją $S_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$ suma pavaizduota formulėje (2.11) ir vidurkinant gausime tą pačią $S(t)$ funkciją. Tai yra dėl to, kad įstačius į (2.11) formulę vietoj argumento t argumentą $t + kT$ funkcija $S(t)$ nepakis.

Šiuo metodu galima išskirti ne tik dėl Saulės įtakos geomagnetiniam laukui variacijas, bet ir dėl Mėnulio poveikio. Siekiant įvertinti parametro kitimą priklausančią nuo Mėnulio, būtina visą tyrimo laikotarpį suskirstyti į Mėnulio paros periodus.

Harmoninės analizės metodas. Kadangi paros metu geomagnetinio lauko parametrų pokyčiai pasikartoja, juos galima išreikšti Furjė eilutėmis ir kiekvienam parametrui parašyti:

$$\begin{aligned} \delta D &= \sum_{m=1}^{\infty} (a_m^D \cos mt + b_m^D \sin mt) + \frac{a_0^D}{2}, \\ \delta I &= \sum_{m=1}^{\infty} (a_m^I \cos mt + b_m^I \sin mt) + \frac{a_0^I}{2}, \\ \delta F &= \sum_{m=1}^{\infty} (a_m^F \cos mt + b_m^F \sin mt) + \frac{a_0^F}{2}, \end{aligned} \quad (2.12)$$

čia δD , δI ir δF – atitinkamų parametrų pokytis, a ir b – Furjė koeficientai, t – laikas išreikštas laipsniais arbaadianais. Priimta, kad para lygi 2π . Koeficientams a ir b apskaičiuoti naudojamos harmoninės analizės formulės:

$$a_m^D = \frac{2}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \delta D_i \cos mt_i; \quad b_m^D = \frac{2}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \delta D_i \sin mt_i, \quad (2.13)$$

čia n – dalių skaičius, iš kiek padalintas laikotarpis T , δD_i – pokyčio vertės laiko momentams t_i , atitinkantiems i laiko intervalui.

Formulę (2.12) galime užrašyti taip pat kiek kitokiu pavidalu:

$$\begin{aligned} \delta D &= \frac{a_0^D}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} A_m^D \sin(mt + \varphi_m^D), \\ \delta I &= \frac{a_0^I}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} A_m^I \sin(mt + \varphi_m^I), \\ \delta F &= \frac{a_0^F}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} A_m^F \sin(mt + \varphi_m^F), \end{aligned} \quad (2.14)$$

čia koeficientai A ir φ skaičiuojami pagal a ir b koeficientus su atitinkamais indeksais:

$$A = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad \tan \varphi = \frac{a}{b}. \quad (2.15)$$

Šią metodiką naudosim tolimesniuose tyrimuose.

2.4. SAULĖS PARINIO POVEIKIO GEOMAGNETINIAM LAUKUI TYRIMAS

Atliksime geomagnetinio lauko parametrų D , I ir F periodinių parinių variacijų, atsirandančių dėl Saulės poveikio, tyrimus. Saulės parinis poveikis geomagnetiniam laukui priklauso nuo punkto platumos, metų laiko ir paros laiko (Яновский, Б. М., 1978). Kadangi Lietuvoje nėra geomagnetinės observatorijos, tai šiems tyrimams panaudosime Lietuvos platumoje esančios Helio (Hel, Lenkija) geomagnetinės observatorijos ($B=35^{\circ}23'24''$, $L=18^{\circ}49'12''$) 2004 m. duomenis paimtus iš *Intermagnet* tinklapio (<http://www.intermagnet.org/>). Tirsime parametrų kitimą per parą vasaros (birželio 22 d.) ir žiemos (gruodžio 22 d.) saulėgrįžų laikotarpiais, kada Saulės deklinacija turi maksimalią ir

minimalią vertes ($+23^{\circ}26'$ ir $-23^{\circ}26'$). Parametrų kitimams dėl Saulės poveikio rasti naudosime 2.3 skyrelyje pagristą statistinį metodą.

Parametrų periodinių variacijų patikimoms valandinėms vertėms rasti būtina nustatyti kiek parų parametro valandinių verčių būtina paimti. Optimaliausiam parų skaičiui nustatyti paskaičiuosime statistiniu metodu apskaičiuotų verčių, gautų iš atskirų parų skaičiaus (30, 10 ir 5 parų), vidutinę kvadratinę paklaidą. Geomagnetinio lauko parametro E (bet kurio: D , I ar F) verčių paskaičiuotų statistiniu metodu vidutinę kvadratinę paklaidą skaičiuota pagal formulę:

$$m_{Estat.} = \sqrt{\frac{1}{(k \cdot 24) - 1} \sum_{i=1}^{k \cdot 24} (E_i - E_{stat.vid.i})^2} \quad (2.16)$$

čia k – laikotarpio parų skaičius (30, 10 arba 5 paros); $E_{stat.vid.i}$ – i -osios valandos parametro vidutinė vertė, gauta suvidurkinant vertes iš atitinkamo laikotarpio; E_i – i -tosios valandos parametro vertė.

Iš skirtingų parų skaičiaus gautų parametrų valandinių verčių vidutinės kvadratinės paklaidos skirtinguose saulėgrįžos laikotarpiuose pateiktos 2.3 ir 2.4 lentelėse.

2.3 lentelė. Vasaros saulėgrįžos statistiniu metodu paskaičiuotų valandinių verčių paklaidos

Parų skaičius	$m_{Dstat.}$ '	$m_{Istat.}$ "	$m_{Fstat.}$ nT
30	1,3	34	5,3
10	0,9	25	3,8
5	0,7	18	2,4

2.4 lentelė. Žiemos saulėgrįžos statistiniu metodu paskaičiuotų valandinių verčių paklaidos

Parų skaičius	$m_{Dstat.}$ '	$m_{Istat.}$ "	$m_{Fstat.}$ nT
30	2,5	48	4,6
10	1,2	30	2,8
5	1,2	30	2,4

Iš skaičiavimų matyti, kad tiksliausios parametrų valandinės vertės, tiek vasaros tiek žiemos saulėgrįžos laikotarpiuose, gaunamos suvidurkinant valandines parametro vertes iš 5 parų laikotarpio.

Saulėgrįžos dienos (06.22 ir 12.22) parametrų valandinių verčių atitikimas statistiniu metodu paskaičiuotoms valandinėms vertėms skaičiuota pagal formulę:

$$m_{Edien.} = \sqrt{\frac{1}{23} \sum_{i=1}^{24} (E_{s_i} - E_{stat.vid-i})^2} \quad (2.17)$$

čia E_{s_i} – saulėgrįžos dienos i-osios valandos parametro vertės.

Statistinių valandinių verčių atitikimas saulėgrįžų laikotarpio valandinėms vertėms (parametrų vidutinės kvadratinės paklaidos) atskiruose saulėgrįžų laikotarpiuose pateikta 2.5 ir 2.6 lentelėse.

2.5 lentelė. Vasaros saulėgrįžos laikotarpio paklaidos

Parų skaičius	$m_{Ddien.}$ '	$m_{Idien.}$ "	$m_{Fdien.}$ nT
30	1,0	31	3,3
10	1,1	17	2,5
5	0,9	12	1,4

2.6 lentelė. Žiemos saulėgrįžos laikotarpio paklaidos

Parų skaičius	$m_{Ddien.}$ '	$m_{Idien.}$ "	$m_{Fdien.}$ nT
30	1,9	37	3,9
10	1,6	38	3,4
5	1,5	34	3,3

Iš gautų rezultatų matyti, kad iš 5 parų laikotarpio gautos vidutinės valandinės parametro vertės tiksliausiai atspindi saulėgrįžų laikotarpio kitimą. Todėl tolimesniuose parametrų parinių variacijų tyrimui naudosime iš penkių parų gautas vidutines valandines vertes. Saulėgrįžų vidutinės paros valandinės parametrų vertės pateiktos 2.7 lentelėje.

2.7 lentelė. Saulėgrįžų paros vidutinės valandinės parametrų vertės

UT ^h	Vasaros saulėgrįža			Žiemos saulėgrįža		
	$D, ^\circ '$	$I, ^\circ '$	F, nT	$D, ^\circ '$	$I, ^\circ '$	F, nT
0	3 15,65	69 26,61	49986	3 20,38	69 28,57	49999
1	3 16,04	69 26,59	49988	3 19,79	69 28,80	49998
2	3 17,07	69 26,43	49989	3 18,89	69 28,61	50001
3	3 18,46	69 26,32	49990	3 18,59	69 28,46	50002
4	3 19,94	69 26,43	49988	3 18,48	69 28,31	50002
5	3 21,21	69 26,70	49984	3 17,92	69 28,25	50002
6	3 21,43	69 26,97	49979	3 18,73	69 27,89	50004
7	3 20,40	69 27,28	49973	3 19,05	69 27,68	50003
8	3 18,97	69 27,49	49966	3 19,55	69 28,01	49998
9	3 16,30	69 27,61	49962	3 19,29	69 28,95	49994
10	3 12,99	69 27,55	49962	3 18,50	69 29,26	49995

2.7 lentelės tęsinys

11	3 10,50	69 27,47	49962	3 17,60	69 29,08	49998
12	3 09,54	69 27,16	49967	3 17,60	69 28,94	50002
13	3 10,39	69 26,78	49975	2 17,74	69 28,88	50004
14	3 11,70	69 26,55	49983	3 18,63	69 28,84	50005
15	3 12,83	69 26,45	49989	3 19,29	69 29,02	50004
16	3 13,81	69 26,67	49989	3 18,69	69 29,17	50003
17	3 14,27	69 26,58	49988	3 18,78	69 29,02	50005
18	3 14,87	69 26,42	49989	3 19,95	69 28,78	50007
19	3 14,85	69 26,29	49988	3 20,48	69 28,61	50006
20	3 14,86	69 26,29	49987	3 21,35	69 28,79	50003
21	3 15,19	69 26,39	49986	3 21,76	69 28,89	50003
22	3 15,28	69 26,47	49986	3 21,99	69 28,85	50001
23	3 15,26	69 26,57	49985	3 21,09	69 28,85	50000

Siekiant turėti periodinių variacijų vertes bet kuriam momentui, jų statistines vertes aproksimuosime harmoninės analizės metodu (2.3 skyrius). Kiekvieno geomagnetinio lauko parametro variacijas išreiškiančios Furjė eilutės koeficientai paskaičiuoti pagal (2.13) formulę pateikti 2.8 ir 2.9 lentelėse.

2.8 lentelė. Geomagnetinio lauko parametrų išreikštų Furjė eilute koeficientai vasaros saulėgrįžos laikotarpiui

Koeficientų eilės Nr.	<i>D</i>		<i>I</i>		<i>F</i>	
	a	b	a	b	a	b
1	0,034460	0,020100	-0,006570	0,003451	9,47048	-4,84720
2	-0,048642	-0,012502	0,001029	-0,005400	-3,17184	7,91529
3	0,006551	-0,018254	0,002045	0,000632	0,02483	-0,89598
4	-0,006537	-0,004972	0,000546	-0,001340	-0,62029	0,74428
5	-0,001721	-0,006646	-0,000810	0,000252	0,67088	0,36997

2.9 lentelė. Geomagnetinio lauko parametrų išreikštų Furjė eilute koeficientai žiemos saulėgrįžos laikotarpiu

Koeficientų eilės Nr.	<i>D</i>		<i>I</i>		<i>F</i>	
	a	b	a	b	a	b
1	0,020369	-0,001488	-0,001860	-0,002450	0,543160	-1,076000
2	0,000499	-0,009531	0,004970	0,001679	-1,993470	2,495420
3	0,006343	-0,001407	0,000171	0,003900	-1,073730	-0,951780
4	-0,004140	0,005566	-0,001630	-0,002330	1,227900	1,087550
5	0,003016	0,000811	0,001364	0,001519	-0,515650	-0,145600

Aproksimuotų parametro verčių atitikimas statistinėms vertėms paskaičiuota pagal formulę:

$$m_{E_{apr.}} = \sqrt{\frac{1}{23} \sum_{i=1}^{24} (E_{apr.i} - E_{stat.vid.i})^2}, \quad (2.18)$$

čia $E_{apr.i}$ – i -osios valandos aproksimuotos parametro vertės. Skirtingų aproksimavimo eilių vidutinės kvadratinės paklaidos pateiktos 2.10 lentelėje.

2.10 lentelė. Aproksimavimo paklaidos

Furjė koeficientų eilės Nr.	Vasaros saulėgrįža			Žiemos saulėgrįža		
	$m_{Dapr.}$ "	$m_{Iapr.}$ "	$m_{Fapr.}$ nT	$m_{Dapr.}$ "	$m_{Iapr.}$ "	$m_{Fapr.}$ nT
1	156,1	14,6	5,2	50,9	23,6	3,2
2	108,5	11,8	4,4	37,4	20,8	2,7
3	114,8	11,3	4,4	32,8	21,1	2,6
4	115,2	11,7	4,4	36,9	20,7	2,4
5	115,6	11,6	4,4	36,8	21,1	2,5

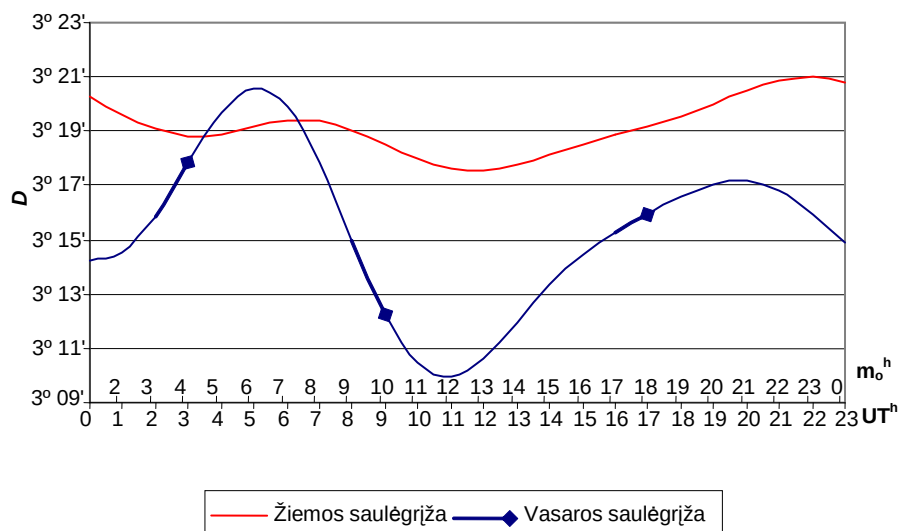
Iš lentelės matyti, kad vasaros saulėgrįžos laikotarpiu beveik visų, išskyrus deklinacijos, parametrų vertės tiksliausiai aproksimuojamos panaudojus trečios eilės Furjė koeficientus. Žiemos saulėgrįžos laikotarpiu D tiksliausiai aproksimuojama panaudojus trečios eilės Furjė koeficientus, I ir F – parametrų panaudojus ketvirtos eilės koeficientus. Atsižvelgus į gautus rezultatus tolimesniuose tyrimuose bus naudojami trečiosios eilės Furjė koeficientai.

D , I ir F parametrų aproksimuotas kitimas per parą saulėgrįžų laikotarpiais pavaizduota 2.13–2.15 paveiksluose. Grafikuose abscisių kryptimi atidėtas pasaulinis UT ir vietinis tikrasis Saulės m_o laikai, ordinačių kryptimi parametrų vertės. Tikrasis Saulės laikas skaičiuotas pagal formules:

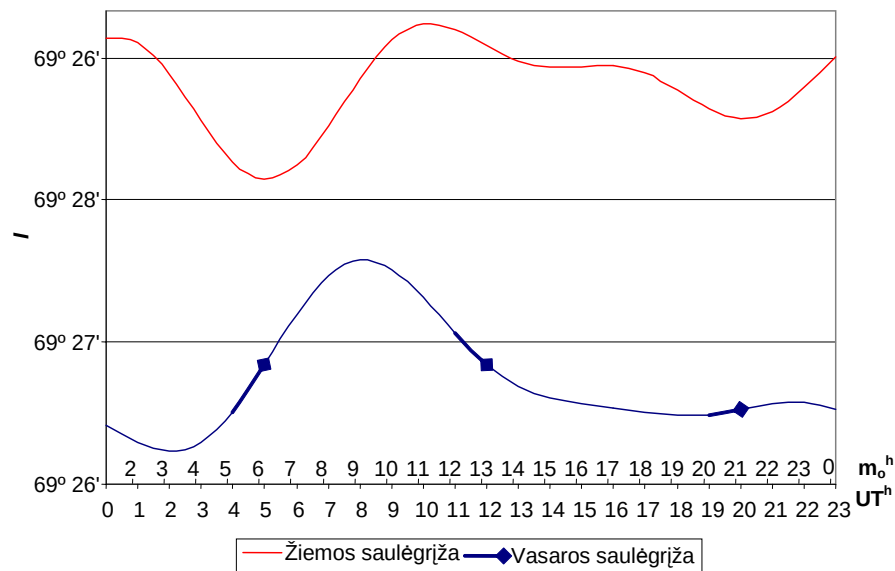
$$m = UT + \lambda, \quad (2.19)$$

$$m_o = m + \eta, \quad (2.20)$$

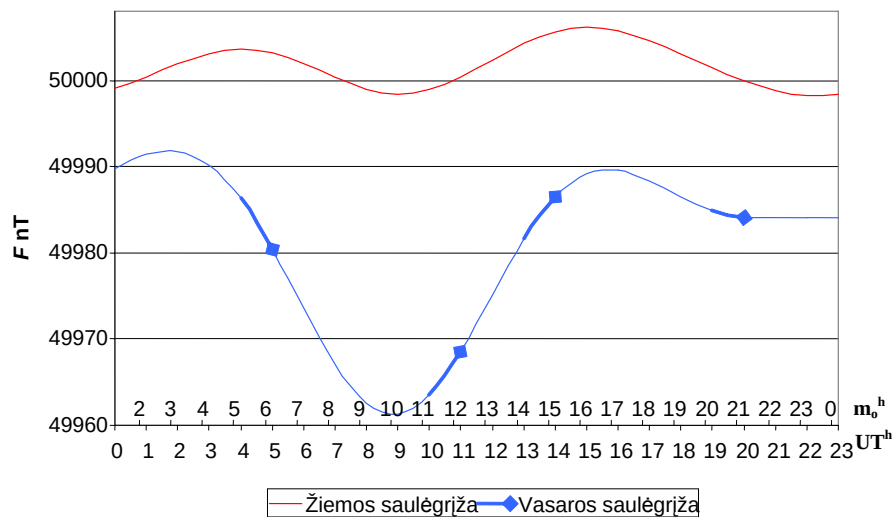
čia m – vietinis vidutinis Saulės laikas, η – laiko lygtis.



2.13. pav. D aproksimuotas kitimas per parą saulėgrįžų laikotarpiais



2.14. pav. I aproksimuotas kitimas per parą saulėgrįžų laikotarpiais



2.15. pav. F aproksimuotas kitimas per parą saulėgrįžų laikotarpiais

Per parą vasaros saulėgrįžos laikotarpiu D kinta $10,6'$, $I - 1,4'$ ir $F - 30$ nT diapazone. Žiemos saulėgrįžos metu parametrai kito atitinkamai $D - 3,5'$, $I - 1,1'$ ir $F - 8$ nT diapazonuose. Parametrų kitimo per parą diapazonų skirtumai rodo, kad geomagnetinio lauko parametrų kitimas priklauso nuo Saulės deklinacijos. Vasaros saulėgrįžos laikotarpiu, kai Saulės deklinacija yra didžiausia visi geomagnetinio lauko parametrai kinta platesniais diapazonais. Tokiu būdu turint matavimų observatorijoje duomenis ir taikant panašią metodiką galima nustatyti Saulės poveikį bet kuriai metų dienai.

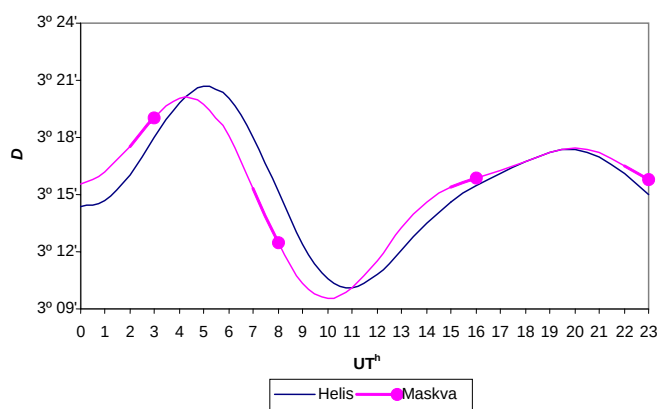
2.5. SAULĖS PARINIO POVEIKIO GEOMAGNETINIAM LAUKUI ĮVERTINIMO METODIKOS TESTAVIMAS

Ankstesniame poskyryje išnagrinėjome parinio Saulės poveikio įvertinimo metodiką. Įvertinome kaip įtakoja Saulės deklinacija pariniams geomagnetinių parametrų kitimams. Tą pačią dieną taškuose esančiuose ant vienos Žemės paralelės Saulės poveikis tais pačiais vietinio tikrojo Saulės laiko momentais turėtų būti artimas. Šio teiginio patikrinimui ir Saulės parinio poveikio įvertinimo metodikos testavimui paimti Helio ir Maskvos (Krasnaya Pakhra $B=55^{\circ}28,0'$; $L=37^{\circ}19,0'$) geomagnetinių observatorijų matavimų duomenys. Tyrimui parinktas vasaros saulėgrįžos laikotarpis ir nagrinėti D , I ir F parametrų pariniai kitimai. Taikant praeitame skyrelyje parengtą metodiką paimtos 5 parų laikotarpio valandinės parametrų vertės ir apdorojus statistiškai gautos to laikotarpio vidutinės valandinės parametrų vertės. Toliau jos apdorotos harmoninės analizės metodu, paskaičiuoti Furjė koeficientai ir išbraižytos parametrų kitimo aproksimuotos kreivės. Duomenų suvienodinimui, iš Maskvos observatorijos aproksimuotų verčių atimtas tarp abiejų observatorijų to laikotarpio vidutinis parametrų verčių skirtumas. Maskvos observatorijos geomagnetinio lauko parametrų išreikštų Furjė eilute koeficientai pateikti 2.11 lentelėje. Helio observatorijos duomenims paskaičiuoti Furjė koeficientai buvo pateikti 2.8 lentelėje.

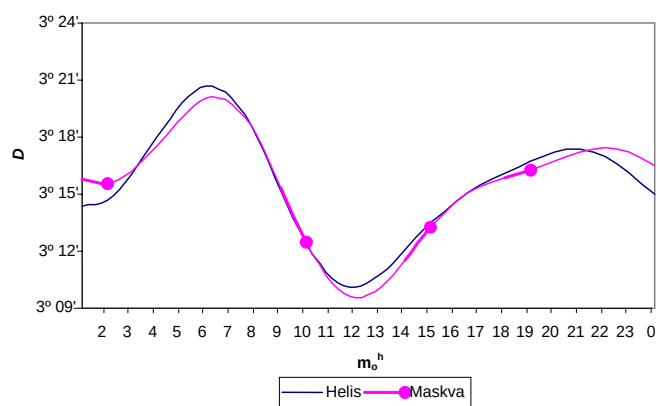
2.11. lentelė. Maskvos observatorijos geomagnetinio lauko parametrų išreikštų Furjė eilute koeficientai

Koeficientų eilės Nr.	D		I		F	
	a	b	a	b	a	b
1	0,047291	0,008378	-0,007262	0,005476	6,85580	-4,86218
2	-0,042258	0,009072	-0,002240	-0,006794	0,41976	7,71252
3	0,000448	-0,020704	0,001736	-0,001713	-1,18668	-0,12819

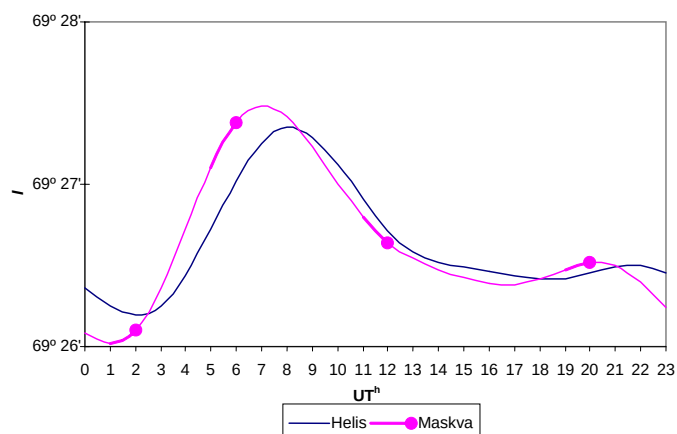
Vasaros saulėgrįžos laikotarpiu D , I ir F parametrų kitimas per parą Helio ir Maskvos geomagnetinėse observatorijose pavaizduota 2.16, 2.18 ir 2.20 paveiksluose. Tų pačių parametrų kitimas per parą perstūmus Maskvos observatorijos kitimo kreivę per ilgumų skirtumą, t. y. per $1^{\text{h}}14^{\text{m}}$ pavaizduotas 2.17, 2.19 ir 2.21 paveiksluose. Kreivių suvienodinimui iš Maskvos observatorijos parametrų verčių atimta atitinkamai: $D - 5^{\circ} 56'$; $I - 1^{\circ} 18'$ ir $F - 2137 \text{ nT}$.



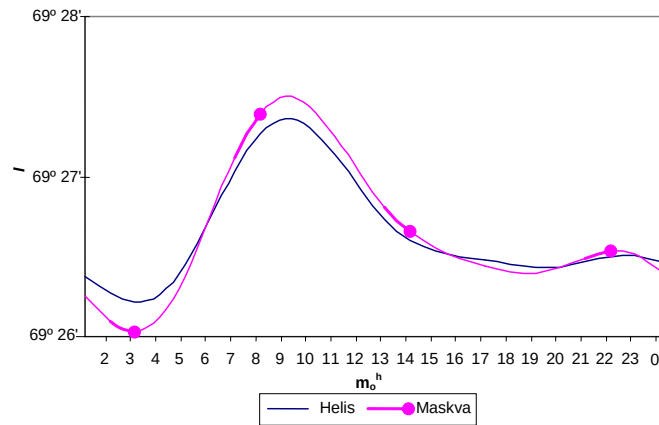
2.16. pav. Deklinacijos kitimas per parą pasauliniu laiku



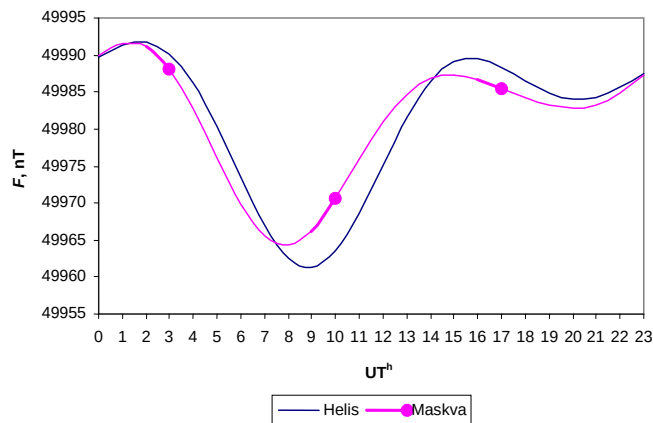
2.17. pav. Deklinacijos kitimas per parą vietiniu tikruoju Saulės laiku



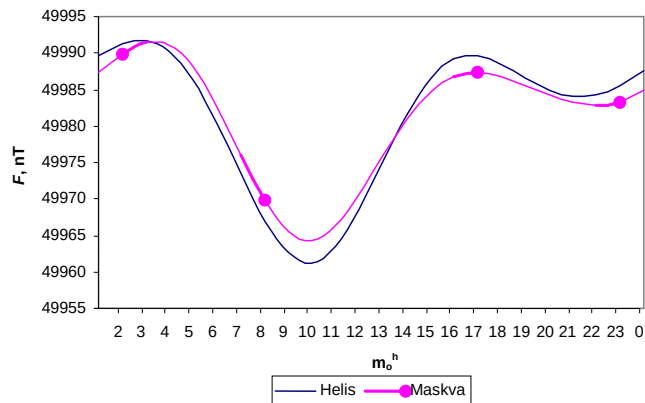
2.18. pav. Inklinacijos kitimas per parą pasauliniu laiku



2.19. pav. Inklinacijos kitimas per parą vietiniu tikruoju Saulės laiku



2.20. pav. Geomagnetinės indukcijos kitimas per parą pasauliniu laiku



2.21. pav. Geomagnetinės indukcijos kitimas per parą vietiniu tikruoju Saulės laiku

Apžvelgus visų parametrų kitimą paros laikotarpyje matyti, kad abejose observatorijose kitimas vyksta beveik vienodai, kitimo kreivių forma labai panaši, tačiau tam tikru atstumu jos pasislinkusios. Maskvos kreives perstūmus per ilgumą skirtumą, observatorių kitimo kreivės daug geriau sutapo. Kai kuriose vietose susidaręs kitimo skirtumas gali būti dėl Saulės nevienodo poveikio skirtingose platumose bei dėl kitų priežasčių.

Siekiant statistiškai įvertinti, ar perstūmus duomenis per ilgumų skirtumą sumažėja Saulės poveikių observatorijose skirtumai, paskaičiuosime koreliacijos koeficientus. Koeficientai skaičiuoti tarp valandinių parametrų verčių neperstūmtų per ilgumų skirtumą ir kai parametrų vertės perstūmtos. Koreliacijos koeficientų vertės pateiktos 2.12 lentelėje.

2.12 lentelė. Koreliacijos koeficientų vertės perstūmus ir neperstūmus per ilgumų skirtumą

Duomenys	D	I	F
Neperstūmus	0,91	0,92	0,94
Perstūmus	0,98	0,99	0,99

Lentelėje 2.12 matyti, kad Maskvos observatorijos duomenis perstūmus per ilgumų skirtumą daug geriau koreliuoja su Helio observatorijos duomenimis. Koreliacijos koeficientų vertės patvirtina perstūmtų kreivių geresnį sutapimą. Tai rodo, kad tuo pačiu vietinio tikrojo Saulės laiko momentu Saulės poveikis geomagnetinio lauko parametrams yra artimas. Tokiu būdu pagal observatorijos duomenis sudarytą Saulės poveikio kreivę galima naudoti ir punktuose esančiuose ant observatorijos paralelės. Žinant Saulės poveikį punkte, kuriame atliekami geomagnetinio lauko parametro matavimai, galima patikslinti skirtumą tarp parametro verčių išmatuotų punkte ir observatorijoje. Tam tikslui reikia eliminuoti Saulės poveikį iš parametro verčių gautų punkte ir observatorijoje. Tai gali būti efektyvu kai atliekama mažai matavimų ir kai punkto ilguma observatorijos atžvilgiu žymiai skiriasi. Tokiu būdu galima padidinti matavimo duomenų redukavimo tikslumą.

2.6. IŠVADOS

1. Atliktas geomagnetinių audrų įtakos geomagnetinių parametrų kitimui tyrimas. Nustatyta, kad audros metu visų parametrų vertės gali žymiai nukrypti nuo vidutinių metinių verčių. Turint tai omenyje svarbu tinkamai organizuoti geomagnetinio lauko parametrų matavimus, matavimų metu tikslinga stebėti geomagnetinio lauko būklę, esant reikalui juos nutraukti arba pratęsti.

2. Remiantis geomagnetinių observacijų duomenimis atlikta geomagnetinio lauko parametrų X , Y ir Z kitimo per parą analizė. Nustatyta, kad visi parametrai per parą kinta periodiškai, tačiau skirtingais metų laikais kitimo amplitudė ir diapazonas yra nevienodas. Y ir Z parametrų paros kitimo diapazonas didžiausias yra pavasarį (Y iki 56 nT, Z iki 26 nT), X parametro – vasarą (iki 34 nT). X ir Y parametrų mažiausias kitimo diapazonas yra žiemą (X iki 14 nT, Y iki 30 nT), o Z parametro – rudenį (iki 13 nT).

3. Taikant statistinį ir harmoninės analizės metodus išnagrinėta metodika Saulės pariniam poveikiui į geomagnetinio lauko parametrus įvertinti. Įvertinta Saulės poveikio priklausomybė nuo Saulės deklinacijos. Pagal observatorijos duomenis nustatytą Saulės poveikį galima naudoti ir punktuose, kurių platuma artima observatorijos platumai.

4. Žinant Saulės parinį poveikį geomagnetinių matavimų punkte ir observatorijoje, galima padidinti matavimo duomenų redukavimo tikslumą. Tai gali būti efektyvu kai atliekama mažai matavimų ir kai yra didesnis punkto ir observatorijos ilgumų skirtumas.

3. GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRŲ LIETUVOS TERITORIJOJE NUSTATYMAS IR JŲ AMŽIŲ VARIACIJŲ ĮVERTINIMAS

Geomagnetinio lauko parametrus priklausomai nuo norimo gauti tikslumo ir paskirties galima nustatyti įvairiais metodais, pagrindiniai jų nagrinėti pirmajame disertacijos skyriuje. Šiame skyriuje pristatyti Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko parametrų amžių variacijų tyrimai ir jų rezultatai. Taip pat pristatyti naujausi Lietuvoje daryti geomagnetinio lauko parametrų matavimai, kuriuose dalyvavo autorius. Matavimus atliko VGTU Geodezijos instituto specialistai bendradarbiaujant su Varšuvos Geodezijos ir kartografijos instituto specialistais Nacionalinės Žemės Tarnybos užsakymu pagal tarptautinį tyrimų projektą „Badania geodynamiczne metodami geodezyjnymi, grawimetrycznymi i magnetycznymi na obszarze polnocno-zachodniej czesci platformy Prekambryjskiej” (Šiaurės-vakarinės Prekambrio platformos dalies geodinaminiai tyrimai geodeziniais, gravimetriniais ir magnetiniais metodais). Nuo 2005 m. Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimo punktai įtraukti į MagNetE (angl. Magnetic Network in Europe) tinklą. Matavimai atlikti taikant Varšuvos geodezijos ir kartografijos instituto metodiką. Autorius išanalizavęs šią metodiką atlieka geomagnetinio lauko parametrų redukavimo galimybių tyrimus, kuriais remiantis parenkama tinkamiausia observatorija duomenims redukuoti. Redukavus matavimų duomenis nustatytos geomagnetinio lauko parametrų amžių variacijos ir atlikta jų analizė. Kitos galimybės matavimų metodikai patobulinti pristatytos ketvirtajame disertacijos skyriuje.

3.1. GEOMAGNETINIŲ TYRIMŲ PUNKTŲ TINKLAS

Geomagnetinio lauko parametrų vertės nuolat registruojamos geomagnetinėse observatorijose. Ilgalaikiai geomagnetinio lauko matavimai observatorijose leidžia nustatyti geomagnetinio lauko parametrų amžių variacijas. Observatorių tinklas yra gana retas, todėl norint detaliai ištirti geomagnetinio lauko pasiskirstymą erdvėje ir jo pokytį laike, reikia atlikti matavimus amžių variacijų tyrimo punktuose. Specialios konstrukcijos punktai, tolygiai išdėstyti teritorijoje ir juose periodiškai atliekami tikslūs geomagnetinio lauko parametrų matavimai leidžia detaliau ištirti geomagnetinius procesus vykstančius tam tikroje teritorijoje.

Projektuojant tinklo punktų įrengimo vietas, būtina atsižvelgti į tokiems punktam keliamus reikalavimus (Sas-Uhrynowski, A., 1984; 2003; Newitt, L.P., 1996). Projektuojant ir įrengiant amžių variacijų tyrimo punktus Lietuvos teritorijoje buvo prisilaikyta tokių reikalavimų

(Sas-Uhrynowski, A., 2002 (a); Sas-Uhrynowski, A., 2002 (b); Jucevičiūtė, V., 2003; Obuchovski, R., 2004; Kowalik, B., 2005; Petroškevičius, P., 2005):

- magnetinio lauko amžių variacijų tyrimo punktai įrengti ne arčiau kaip 300 m nuo geležinkelio, pastovios elektros energijos linijų, transformatorinių, elektros pastočių ar panašios paskirties įrenginių;

- punktai įrengti ne arčiau kaip 10 km nuo elektrinės ar hidroelektrinės statinių;

- parenkant punkto vietą atsižvelgta, kad arti nebūtų geležies, kitokių medžiagų telkinių, trikdančių geomagnetinį lauką;

- atstumas tarp punktų nebūtų didesnis kaip 200 km. Vidutinis atstumas 125 km;

- punkto koordinatėms GPS metodu nustatyti parinktas kuo atviresnis regimasis horizontas;

- netoli geomagnetinio lauko matavimo punktų parinkti nemažiau kaip du gerai matomi vizavimo objektai;

- punkto įrengimo vietoje tikrintas horizontalusis geomagnetinės indukcijos gradientas, kuris negalėjo viršyti 3 nT 1 metrui. Tikrinta rekognoskuojant protoniniu magnetometru 25 m² plote ties būsimo punkto vieta;

- magnetinis punktas koordinuotas GPS metodu;

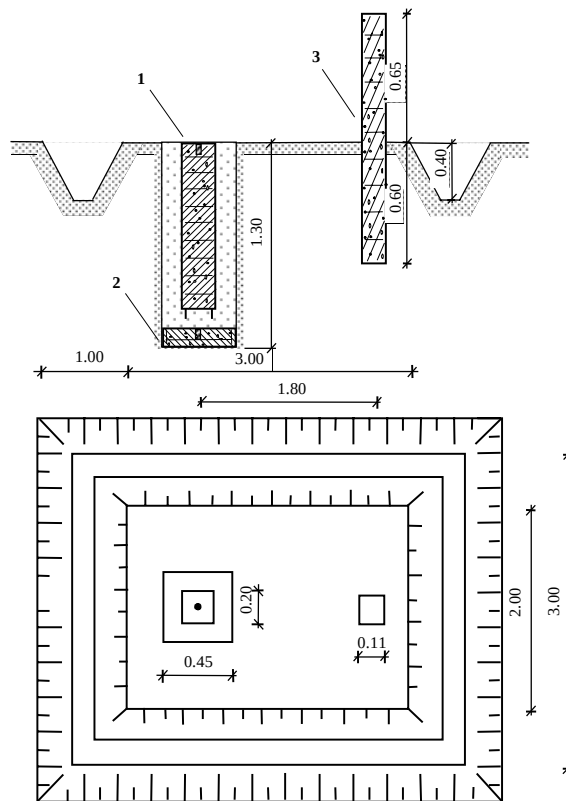
- kiekvienam punktui sudarytas geomagnetinio lauko matavimų punkto kroki. Kroki pateiktos punkto LKS 94 sistemos geodezinės ir plokštuminės koordinatės, punkto topografinė padėtis parodyta 1:10 000 ir 1:50 000 mastelio žemėlapiuose, pavaizduotas regimasis horizontas, ženklo brėžinys, orientavimo objektų schematiškas brėžinys, ženklo centro primatavimai ir punkto nuotrauka.

Vizavimo objektais parinkti elektros stulpų, pastatų, kaminų, įvairių bokštų ar kitų stabilių objektų šoninės briaunos ar simetrijos ašys. Atstumas nuo punkto iki šių objektų ne mažesnis kaip 200 m, o kampas tarp krypčių artimas 90°. Parenkant vizavimo objektus atsižvelgta į vietovės situaciją, atkreiptas dėmesys, kad ateityje krypčių neužstotų augmenija ar pastatai. Nebuvo parinktas taip pat labai toli esantis vizavimo objektas, nes prastomis oro sąlygomis jis galėtų būti nematomas.

Punktams įtvirtinti suprojektuotas nemagnetinis ženklas. Ženklo konstrukcija beveik nesiskiria nuo įprasto geodezinio gruntinio ženklo konstrukcijos, tačiau jo pagaminimui buvo keliami specifiniai reikalavimai. Pati svarbiausia sąlyga yra ta, kad ženklo konstrukcija neturėtų metalinių ar kitokių geomagnetinį lauką bei prietaisus veikiančių medžiagų. Ženklo stulpui ir pagrindo plokštei bei ženklo sargeliui panaudotas aukštos kokybės betonas kartu su stiklo pluošto armatūra. Ženklo markės, įtvirtintos ženklo stulpo ir pagrindo plokštės viršutinėje

plokštumoje pagamintos iš specialios medžiagos – ebonito, o sargelio lentelės iš getinakso. Punkto įtvirtinimo vietovėje brėžinys pavaizduotas 3.1 paveiksle.

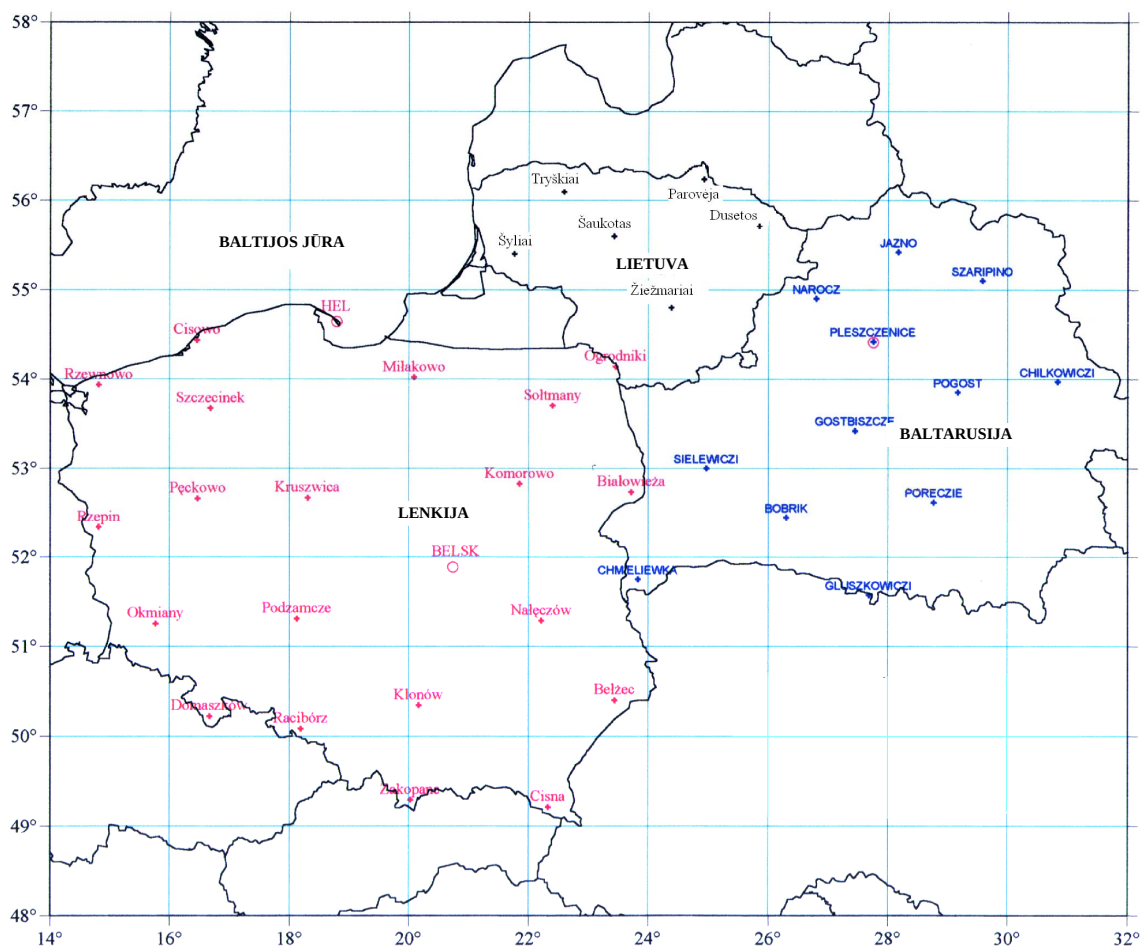
Punktas pavadintas tos vietovės pavadinimu. Punkto vieta parinkta ir punktas įtvirtintas taip, kad užtikrintų jo stabilumą ir lengvą suradimą kitiems stebėtojams, kurie matavimus atliks būtent toje pačioje vietoje po kelių ar keliasdešimt metų.



3.1 pav. Amžių variacijų tyrimo punkto įtvirtinimo brėžinys: 1 – ženklų stulpas, 2 – ženklų plokštė, 3 – sargelis.

Lietuvos teritorijoje 1999 m. suprojektuoti ir įtvirtinti 6 punktai, kuriuose atlikti tikslūs geomagnetinio lauko parametrų matavimai. Lietuvos punktai, kartu su 12 punktų esančių Baltarusijos teritorijoje ir 19 punktų Lenkijos teritorijoje (3.2 pav.), sudaro vieningą tinklą Prekambrio platformos šiaurinės – vakarinės dalies geomagnetinio lauko amžių variacijų stebėjimams atlikti. Tai pirmieji tokio pobūdžio geomagnetinio lauko tyrimai Lietuvos teritorijoje. Tinklo sudarymo darbuose, vėliau matavimuose bei matavimo rezultatų apdorojime dalyvavo šio darbo autorius.

Lietuvos teritorijoje suprojektuoti šeši geomagnetinio lauko matavimo punktai: Žiežmariai (Kaišiadorių raj.), Šyliai (Šilutės raj.), Tryškiai (Akmenės raj.), Šaukotas (Radviliškio raj.), Parovėja (Biržų raj.) ir Dusetos (Zarasų raj.).



3.2 pav. Geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimo punktų išdėstymo schema

3.2. GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRŲ MATAVIMO PRIETAISAI IR METODIKA

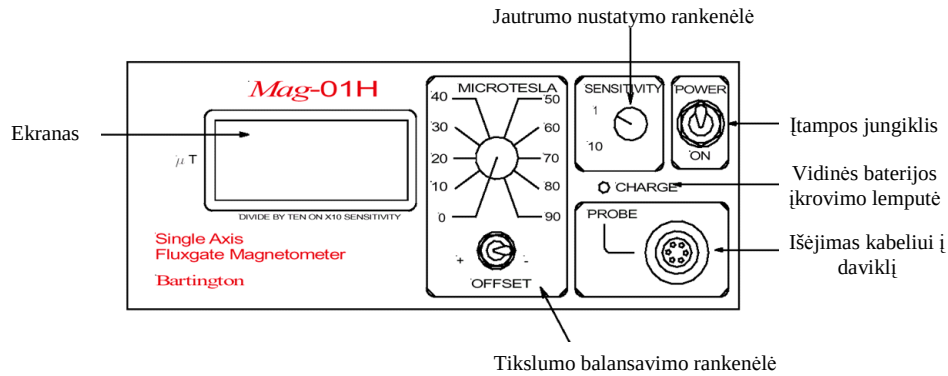
Tiek magnetinėse observatorijose tiek amžių variacijų tyrimo punktuose matuojami tokie trys geomagnetinio lauko parametrai, pagal kuriuos panaudojus ryšio formules būtų galima paskaičiuoti likusių parametrų vertes. Galima sudaryti keletą tokių „trejukių“ variantų, tačiau pasirenkami tie, kuriuos galima išmatuoti su turimais prietaisais. Lietuvos amžių variacijų tyrimo punktuose matuoti geomagnetinio lauko parametrai D , I ir F . Geomagnetinės indukcijos F matavimams naudotas *PMP* tipo protoninis magnetometras, kurio komplekte yra nemagnetinis stovas ir daviklis (Sas–Uhrynowski, A., 1968). Deklinacijai D ir inklinacijai I matuoti naudotas magnetometras *Mag-01H* (3.3 pav.), kurio komplektą sudaro (Operation and maintenance manual for Mag-01H Fluxgate declinometer/inclinometer):

- “Zeiss” firmos nemagnetinis teodolitas *Theo 010 B* (3.4, 3.5 pav.);
- *Fluxgate* daviklis, kuris stacionariai pritvirtintas prie teodolito žiūrono ir fiksuoja nemagnetinio teodolito žiūrono padėtį Žemės magnetinio dienovidinio atžvilgiu;

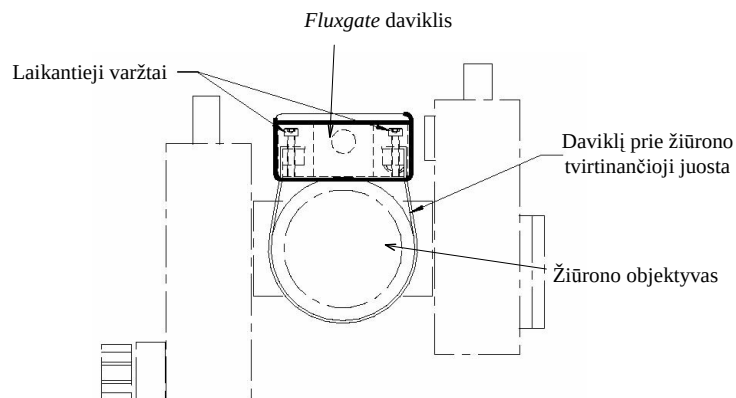
- magnetometras *Mag-01H* laidu sujungtas su *Fluxgate* davikliu.

Matavimų metu naudojamos papildomos priemonės:

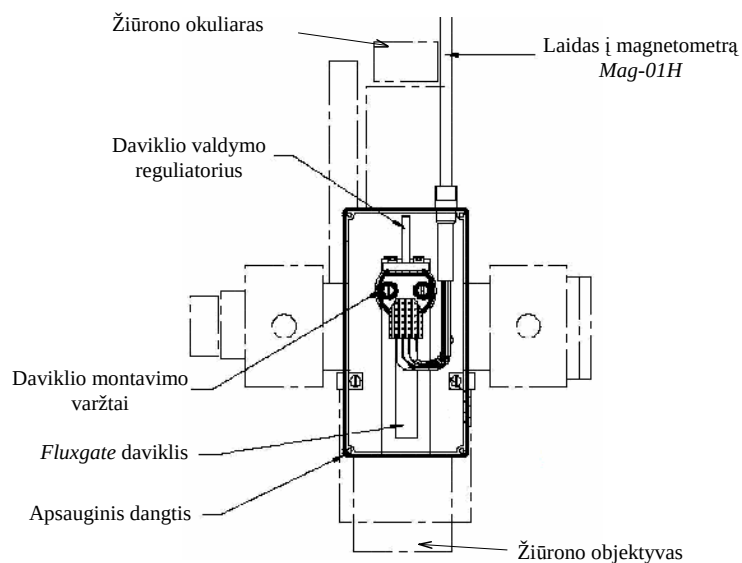
- nemagnetinis teodolito stovas;
- radiolaikrodis, automatiškai priimančias laiko signalus;
- nemagnetinis lietsargis, apsaugantis prietaisus nuo Saulės spindulių.



3.3 pav. Magnetometro *Mag-01H* priekinio skydelio vaizdas

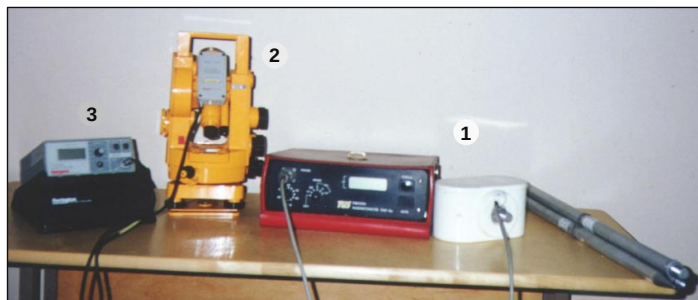


3.4 pav. Teodolito *Theo 010B* priekinis vaizdas



3.5 pav. Teodolito su *Fluxgate* davikliu schema

Geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimams Lietuvos teritorijoje naudotų prietaisų komplektas pavaizduotas 3.6 paveiksle.



3.6 pav. Geomagnetinio lauko matavimuose naudotas prietaisų komplektas: 1 – protoninis magnetometras *PMP-5a*, 2 – nemagnetinis teodolitas *Theo 010 B*, 3 – magnetometras *Mag-01H*

Firmos *Zeiss* nemagnetinis teodolitas turi tokius pačius techninius parametrus, kaip ir teodolitas *Zeiss Theo 010B*, kurio kampų matavimo vidutinė kvadratinė paklaida 1". Skirtumas tik tas, kad nemagnetinis teodolitas pagamintas iš spalvotųjų metalų.

Prie teodolito žiūrono pritvirtintas *Fluxgate* daviklis, kuris turi tenkinti pagrindinę sąlygą – daviklio magnetinė ašis turi būti lygiagreti žiūrono vizavimo ašiai. Ši sąlyga tikrinta, kalibruojant prietaisą laboratorijoje ir 10" tikslumu garantuota gamintojo. Magnetinės deklinacijos ir inklinacijos nustatymui (geomagnetinio lauko jėgų vektorių krypties nustatymui) panaudojamas fizikinis reiškiny. Jeigu daviklio *Fluxgate* magnetinė ašis yra statmena Žemės magnetinio lauko linijoms, tai daviklio apvijose elektra neindukuojama ir displėjuje atskaita lygi 0. Deklinacijos matavimo metu daviklio ašis bus statmena vektoriui F (žiūronas turi būti horizontalioje padėtyje, nukreiptas rytų – vakarų kryptyje). Magnetinės inklinacijos matavimo metu daviklio ašis bus statmena vektoriui F magnetinio dienovidinio plokštumoje. Abiem matavimo atvejais pastačius daviklį statmenai Žemės magnetinio lauko linijų ašims belieka atskaičiuoti teodolito atskaitas horizontaliajame (matuojant deklinaciją) bei vertikaliajame (matuojant inklinaciją) skritulių limbuose.

Geomagnetinei indukcijai matuoti naudotas protoninis magnetometras. Jo veikimo principas pagrįstas protonų judėjimu kintančio stiprumo magnetiniame lauke. Šiuo prietaisu F vertė matuojama 0,1 nT tikslumu (Sas–Uhrynowski, A., 1968). Dirbti su juo buvo labai paprasta, nes nereikėjo jo centruoti, gulsčiuoti ar orientuoti magnetinio dienovidinio atžvilgiu.

Matavimo sezono pradžioje ir pabaigoje magnetiniuose matavimuose naudoti prietaisai buvo patikrinti Belsko magnetinėje observatorijoje.

Geomagnetinio lauko amžių variacijoms įvertinti idealu būtų atlikti matavimus kas 1 metai. Tačiau finansiškai taip dažni matavimai būtų per brangūs, tad priimta kartoti juos kas 2 bet ne

rečiau kaip kas 4 metai. Tyrimais nustatyta, kad dažnesni matavimai bet retesniame punktų tinkle yra informatyvesni nei tankesnio tinklo matavimai bet rečiau laiko atžvilgiu (Sas–Uhrynowski, A., 2003)

Geomagnetinio lauko matavimų trukmė punkte priklausė nuo geomagnetinio lauko būklės. Jei geomagnetinis laukas buvo ramus, t.y. neįėjami jo staigūs pokyčiai, matavimai truko trumpiau. Atliekant matavimus, kada geomagnetinis laukas neramus, atidžiai stebėtos išmatuotų duomenų kitimas, reikalui esant buvo pratęsiami matavimai ir atliekama daugiau matavimo ruožų. Geomagnetinės audros metu matavimai buvo nutraukiami ir pratęsiami tik jai pasibaigus. Matavimo ruožų skaičius nebuvo nustatytas, matuota tiek, kiek reikalinga norint gauti kuo tikslesnius rezultatus. Matavimų paklaidos atskiriems geomagnetinio lauko parametrams neturėjo viršyti: D ir I – 20" (0,005°), H – 1,5 nT, Z mažiau 1,0 nT ir F – 0,5 nT (Sas–Uhrynowski, A., 2003). Vienaime punkte vidutiniškai sugaišta apie 40 val. Atvykus į punktą apžvelgta ar šalia punkto nėra žymių pokyčių (pastatytų naujų statinių, įrengtų elektros linijų ir pan.), kurie įtakotų matavimų duomenis. Tikrinta taip pat ar žymiai nepakitęs geomagnetinio lauko gradientas, nepažeistas ar neišjudintas punkto ženklas, ar matomos senos vizavimo kryptys. Matavimai punkte daryti tokia tvarka:

Pirma diena:

- po pietų atvykta į punktą ir atlikti 2 geomagnetinio lauko matavimų ruožai, tarp kurių daryta 30 minučių pertrauka. Vienu matavimo ruožtu 2 kartus išmatuoti 3 geomagnetinio lauko parametrai: D , I ir F .

Antra diena:

- atlikti rytiniai geomagnetinio lauko matavimai – 2 matavimų ruožai;
- atlikti geomagnetinio lauko matavimai per pietus – 2 matavimų ruožai;
- atlikti vakariniai geomagnetinio lauko matavimai – 2 matavimų ruožai.

Trečia diena:

- atlikti rytiniai geomagnetinio lauko matavimai – 2 matavimų ruožai. Tuo matavimai punkte baigti, pervažiuota į kitą punktą ir jame matuota tokia pačia tvarka.

Matuojant geomagnetinio lauko parametrus vieną matavimų ruožą sudarė du nepriklausomi matavimai. Jie atlikti tokia tvarka:

- protoniniu magnetometru matuotas parametras F (atskaičiuotos 6 atskaitos);
- esant teodolito vertikaliam skrituliui žiūrono kairėje pusėje vizuota į abu objektus ir atskaičiuotos horizontaliojo limbo atskaitos;
- esant vertikaliam skrituliui abiejose žiūrono padėtyse, atskaičiuota horizontaliojo limbo atskaita (kai žiūronas statmenas magnetiniam dienovidiniui o žiūrono padėtis horizontali)

ir vertikaliajame limbe (esant žiūronui lygiagrečiai magnetiniam dienovidiniui ir statmenam magnetinio lauko jėgų linijoms). Kiekvienos atskaitos momentas fiksuotas laikrodžio parodymu.

- esant teodolito vertikaliajam skrituliui žiūrono dešinėje pusėje vizuota į abu objektus ir atskaičiuotos horizontaliojo limbo atskaitos;
- protoniniu magnetometru matuotas F parametras.

Matavimų momentai, F parametro vertės, teodolito limbų atskaitos matuojant D ir I parametrus surašytos į specialios formos matavimų žurnalą. Žurnale atlikti pradiniai skaičiavimai, stebėta ar nepadaryta grubių matavimo klaidų, stebėta geomagnetinio lauko būseną. Po 30 minučių pertraukos atliktas kitas matavimų ruožtas. Viso viename punkte matavimams sugaištama 3 dienas (įskaitant ir pervažiavimus).

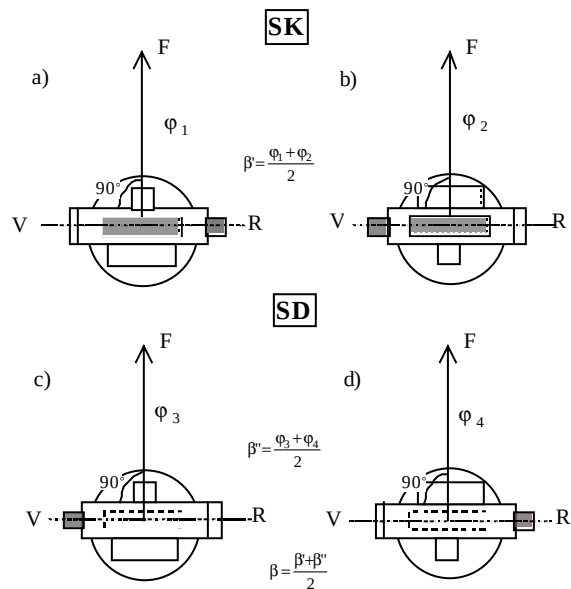
3.2.1. Magnetinės deklinacijos nustatymas

Deklinacijai nustatyti prie teodolito žiūrono pritvirtintas *Fluxgate* daviklis kabeliu prijungtas prie magnetometro *Mag-01H*. Teodolito vertikaliajo skritulio padėtis – žiūrono kairėje, o daviklis – žiūrono viršuje. Teodolito vertikaliajame limbe nustatyta atskaita $0^{\circ}00'00''$, kuri per visą deklinacijos matavimo laiką išliko nepakitusi. Teodolito žiūronas pagal magnetometro parodymus apytiksliai nukreiptas į vakarus, o atskaita horizontaliajame limbe nustatyta truputį didesnė nei 90° . Tai daryta tam, kad vidutinė atskaita teodolito horizontaliajame skritulyje, esant žiūronui magnetinio dienovidinio plokštumoje, būtų ne mažesnė kaip 180° . Po to paeiliui vizuota į du pasirinktus vizavimo objektus ir atskaičiuota horizontaliajame limbe. Žiūronas pasuktas statmenai magnetinio dienovidinio plokštumai (3.7 pav. a). Horizontalaus skritulio mikrometriniu sraigtu teodolitas suktas į tokią padėtį, kad magnetometro ekrane visi parodymai būtų nuliai (t.y. žiūrono vizavimo ašis statmena magnetinio dienovidinio plokštumai). Suradus tokią žiūrono padėtį, 1 sekundės tikslumu fiksuotas laikas. Tuomet atskaityta iš horizontalaus limbo ir atskaita užrašyta matavimų žurnale (3.1 lentelė).

Žiūronas suktas 180° kampu (3.7 pav. b), t.y. į rytus, patikrinta atskaita vertikaliajame limbe. Horizontalaus limbo mikrometriniu sraigtu teodolitas sukinėtas į vieną ir kitą pusę tol, kol surasta tokia padėtis, kuomet magnetometro ekrane visi parodymai buvo nuliai (teodolito žiūronas statmenas magnetinio dienovidinio plokštumai). Tuomet 1 sekundės tikslumu fiksuotas laikas ir žurnale užrašyta horizontalaus skritulio atskaita. Žiūronas verstas per zenitą ir vertikaliajam skrituliui esant iš dešinės pusės, visi veiksmai kartoti (3.7 pav. c ir d).

3.1 lentelė. Deklinacijos matavimų žurnalas

Data	Punkto pavadinimas		Matuotojas	Užrašinėtojas		DEKLINACIJA	
07.07.01	Parovėja		R. Obuchovski	A. Sas - Uhrynowski		Teodolitas Theo 010 B Nr. 153232	
Kryptis	Laikas	Atskaita horizontaliaja- me skritulyje	Kontrolinis vidutinės Šiaurės krypties skaičiavimas		Momentinė redukcija	Pataisytos atskaitos	Deklinacijos skaičiavimas
	h m	° ' "	° ' "			° ' "	° ' "
↑	V 17 12,0	90 35 04	↑	vid. 180 34 36			vid.
	R 14,0	270 34 07		vid.krypt. 180 34 28			vid.
↓	R 15,5	90 40 07	↓	vid. 180 34 19			M_m 180 34 28
	V 16,5	270 28 31					M 127 16 51
							A_m 306 42 23
							A_∞ 312 10 32
							$D_{išm.}$ 5 28 09
M I	SK	127°16'50"	SD	307°16'52"	vid.	127°16'51"	D_{obs}
M II	SK	156°56'14"	SD	336°56'13"	vid.	156°56'14"	ΔD
↑	V 17 41,0	90 35 23	↑	vid. 180 34 55			vid.
	R 43,0	270 34 27		vid.krypt. 180 34 44			vid.
↓	R 44,5	90 40 22	↓	vid. 180 34 32			M_m 180 34 44
	V 46,5	270 28 41					M 127 16 44
							A_m 306 42 00
							A_∞ 312 10 32
							$D_{išm.}$ 5 28 32
M I	SK	127°16'42"	SD	307°16'46"	vid.	127°16'44"	D_{obs}
M II	SK	156°56'10"	SD	336°56'07"	vid.	156°56'08"	ΔD



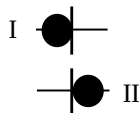
β – vidutinė horizontaliojo limbo atskaita, kada žiūrono vizavimo ašis lygiagreti magnetinio dienovidinio plokštumai
 φ – atskaita horizontaliajame limbe, kada žiūrono vizavimo ašis statmena magnetinio dienovidinio plokštumai

3.7 pav. Teodolito žiūrono padėtys deklinacijos matavimo metu

Magnetinės deklinacijos nustatymui būtina nustatyti krypčių į objektus astronominį azimutą, kuris dažniausiai nustatomas pagal Saulės valandinį kampą. Naudota Varšuvos Geodezijos ir kartografijos instituto specialistų parengta azimuto nustatymo metodika (Sas–Uhrynowski, A., 2001). Astronominio azimuto matavimai atlikti ryte arba vakare, kada Saulės zenitinis nuotolis pakankamai didelis ($50^\circ - 80^\circ$). Laikui nustatyti naudotas laikrodis, priimančias laiko signalus 0,5 sekundės tikslumu.

Astronominių matavimų ruožtas amžių variacijų punkte atliktas tokia tvarka:

- esant vertikaliam skrituliui kairėje pusėje, vizuota į pirmąjį objektą ir atskaičiuota horizontaliojo skritulio limbe;
- tris kartus, I ir II padėtyse (3.8 pav.) vizuota į Saulę, kiekvieną kartą atskaičiuojant laikrodžio parodymus ir horizontaliojo limbo atskaitas;
- vizuota į antrąjį vizavimo objektą ir atskaičiuota horizontaliojo skritulio limbe;
- žiūronas verstas per zenitą ir esant vertikaliam skrituliui dešinėje pusėje, vizuota į antrąjį objektą ir atskaityta horizontaliajame limbe;
- tris kartus, I ir II padėtyse vizuota į Saulę, atskaičiuoti laikrodžio parodymai bei horizontaliojo limbo atskaitos;
- matavimų ruožtas baigtas vizuojant į pirmąjį objektą ir atskaičiuojant horizontaliajame limbe.



3.8 pav. Saulės ir žiūrono siūlelių padėties, vizuojant į Saulę

Kiekviena punkte atlikta po du matavimų ruožtus. Prieš vizuojant į Saulę ant teodolito žiūrono uždėtas apsauginis filtras. Prietaisai nuo Saulės tiesioginių spindulių apsaugoti skėčiu. Atskaitos horizontaliajame limbe bei laikrodžio parodymai užrašyti į matavimų žurnalą (3.2 lentelė).

Matavimų pradžioje ir pabaigoje užrašyti termometro ir barometro parodymai. Matavimų žurnaluose apskaičiuotos krypties į vietovės objektą bei krypties į Saulę vidutinės vertės. Apskaičiuotas kampas tarp šių krypčių. Skaičiuotas pasaulinis laikas stebėjimo momentui. Pagal *Azymut.exe* programą suskaičiuota krypties į Šiaurę horizontaliojo limbo atskaita. Skaičiavimo rezultatų pavyzdys pateiktas 3.9 paveiksle.

3.2 lentelė. Astronominio azimuto matavimų žurnalas

Punktas		Parovėja						Matuotojas		R. Obuchovski				
Data	07.07.01	Prietaisas			Theo 010 B Nr. 153232			Užrašinėtojas		A. Sas-Uhrynowski				
Vizavimo objektas	Chronometro atskaitos						Horizontalaus skritulio atskaitos							
	momentiniai			vidutiniai			I		II		vidutinės			
	h	m	s	h	m	s	°	'	"	'	"	°	'	"
M I							127°	16'	46"	16'	47"	127	16	46
1  s	9	39	57,0	9	40	24,5	296	17	18			296	02	40,0
	40	52,0	295				48	02						
2  s	41	19,5	41	37,0			296	40	20			296	22	58,5
	41	54,5					296	05	37					
3  s	42	21,0	41	35,25			296	57	47			296	39	23,0
	42	49,5					296	20	59					
4  s	9	45	57,0	41	24,75		118	58	45			118	14	00,5
	46	52,5	117				29	16						
5  s	47	30,5	41	47,5			118	25	17			118	07	36,5
	48	04,5					117	49	56					
6  s	49	13,0	41	33,5			118	54	46			118	37	54,0
	49	54,0					118	21	02					
M I	127° 16' 51"		307° 16' 52"			127	16	51	16	52	127	16	52	
Temperatūra	23,8°C		23,9°C											
Slėgis	741 mmHg		741 mmHg											

OBLICZONE WARTOSCI MIEJSCA POLNOCY - Ziezmariiai 2004.04.10

st. min. sek.

 MP= 173 55 30,0
 MP= 173 55 38,6
 MP= 173 55 45,5
 MP= 173 55 45,7
 MP= 173 55 37,3
 MP= 173 55 39,8

Srednia wartosc MP= 173 55 39,5 blad= 2,4

3.9 pav. Programos *Azymut.exe* skaičiavimo pavyzdysPaveiksle 3.9 $MP = M_N$ (laipsniai minutės sekundės), *blad* – vidutinė kvadratinė paklaida

Krypties į vietovės objektą astronominis azimutas skaičiuotas pagal formulę:

$$a = M - M_N \quad (3.1)$$

čia M – horizontaliojo limbo atskaita žiūroną nukreipus į vizavimo objektą, M_N – krypties į šiaurę horizontaliojo limbo atskaita, paskaičiuota pagal *Azymut.exe* programą (Sas-Uhrynowski, A., 2000).

1999 m. išmatuotų krypčių astronominių azimutų vertės ir jų paklaida, šešiuose Lietuvos teritorijos amžių variacijų stebėjimų punktuose pateiktos 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Krypčių į vizavimo objektus astronominis azimutas (1999 m.)

Punktas	α M1 M2	m_a
ŽIEŽMARIAI	23° 03' 46" 42° 53' 31"	3,0"
DUSETOS	215° 47' 46" 327° 13' 15"	2,5"
PAROVĖJA	312° 10' 32" 341° 49' 53"	4,6"
ŠAUKOTAS	196° 57' 22" 251° 12' 51"	6,2"
TRYŠKIAI	43° 37' 02" 157° 53' 14"	8,7"
ŠYLIAI	332° 56' 59" 42° 39' 00"	2,2"

Dalis vizavimo objektų, parinktų atliekant 1999 m. geomagnetinius matavimus, buvo sunaikinti, todėl atliekant 2004 m. matavimus teko parinkti naujus arba atlikti matavimus su vienu senuoju. Parinkus naujus vizavimo objektus išmatuoti krypties į juos astronominiai azimutai. Punktuose Žiežmariai, Šaukotas ir Šyliai išliko tik po vieną senąjį vizavimo objektą, todėl buvo parinkta dar po vieną naują. Dusetų punkte antrasis vizavimo objektas (elektros stulpo su paspara simetrijos ašis) sunaikintas, ir nesant kitų tinkamų objektų, matavimuose naudotas tik vienas. Parinkus naujus vizavimo objektus nustatyti krypčių į juos astronominiai azimutai bei pakartoti matavimai į senuosius. Astronominio azimuto nustatymo paklaida neviršijo 2,5". Astronominių azimutų vertės pateiktos 3.4 lentelėje. Astronominių azimutų į naujuosius vizavimo objektus vertės lentelėje išskirtos.

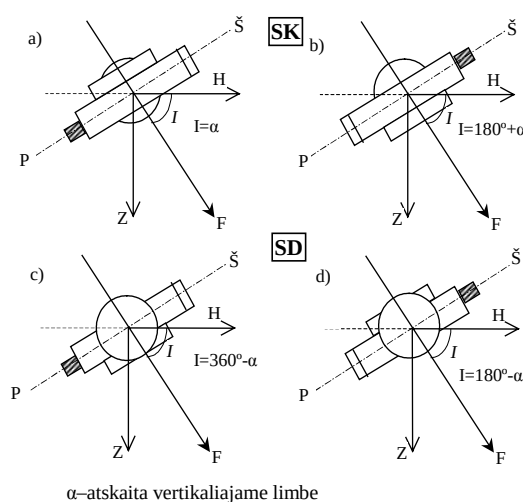
3.4 lentelė. Krypčių į vizavimo objektus astronominis azimutas (2004 m.)

Punktas	α M1 M2	Nustatymo paklaida
Žiežmariai	23° 04' 13" 44° 42' 56"	2,5"
Šaukotas	192° 38' 37" 251° 12' 56"	1,9"
Šyliai	332° 57' 23" 26° 33' 20"	1,9"

3.2.2. Inklinacijos matavimai

Inklinacijos nustatymui teodolito žiūronas pasuktas lygiagrečiai magnetiniam dienovidiniui, o horizontaliajame limbe užstatyta atskaita, kuri gauta deklinacijos matavimo metu. Teodolito

vertikaliajo skritulio pradinė padėtis – žiūrono kairėje (daviklis – žiūrono viršuje) (3.10 pav. a). Vertikalaus skritulio mikrometriniu sraigtu surasta tokia žiūrono padėtis, kai magnetometro *Fluxgate* ekrano visi parodymai buvo nuliai. Tada 1 sekundės tikslumu fiksuotas laikas ir atskaityta vertikaliajame limbe. Atskaityta kaip galima greičiau, nes inklinacija kinta daug greičiau nei deklinacija. Limbo atskaita ir laikas užrašyti matavimų žurnale (3.5 lentelė). Žiūronas verstas per zenitą ir nukreiptas į pietus (3.10 pav. b). Vertikalaus skritulio mikrometriniu sraigtu žiūronas sukiotas aukštyn – žemyn tol, kol surasta padėtis, kurioje daviklio parodymai ekrane buvo nuliai, 1^s tikslumu fiksuotas laikas, atskaityta vertikalaus limbo atskaita ir laikas, užrašyti žurnale. Toliau žiūronas verstas per zenitą ir kartota analogiška procedūra, vertikaliajam skrituliui esant dešinėje žiūrono pusėje (3.10 pav. c ir d).



3.10 pav. Teodolito žiūrono padėtys inklinacijos matavimo metu

3.5 lentelė. Inklinacijos matavimų žurnalas

Data	Punkto pavadinimas			Matuotojas			Užrašinėtojas					
01.07.07	Parovėja			R. Obuchovski			A. Sas–Uhrynowski					
Kryptis	Laikas h m		Atskaita vertikaliajame skritulyje ° ' "			Inklinacija ° ' "			Vidutinė inklinacija ° ' "			
↑ Š	17	19.5	SK	70	41	30	70	41	30	70 42 20 70 41 11 70 40 02		
↓ P	21.0		SD	250	43	10	70	43	10			
↓ Š	22.5		SD	359	59	60	70	39	19			
↑ P	25.0		SK	179	59	60	70	40	45			
Magn. šiaurės atskaita : 180°34'28"; 180°34'44"												
↑ Š	17	48.0	SK	70	41	22	70	41	22	70 42 12 70 41 00 70 39 47		
↓ P	49.0		SD	250	43	03	70	43	03			
↓ Š	50.5		SD	359	59	60	70	38	53			
↑ P	51.3		SK	179	59	60	70	40	41			
				289	20	41						
				109	19	15						

3.2.3. Geomagnetinės indukcijos matavimai

Išmatavus inklinaciją toliau protoniniu magnetometru 0,1 nT tikslumu matuota geomagnetinė indukcija. Virš punkto pastatytas nemagnetinis stovas ant kurio pritvirtintas daviklis sujungtas su protoniniu magnetometru. Laikrodžiu fiksuotas matavimų pradžios laikas ir periodiškai 6 kartus per minutę (kas 10 sekundžių) atskaityti prietaiso parodymai. Matavimus stengtasi pradėti einamosios minutės viduryje. Pabaigoje apskaičiuotas atskaitų vidurkis.

Geomagnetinės indukcijos matavimais užbaigiamas matavimų ruožtas. Vienam geomagnetinio lauko parametrų matavimų ruožtui sugaišta apie 15–20 minučių. Matavimus ruošte stengtasi atlikti kaip įmanoma greičiau, nes redukuojant matavimus pirmajam matavimų momentui, laiko skirtumas tarp atskaitymų turi būti kiek įmanoma mažesnis. Po 20–25 minučių pertraukos, kartojant tuos pačius matavimų veiksmus, atliktas antrasis matavimų ruožtas.

Lietuvos amžių variacijų tyrimo punktuose 1999 m., 2001 m. ir 2004 m. išmatuota geomagnetinė deklinacija, inklinacija ir geomagnetinė indukcija. Matavimai daryti pagal aukščiau pateiktą parametrų matavimo metodiką

3.3. GEOMAGNETINĖS OBSERVATORIJOS PARINKIMAS GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRAMS REDUKUOTI

Išmatuoti amžių variacijų tyrimo punktuose geomagnetinio lauko duomenys toliau turi būti atitinkamai apdoroti. Dėl nuolat kintančio geomagnetinio lauko neįmanoma tiesiogiai palyginti skirtingomis dienomis išmatuotų lauko parametrų matavimo duomenų ir spręsti apie geomagnetinio lauko ilgalaikį pokytį. Geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimais siekiama nustatyti vidinio geomagnetinio lauko (dėl Žemės vidaus sukeltų priežasčių) pokytį, tad matavimo duomenis būtina atsieti nuo išorinio geomagnetinio lauko poveikio.

Geomagnetinio lauko matavimo duomenys dažniausiai redukuojami į metų vidurį. Punktuose geomagnetinio lauko matavimai vykdomi kelias dienas, juose atliekami keli magnetinio lauko parametrų stebėjimo ruožtai. Magnetinio lauko parametro vidutinei metinei vertei apskaičiuoti reikalingi ilgalaikiai ir ištisiniai to parametro stebėjimai. Tokie stebėjimai vykdomi geomagnetinėse observatorijose. Magnetinėje observatorijoje vidutinės metinės parametro vertės skaičiavimai pateikti disertacijos antrajame skyriuje.

Amžių variacijų tyrimo punkte magnetinė deklinacija skaičiuota pagal formulę:

$$D_{išm.} = a - a_m, \quad (3.2)$$

čia a ir a_m – išmatuoti krypties į vietovės objektą atitinkamai astronominis ir magnetinis azimutai.

Krypties į vietovės objektą magnetinis azimutas a_m skaičiuotas pagal formulę:

$$a_m = M - M_m, \quad (3.3)$$

čia M – vienu matavimo ruožtu gauta horizontaliojo skritulio atskaita, vizuojant į vietovės objektą, M_m – vienu matavimo ruožtu gauta horizontaliojo skritulio atskaita, vizuojant žiūronu magnetinio dienovidinio kryptimi. Kiekvienu matavimo momentu nustatoma deklinacijos vertė magnetinėje observatorijoje. Stebėjimo momentų amžių variacijų tyrimo punktų ir observatorijos deklinacijų skirtumai ΔD apskaičiuojami (Newitt, L.R., 1996):

$$\Delta D = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} (D(x_i, t_k) - D(O, t_k))}{n}. \quad (3.4)$$

čia n – matavimų skaičius; $D(x_i, t_k)$ – deklinacijos vertė x_i amžių variacijų tyrimo punkte t_k matavimo momentu; $D(O, t_k)$ – deklinacijos vertė observatorijoje tuo pačiu t_k matavimo momentu.

Observatorijoje sukaupus magnetinio lauko matavimų duomenis per visus metus, skaičiuojama vidutinė metinė deklinacijos vertė $D(O, t_{vid.})$. Tada amžių variacijų tyrimo punktų deklinacijos vertė $D(x_i, t_{vid.})$ metų viduriui bus:

$$D(x_i, t_{vid.}) = D(O, t_{vid.}) + \Delta D. \quad (3.5)$$

Magnetinės inklinacijos matavimų duomenys apdorojami taip pat, kaip ir magnetinės deklinacijos duomenys. Kiekvienu matavimo momentu nustatomi observatorijos ir punkto inklinacijos skirtumai ΔI :

$$\Delta I = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} (I(x_i, t_k) - I(O, t_k))}{n}. \quad (3.6)$$

Observatorijoje sukaupus visų metų magnetinio lauko stebėjimų duomenis, apskaičiuojama vidutinė metinė inklinacijos vertė $I(O, t_{vid.})$. Amžių variacijų tyrimo punktų inklinacijos vertė $I(x_i, t_{vid.})$ metų viduriui bus:

$$I(x_i, t_{vid.}) = I(O, t_{vid.}) + \Delta I . \quad (3.7)$$

Panašiai skaičiuojama ir geomagnetinės indukcijos vidutinė metinė vertė punkte. Iš protoniniu magnetometru gautų 6 vieno ruožto matavimų skaičiuojamos magnetinės indukcijos $F(x_i, t_k)$ vertės vidurkis. Pagal observatorijos duomenis matavimų momentu apskaičiuojama observatorijos geomagnetinės indukcijos $F(O, t_k)$ vertė. Toliau įvertinamas observatorijos ir punkto parametrų verčių skirtumų ΔF vidurkis:

$$\Delta F = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} (F(x_i, t_k) - F(O, t_k))}{n} . \quad (3.8)$$

Pagal apskaičiuotą observatorijos vidutinę metinę geomagnetinės indukcijos vertę $F(O, t_{vid.})$ apskaičiuojama punkto parametro F vertė metų viduriui $F(x_i, t_{vid.})$:

$$F(x_i, t_{vid.}) = F(O, t_{vid.}) + \Delta F . \quad (3.9)$$

Apdorojant Lietuvos amžių variacijų tyrimo punktuose darytus matavimus susiduriama su magnetinės observatorijos parinkimo problema. Lietuvoje geomagnetinės observatorijos nėra, tad matavimų duomenis reikia redukuoti kaimyninių observatorijų atžvilgiu. Arčiausiai Lietuvos nuolat veikiančios geomagnetinės observatorijos, kuriose geomagnetinio lauko parametrų vertės pateikiamos kas minutę yra Belskas, Helis, Lovo ($B=59^{\circ} 20' 38,4''$; $L=17^{\circ} 49' 26''$) ir Nurmijarvi ($B=60^{\circ} 30' 29''$; $L=24^{\circ} 39' 18''$). Atliksime tyrimus tinkamiausiai observatorijai parinkti Lietuvoje darytiems matavimams redukuoti. Tyrimui parinkti 1999 ir 2001 m. matavimo duomenys ir jie redukuoti Helio, Lovo, Nurmijarvi ir Belsko observatorijų atžvilgiu. Apskaičiuoti kiekvieno matavimo ruožto matuotų parametrų (D , I ir F) vertės amžių variacijų tyrimo punkte bei gauti ruožtų skirtumai tarp observatorijos ir punkto. 1999 m. deklinacijos redukavimo skaičiavimai pateikti priede 1-6 lentelėse. Deklinacijos vidutinės metinės vertės amžių variacijų tyrimo punktuose pateiktos 7 lentelėje. Jos apskaičiuotos pagal atskirų observatorijų duomenis. Didžiausias redukuotų pagal atskiras observatorijas deklinacijos verčių skirtumas gautas Žiežmarių punkte, kur deklinacijos vertės redukuotos pagal Belsko ir Lovo observatorijas skyrėsi iki 2'. Analizuojant gautas vidutines kvadratinės paklaidas pastebima, kad mūsų punktuose deklinacijos kitimas geriausiai atitinka Belsko observatorijos deklinacijos kitimą, o labiausiai nesutampa su Lovo observatorijos deklinacijos kitimu.

Analizuojant 1999 m. matuotas ir redukuotas pagal atskiras observatorijas inklinacijos vertes (priedo 15 lentelė) matyti, kad panašiai kaip deklinacijos atveju didžiausias verčių skirtumas gautas Žiežmarių punkte, inklinacijos vertės redukuotos pagal Belsko ir Lovo observatorijas skyrėsi iki 30". Lygiai taip pat ir paklaidos mažiausios gautos redukavus Belsko observatorijos atžvilgiu, didžiausios Lovo atžvilgiu.

Analizuojant geomagnetinės indukcijos 1999 m. redukuotas vertes (priedo 23 lentelė) pastebima, kad didžiausias skirtumas gautas Žiežmarių punkte, kur vertės redukuotos pagal Belsk ir Nurmijarvi observatorijas skyrėsi net 7,8 nT. Redukuotų verčių mažiausios paklaidos gautos redukuojant Hel geomagnetinės observatorijos atžvilgiu, didžiausios Nurmijarvi observatorijos atžvilgiu.

Analizuojant 2001 m. deklinacijos verčių redukavimo pagal atskiras observatorijas gautus rezultatus (priedo 31 lentelė) pastebima, kad lyginant su 1999 m. deklinacijos redukavimu gaunami daug didesni skirtumai. Didžiausias skirtumas gautas Šyliai punkte, kur vidutinė metinė deklinacijos vertė redukavus pagal Helio ir Nurmijarvi observatorijas skyrėsi virš 4'. Redukuotų deklinacijos verčių didžiausias tikslumas gautas redukavus Belsko observatorijos atžvilgiu, o didžiausios paklaidos gautos redukavus Nurmijarvi observatorijos atžvilgiu.

Lyginant redukuotas inklinacijos vertes pagal atskiras observatorijas matyti, kad didžiausias skirtumas gautas Parovėja punkte, redukavus duomenis Helio ir Lovo observatorijų atžvilgiu (pagal priedo 39 lentelę). Čia gautas vidutinės metinės inklinacijos verčių nesutapimas kuris siekė net iki 1' 13". Apžvelgus gautas paklaidas, didžiausios paklaidos gautos redukuojant Nurmijarvi observatorijos atžvilgiu, mažiausios – Helio geomagnetinės observatorijos atžvilgiu.

Geomagnetinės indukcijos redukuotų verčių didžiausias skirtumas gautas Tryškių punkte redukavus duomenis Helio ir Nurmijarvi observatorijos duomenų atžvilgiu (priedo 47 lentelė). Didžiausios paklaidos gautos redukavus Lovo observatorijos atžvilgiu, mažiausios Helio observatorijos atžvilgiu.

Pagal gautus tyrimų rezultatus matyti, kad labai svarbu yra tinkamai parinkti geomagnetinę observatoriją, kurios atžvilgiu bus redukuojami amžių variacijų tyrimo punktuose atlikti matavimai. Akivaizdus pavyzdys yra 2001 m. Šylių punktas, kur vidutinės metinės vertės redukavus Helio ir Nurmijarvi observatorijų atžvilgiu skiriasi virš 4', tuo tarpu 2001 m. deklinacijos vidutinė metinė variacija šiame punkte yra 6,3'.

Priede pateikti tyrimų rezultatai leidžia daryti išvadą, kad Belsko observatorija yra tinkamiausia Lietuvos geomagnetinio lauko tyrimo punktuose atliktiems matavimams redukuoti.

3.4. IŠMATUOTŲ GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRŲ REDUKAVIMAS IR REZULTATAI

Atlikus geomagnetinio lauko matavimus Lietuvos amžių variacijų tyrimo punktuose, gauti duomenys buvo redukuoti Belsko geomagnetinės observatorijos atžvilgiu. Duomenų apdorojimui naudotos Lenkijos Geodezijos ir kartografijos institute sukurtos programos. Iš lauko matavimo žurnalų programos *Pom.exe* pagalba matavimų duomenys pertvarkyti į atitinkamą formatą. Pertvarkytų duomenų bylos pavyzdys pateiktas 3.11 paveiksle. Čia įvedamas punkto pavadinimas, matuotojas, prietaiso tipas, punkte atliktų ruožų skaičius, matavimo data (mėnuo ir diena), ruožto pradžia (valanda. minutė), horizontaliojo limbo atskaita (laipsniai, minutės sekundės).

```
Dusetos
R.Obuchovski
flux
20
711
18,120 90,2730
18,140 270,1137
18,160 90,2647
18,180 270,0554
30,0017 215,4746
711
18,320 90,2759
18,340 270,1140
18,360 90,2642
18,380 270,0543
30,0011 215,4746
711
18,520 90,2844
18,530 270,1203
18,540 90,2722
18,550 270,0639
30,0019 215,4746
```

3.11 pav. Programa *Pom.exe* pertvarkytų deklinacijos duomenų byla

Programos *Belobful.exe* pagalba magnetinių observatorių duomenys, paimti iš *Intermagnet* duomenų bazės, pertvarkomi į atitinkamą formatą. Su *Obmaga.exe* programa apskaičiuoti matavimo momentu observatorijos ir punkto parametrų verčių skirtumai, vidutinis verčių skirtumas bei paklaida. Apskaičiuotas observatorijos ir Dusetos punkto deklinacijos vidutinis skirtumas bei horizontaliojo skritulio atskaitos, nuvizavus žiūrą magnetinio dienovidinio kryptimi, pateikta 3.12 paveiksle. Čia pateikta punkto pavadinimas, stebėtojas, naudoto prietaiso markė, data (mėnuo – diena), stebėjimo pasaulinis laikas, vidutinis ruožto skirtumas tarp punkto ir observatorijos (laipsniais) bei deklinacijos vertė punkte.

OBLICZENIA DEKLINACJI MAGNETYCZNEJ NA ROK 2004

Punkt : Dusetos

Obserwator: R.Obuchowski

Instrument: flux

Data Czas ob. srednia roznica Wart. D
 m - dz TU z jednej serii obser. na
 (w minutach) punkcie
 stop.

7-11	16:12,0	98,04	186 4,92
7-11	16:32,0	98,12	186 5,12
7-11	16:52,0	98,16	186 5,76
7-11	17: 4,0	98,08	186 6,10
7-12	5:10,0	98,29	186 10,63
7-12	5:28,0	98,06	186 11,66
7-12	5:46,0	98,05	186 12,37
7-12	6: 5,0	98,10	186 11,88
7-12	8:51,0	99,04	186 10,06
7-12	9: 8,0	98,76	186 9,24
7-12	9:26,0	98,47	186 8,53
7-12	9:46,0	98,19	186 7,35
7-12	15:14,0	98,13	186 6,03
7-12	15:25,0	98,52	186 6,54
7-12	15:37,0	98,22	186 6,12
7-12	15:48,0	98,08	186 5,86
7-13	6:43,0	98,27	186 13,43
7-13	6:55,0	98,19	186 13,71
7-13	7: 7,0	98,13	186 12,99
7-13	7:17,0	97,43	186 11,27

SREDNIA WARTOSC ROZNICY D (w minutach) : 98,22 blad=0,10

3.12 pav. Deklinacijos verčių skirtumai, apskaičiuoti programa *Obmaga.exe*

Kiekviename punkte gautos vidutinės metinės matuotų parametrų vertės. Trijų matavimo ciklų atliktų 1999 m., 2001m. ir 2004 m. D , I ir F vidutiniai parametrų verčių skirtumai tarp Belsko observatorijos ir Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko tinklo punktų pateikti 3.6, 3.7 ir 3.8 lentelėse.

3.6 lentelė. Geomagnetinio lauko parametrų verčių skirtumai (1999 m.)

Eil. Nr.	Punktas	ΔF nT	ΔD '	ΔI '	Nustatymo paklaida		
					$m_{\Delta F}$ nT	$m_{\Delta D}$ '	$m_{\Delta I}$ '
1	Žiežmariai	809,3	115,39	131,24	1,9	1,03	0,33
2	Dusetos	1285,9	96,92	173,52	3,2	0,79	0,33
3	Parovėja	380,9	88,95	187,51	3,6	1,59	0,42
4	Šaukotas	249,3	2,31	163,80	3,1	0,91	0,35
5	Tryškiai	517,9	55,26	185,52	5,7	0,75	0,19
6	Šyliai	1125,8	21,75	187,95	1,7	0,46	0,20

3.7 lentelė. Geomagnetinio lauko parametrų verčių skirtumai (2001 m.)

Eil. Nr.	Punktas	ΔF , nT	ΔD , '	ΔI , '	Nustatymo paklaida		
					$m_{\Delta F}$, nT	$m_{\Delta D}$, '	$m_{\Delta I}$, '
1	Žiežmariai	810,7	116,54	131,09	1,3	0,59	0,13
2	Dusetos	1293,6	97,36	173,00	3,0	0,95	0,14
3	Parovėja	385,5	89,75	187,83	7,0	0,51	0,32
4	Šaukotas	253,4	3,07	163,75	1,2	0,51	0,40
5	Tryškiai	518,9	56,15	185,93	4,6	1,16	0,66
6	Šyliai	1130,7	23,27	188,04	3,7	0,77	0,13

3.8 lentelė. Geomagnetinio lauko parametrų verčių skirtumai (2004 m.)

Eil. Nr.	Punktas	ΔF , nT	ΔD , '	ΔI , '	Nustatymo paklaida		
					$m_{\Delta F}$, nT	$m_{\Delta D}$, '	$m_{\Delta I}$, '
1	Žiežmariai	816,4	117,50	131,27	2,9	0,09	0,08
2	Dusetos	1300,7	98,22	173,20	3,1	0,10	0,09
3	Parovėja	393,2	91,69	187,90	1,9	0,27	0,15
4	Šaukotas	252,8	5,84	164,20	3,1	0,24	0,09
5	Tryškiai	523,2	59,61	185,70	4,2	0,24	0,08
6	Šyliai	1136,0	26,50	187,76	2,2	0,25	0,04

Analizuojant atskiruose cikluose parametrų tarp punkto ir observatorijos skirtumus pastebima, kad deklinacijos verčių skirtumai visuose punktuose didėja. Ypač daug padidėjo Šaukoto punkte.

Inklinacijos verčių skirtumai atskiruose matavimo cikluose kito nevienodai. Žiežmarių, Dusetos ir Šaukoto punktuose 2001 m. verčių skirtumai, lyginant su 1999 m. ir 2004 m. verčių skirtumais nežymiai sumažėjo. Tryškių ir Šylių punktuose pastebima, kad 2001 m. skirtumai tarp observatorijos ir punktų lyginant su 1999 m. skirtumais padidėjo, o lyginant su 2004 m. sumažėjo. Parovėjos punkte pastebimas kryptingas skirtumų didėjimas.

Geomagnetinės indukcijos skirtumai atskiruose matavimo cikluose beveik visuose punktuose (išskyrus Šaukotą) padidėjo.

Parametrų verčių skirtumų nevienoda kaita atskiruose matavimo cikluose parodo, kad geomagnetinio lauko parametrai skirtinguose punktuose kinta nevienodai. Pastebima taip pat, kad 2004 m. atlikus daugiau matavimo ruožų, parametrų nustatymo paklaidos žymiai sumažėjo.

Geomagnetinio lauko parametrų vertės nustatytos Belsko geomagnetinėje observatorijoje 1999,5 m., 2001,5 m. ir 2004,5 m. epochoms pateiktos 3.9 lentelėje.

3.9 lentelė. Belsko observatorijos geomagnetinio lauko parametrų vidutinės metinės vertės

Geomagnetinio lauko parametrai	Parametrų vertės		
	1999,5 m.	2001,5 m.	2004,5 m.
X	18910,6 nT	18911,1 nT	18922,0 nT
Y	1336,4 nT	1394,2 nT	1486,0 nT
Z	45930,6 nT	46004,8 nT	46121,0 nT
F	49689,2 nT	49759,6 nT	49874,0 nT
H	18951,8 nT	18962,4 nT	18980,0 nT
D	4° 02' 32"	4° 13' 00"	4° 29' 24"
I	67° 34' 18"	67° 35' 58"	67° 37' 56"

Lentelėje matyti, kad visų parametrų vertės Belsko observatorijoje atskirose epochose kryptingai didėja.

1999,5 m., 2001,5 m. ir 2004,5 m. epochos geomagnetinio lauko parametrų vertės Lietuvos teritorijos amžių variacijų punktuose pateiktos 3.10, 3.11 ir 3.12 lentelėse.

3.10 lentelė. 1999,5 m. epochos geomagnetinio lauko parametrų vertės

Eil. Nr.	Punktas	D ° ' "	I ° ' "	F nT	X nT	Y nT	Z nT	H nT
1	Žiežmariai	5 57 55	69 45 33	50498,5	17376,2	1815,7	47380,1	17470,0
2	Dusetos	5 39 27	70 27 49	50975,1	16963,4	1680,5	48040,4	17046,4
3	Parovėja	5 31 29	70 41 49	50070,1	16474,5	1593,5	47255,3	16551,4
4	Šaukotas	4 04 51	70 18 06	49938,5	16790,0	1197,8	47016,1	16832,7
5	Tryškiai	4 57 48	70 39 49	50207,1	16561,9	1438,3	47375,0	16624,3
6	Šyliai	4 24 17	70 42 15	50815,0	16742,0	1289,6	47960,5	16791,6

3.11 lentelė. 2001,5 m. epochos geomagnetinio lauko parametrų vertės

Eil. Nr.	Punktas	D ° ' "	I ° ' "	F , nT	X , nT	Y , nT	Z , nT	H , nT
1	Žiežmariai	6 09 32	69 47 03	50570,3	17374,0	1874,8	47455,0	17474,9
2	Dusetos	5 50 22	70 28 58	51053,2	16967,9	1735,3	48119,7	17056,4
3	Parovėja	5 42 45	70 43 47	50145,1	16466,9	1647,2	47335,6	16549,1
4	Šaukotas	4 16 04	70 19 43	50013,0	16788,9	1252,9	47094,2	16835,6
5	Tryškiai	5 09 09	70 41 53	50278,5	16716,9	1507,4	47924,2	16784,7
6	Šyliai	4 36 16	70 44 00	50890,3	16737,8	1348,2	48040,1	16792,0

3.12 lentelė. 2004,5 m. epochos geomagnetinio lauko parametrų vertės

Eil. Nr.	Punktas	D ° ' "	I ° ' "	F nT	X nT	Y nT	Z nT	H nT
1	Žiežmariai	6 26 54	69 49 10	50690,4	17376,6	1963,9	47578,5	17487,2
2	Dusetos	6 07 37	70 31 06	51174,7	16969,6	1821,6	48244,9	17067,1
3	Parovėja	6 01 05	70 45 48	50267,2	16470,3	1736,3	47460,1	16561,6
4	Šaukotas	4 35 14	70 22 06	50126,8	16787,3	1346,9	47213,0	16841,2
5	Tryškiai	5 29 01	70 43 36	50397,2	16558,7	1589,6	47572,6	16634,9
6	Šyliai	4 55 54	70 45 40	51010,0	16746,0	1445,0	48161,2	16808,2

Lietuvos amžių variacijų tyrimo punktuose deklinacija kinta nuo 4° 35' iki 6° 27', inklinacija nuo 69° 49' iki 70° 45', o geomagnetinė indukcija nuo 50126 iki 51174 nT diapazone (pagal 2004,5 m. epochos duomenis).

Didžiausios deklinacijos vertės yra Žiežmarių punkte, inklinacijos – Parovėjos punkte o geomagnetinės indukcijos – Dusetos punkte. Mažiausios deklinacijos ir geomagnetinės indukcijos vertės yra Šaukotas punkte, inklinacijos – Žiežmarių punkte.

Lentelėse pateiktose priede apskaičiuoti skirtumai tarp punkto ir Belsko observatorijos bei vidutinės metinės punktuose parametrų vertės gali nesutapti su 3.10 ir 3.11 lentelėje pateiktomis vertėmis. Atsiradę skirtumai yra dėl to, kad observatorių panaudojimo galimybių tyrime nebuvo imti visi matavimo ruožtai.

3.5. GEOMAGNETINIO LAUKO AMŽIŲ VARIACIJŲ NUSTATYMAS IR ANALIZĖ

Atlikus Lietuvos teritorijoje tris geomagnetinio lauko parametrų matavimo ciklus, galima įvertinti parametrų amžių variacijas 1999,5–2001,5 m. ir 2001,5–2004,5 m. laikotarpiams. Lietuvos amžių variacijų tyrimo punktuose ir Belsko geomagnetinėje observatorijoje

geomagnetinio lauko parametrų amžių variacija bei vidutinis metinis pakitimas 1999,5–2001,5 m. laikotarpiu pateikta 3.13 lentelėje. Geomagnetinio lauko parametrų amžių variacija ir vidutinis metinis pakitimas 2001,5–2004,5 m. laikotarpiu pateikta 3.14 lentelėje.

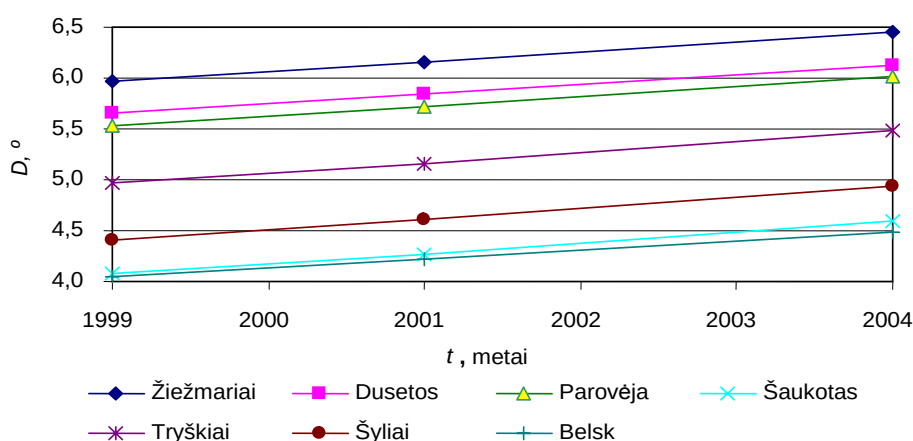
3.13 lentelė. Geomagnetinio lauko parametrų amžių variacijos 1999,5–2001,5 m. laikotarpiu

Eil. Nr.	Punktas	D ' "	I ' "	F nT	Vidutinis metinis pakitimas		
					δD ' "	δI ' "	δF nT
1	Žiežmariai	+11 37	+1 30	+71	+5 48	+0 45	+36
2	Dusetos	+10 55	+1 09	+78	+5 27	+0 34	+39
3	Parovėja	+11 16	+1 58	+75	+5 38	+0 59	+38
4	Šaukotas	+11 13	+1 37	+74	+5 36	+0 48	+37
5	Tryškiai	+11 21	+2 04	+71	+5 40	+1 02	+36
6	Šyliai	+11 59	+1 45	+75	+5 59	+0 52	+38
7	Belskas	+10 28	+1 40	+70	+5 14	+0 50	+35

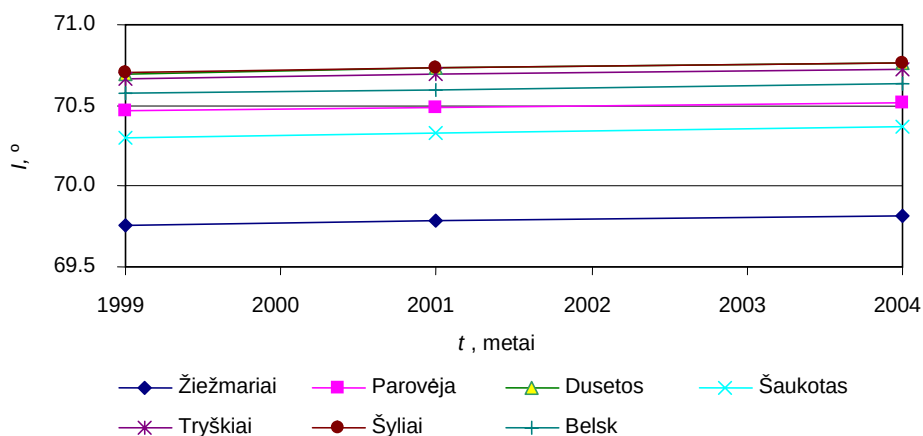
3.14 lentelė. Geomagnetinio lauko parametrų amžių variacijos 2001,5–2004,5 m. laikotarpiu

Eil. Nr.	Punktas	D ' "	I ' "	F nT	Vidutinis metinis pakitimas		
					δD ' "	δI ' "	δF nT
1	Žiežmariai	+17 22	+2 07	+120	+5 47	+0 42	+40
2	Dusetos	+17 15	+2 08	+121	+5 45	+0 43	+40
3	Parovėja	+18 20	+2 01	+122	+6 07	+0 40	+41
4	Šaukotas	+19 10	+2 23	+114	+6 23	+0 48	+38
5	Tryškiai	+19 52	+1 43	+119	+6 37	+0 34	+40
6	Šyliai	+19 38	+1 40	+120	+6 33	+0 33	+40
7	Belskas	+16 24	+1 58	+114	+5 28	+0 39	+38

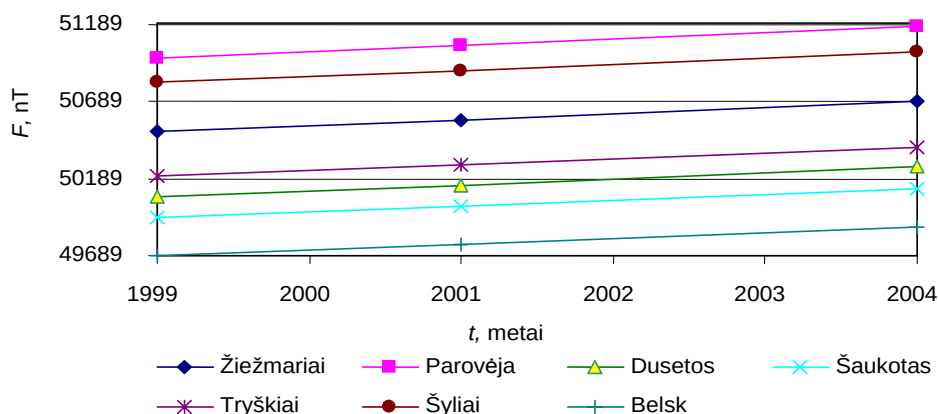
Amžių variacijų tyrimo punktų ir Belsko observatorijos geomagnetinio lauko parametrų verčių variacijos pavaizduotos 3.13–3.15 paveiksluose. Vertėms suvienodinti inklinacijos variacijų grafike (3.14 pav.) prie Belsko observatorijos vidutinių metinių verčių pridėti 3 laipsniai.



3.13 pav. Deklinacijos variacijos



3.14 pav. Inklinacijos variacijos



3.15 pav. Geomagnetinės indukcijos variacijos

Pagal atliktus tyrimus matyti, kad 1999–2001 m. laikotarpyje deklinacijos didžiausias metinis pakitimas buvo Šylių punkte, inklinacijos – Tryškių punkte o geomagnetinės indukcijos – Dusetos punkte. To pačio laikotarpio deklinacijos ir inklinacijos mažiausias metinis pakitimas buvo Dusetos punkte, geomagnetinės indukcijos – Žiežmarių ir Tryškių punktuose. 2001–2004 m. laikotarpyje deklinacijos didžiausias metinis pakitimas buvo Tryškių punkte, inklinacijos – Šaukoto punkte o geomagnetinės indukcijos – Parovėjos punkte. Mažiausias metinis deklinacijos pakitimas buvo Dusetos punkte, inklinacijos – Šylių punkte o geomagnetinės indukcijos – Šaukoto punkte.

Pagal apskaičiuotus geomagnetinio lauko parametrų metinius pakitimus galima konstatuoti, kad deklinacijos metinis pakitimas laikui bėgant kryptingai, tačiau ne vienodai visuose punktuose, didėja. Žiežmarių punkto metinis pakitimas išliko beveik nepakitęs, tačiau kitų punktų, kaip antai Tryškių, metinis pakitimas, lyginant du tyrimo laikotarpius, padidėjo net 57". Vakarinės šalies dalies metinis pakitimas padidėjo beveik dvigubai daugiau nei rytinės dalies. Lietuvos teritorijos punktų deklinacijos vidutinis metinis pakitimas 1999,5–2001,5 m. laikotarpiu yra 5' 41". 2001,5–2004,5 m. laikotarpiu deklinacijos vidutinis metinis pakitimas yra 6' 12".

Inklinacijos metiniame pakitime laikui bėgant negalima išvelgti kryptingumo. Pavienių punktų metinis pakitimas pasikeitė nevienodai. Pastebimas metinio pakitimo mažėjimas, išskyrus Dusetos punkto, kurio inklinacijos metinis pakitimas padidėjo 9". Lietuvos teritorijos punktų inklinacijos vidutinis metinis pakitimas 1999,5–2001,5 m. laikotarpiu yra 50". 2001,5–2004,5 m. laikotarpiu inklinacijos vidutinis metinis pakitimas yra 40".

Geomagnetinės indukcijos metinis pakitimas beveik visų punktų, išskyrus Šaukoto punkto, vienodai padidėjo. Lietuvos teritorijos punktų geomagnetinės indukcijos vidutinis metinis pakitimas yra 39 nT. Geomagnetinės indukcijos vidutinis metinis pakitimas 1999,5–2001,5 m. laikotarpiu yra 37 nT, o 2001,5–2004,5 m. laikotarpiu – 40 nT.

Belsko geomagnetinėje observatorijoje deklinacijos ir geomagnetinės indukcijos metinis pakitimas padidėjo, inklinacijos – sumažėjo.

Atlikus palyginus trumpame laiko intervale geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimus akivaizdžiai matyti, kad geomagnetinio lauko amžių variacijos laike nėra vienodos. Norint turėti tikslius geomagnetinio lauko pokyčius, būtina periodiškai kartoti tikslius geomagnetinio lauko parametrų matavimus. Pagal periodinius tikslius duomenis galima įvertinti geomagnetinio lauko variacijas.

3.6. IŠVADOS

1. Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimo punktuose 1999,5 m., 2001,5 m. ir 2004,5 m. epochoms nustatyta magnetinė deklinacija, inklinacija ir geomagnetinė indukcija. Parametrų verčių diapazonas Lietuvos teritorijoje deklinacijai yra 1° 53', inklinacijos 58' ir geomagnetinės indukcijos 1048 nT. Parametrų nustatymo paklaidos deklinacijai neviršija 1,6', inklinacijai – 0,7' ir geomagnetinės indukcijai – 7 nT.
2. Atlikus geomagnetinių observatorių tinkamumo geomagnetinių matavimo duomenims redukuoti tyrimus nustatyta, kad Lietuvos teritorijoje atliktų matavimų duomenims redukuoti geriausiai tinka Belsko geomagnetinė observatorija.
3. Remiantis geomagnetinio lauko parametrų matavimo duomenimis 1999,5–2001,5 m. ir 2001,5–2004,5 m. laikotarpiuose, įvertintos jų metinis pakitimas. Didžiausios metinių pakitimų vertės deklinacijai siekė iki 6' 37", inklinacijai iki 1' 02" ir geomagnetinei indukcijai iki 41 nT. Pietinėje šalies dalyje 2001,5–2004,5 m. laikotarpyje deklinacijos metinis pakitimas lyginant su 1999,5–2001,5 m. laikotarpiu sumažėjo, šiaurinėje dalyje padidėjo. Inklinacijos metinis pakitimas lyginant tuos pačius laikotarpius rytinėje dalyje padidėjo, vakarinėje – sumažėjo, o geomagnetinės indukcijos visur išskyrus centrinę šalies dalį metinis pakitimas padidėjo. Pastebėta, kad šiaurės–vakarinėje šalies dalyje visų parametrų metinis pokytis buvo didesnis.

4. GEOMAGNETINIULOSE MATAVIMULOSE NAUDOJAMO ASTRONOMINIO DIENOVIDINIO NUSTATYMO METODIKOS TOBULINIMAS

Skyriuje nagrinėjamos astronominio dienovidinio, būtino geomagnetinio lauko tyrimuose, nustatymo galimybės. Daugiausia dėmesio skiriama astronominio azimuto, nustatomo pagal Saulės valandinį kampą, metodui, nes jis dažniausiai taikomas atliekant geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimus. Ištirtos geriausios sąlygos Saulės azimutui nustatyti. Išnagrinėta punkto ir Saulės koordinačių paklaidų įtaka. Nustatyta Saulės valandinio kampo paklaidos įtakos priklausomybė nuo Saulės deklinacijos ir platumos. Nurodytos platumos ir deklinacijos paklaidų įtakos mažinimo galimybės. Išnagrinėti horizontaliojo kampo tarp pasirinktos krypties ir Saulės matavimo ypatumai. Išanalizuota Saulės regimojo spindulio ir azimuto kitimo pagreičio pokyčių įtaka. Remiantis gautais tyrimų rezultatais galima pasirinkti tinkamiausią laiką krypties astronominiam azimutui, o kartu ir astronominio dienovidinio kryptčiai rasti, atsižvelgiant į žinomas parametrų paklaidas, punkto platumą ir metų laiką.

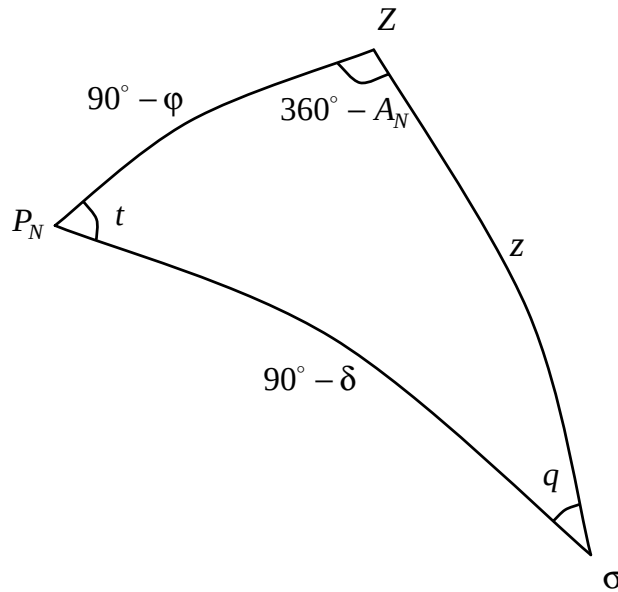
4.1. GERIAUSIŲ MATAVIMO SĄLYGŲ NUSTATYMAS

Matuojant magnetinę deklinaciją svarbu tiksliai nustatyti kampą tarp astronominio ir magnetinio dienovidinio. Šį dvisienį kampą apibrėžia punkto, kuriame atliekami matavimai, vertikalė ir abiejų – astronominio bei magnetinio dienovidinių plokštumos. Astronominio dienovidinio plokštuma lygiagreti su pasirinktos epochos Žemės sukimosi ašimi, o magnetinio dienovidinio plokštuma – tos pačios epochos Žemės magnetinio lauko ašimi. Astronominio dienovidinio kryptį galima nustatyti astronominiais metodais: pagal išmatuotus Saulės zenitinius nuotolius, Šiaurinės valandinį kampą (Уралов, С. С., 1980; Абалакин, В. К., 1996; Petroškevičius, P., 1992). Atliekant geomagnetinio lauko tyrimus patogiu astronominio dienovidinio kryptį rasti pagal Saulės valandinį kampą nustatant tam tikros krypties astronominį azimutą (Уралов, С. С., 1980; Petroškevičius, P., 2006). Todėl svarbu ištirti šio metodo galimybes, kai krypties astronominį azimutą siekiama nustatyti 12" ar didesniu tikslumu.

Krypties astronominiam azimutui a nustatyti teodolitu matuojamas horizontalusis kampas Q tarp pasirinktos krypties ir Saulės. Matavimų momentu – Saulės azimutas A_N atskaičiuojamas nuo krypties į šiaurę, randamas pagal jos pusiaujoines ir punkto astronomines koordinates sprendžiant pagal paralaksinį trikampį (4.1 pav.)

$$\tan A_N = \frac{\sin t}{\sin \varphi \cos t - \cos \varphi \tan \delta}, \quad (4.1)$$

čia φ – punkto, kuriame nustatomas azimutas, astronominė platuma; $t = s - \alpha$ – Saulės valandinis kampas; δ ir α – Saulės regimosios pusiaujinės koordinatės deklinacija ir rektascensija; $s = T + u$ – vietinis žvaigždžių laikas; T – chronometro rodmuo ir u – chronometro pataisa Saulės stebėjimo momentu.



4.1 pav. Paralaksinis trikampis

Chronometro pataisa gaunama naudojantis laiko signalų priėmimo rezultatais. Signalai priimami prieš ir po matavimų. Pirmiausia ir skaičiuojamos tų momentų chronometro pataisų vietinio žvaigždžių laiko atžvilgiu vertės u_1 ir u_2 . Taikomos formulės:

$$u = s - T, \quad (4.2)$$

$$s = S_0 + UT1 + UT1\mu + \lambda, \quad (4.3)$$

čia S_0 – žvaigždžių laikas Grinvičo vidutinį vidurnaktį; $UT1$ – pasaulinis laikas signalo perdavimo momentu; $UT1\mu$ – vidutinio laiko vienetų pavertimo į žvaigždžių vienetus pataisa; $\mu = 1/365,24219879$; λ – punkto astronominė ilguma. Chronometro pataisa Saulės stebėjimo momentu skaičiuojama pagal formulę:

$$u = u_1 + \omega(T - T_1)^h, \quad (4.4)$$

čia ω – valandinė chronometro eiga –

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{(T_2 - T_1)^h}. \quad (4.5)$$

Krypties astronominis azimutas skaičiuojamas pagal formulę

$$a = A_N + Q. \quad (4.6)$$

Nustatytu pasirinktos krypties astronominiu azimutu ir apibrėžiama astronominio dienovidinio kryptis.

Iš (4.6) formulės išplaukia, kad krypties astronominio azimuto paklaida Δa , išreiškiama formule

$$\Delta a = \Delta A_N + \Delta Q, \quad (4.7)$$

priklauso nuo Saulės azimuto paklaidos ΔA_N ir išmatuoto horizontaliojo kampo paklaidos ΔQ . Išsiaiškinsime, kokioms sąlygoms esant Saulės azimutą galima nustatyti tiksliausiai ir kokių ypatumų turi kampo tarp pasirinktos krypties Žemės paviršiuje ir Saulės matavimas.

Geodezinėje astronomijoje geriausiomis sąlygoms išsiaiškinti taikomos lygtys, siejančios nustatomų dydžių paklaidas su išmatuotų bei žinomų dydžių paklaidomis (Уралов, С. С., 1980). Tokią lygtį galima parašyti remiantis (4.1) formule

$$\Delta A_N = \frac{15 \cos \delta \cos q}{\sin z} (\Delta T + \Delta u - \Delta \alpha) + \frac{\sin A_N}{\tan z} \Delta \varphi + \frac{\sin q}{\sin z} \Delta \delta, \quad (4.8)$$

čia q – paralaksinis kampas; z – Saulės zenitinis nuotolis; paklaidos: ΔT ir Δu – chronometro atskaitos ir pataisos, $\Delta \alpha$ ir $\Delta \delta$ – Saulės rektascensijos ir deklinacijos, $\Delta \varphi$ – punkto astronominės platumos. Chronometro pataisos paklaida priklauso nuo punkto astronominės ilgumos paklaidos $\Delta \lambda$. Šią lygtį ir taikysime analizuodami geriausias sąlygas.

Iš formulės (4.8) matyti, kad punkto ir Saulės koordinatų bei chronometro atskaitos paklaidų įtaka mažėja didėjant Saulės zenitiniam nuotoliui.

Saulės valandinio kampo paklaidos

$$\Delta t = \Delta T + \Delta u - \Delta \alpha \quad (4.9)$$

įtaka priklauso nuo formulės (4.8) koeficiento K –

$$K = \frac{15 \cos \delta \cos q}{\sin z}, \quad (4.10)$$

kuris išreiškia Saulės azimuto kitimo greitį. Tikslinga detaliau panagrinėti galimus šio koeficiento pokyčius.

Kaip jau buvo minėta, koeficiento vertė mažės didėjant Saulės zenitiniam nuotoliui ir atliekant matavimus Saulei esant arčiau horizonto. K mažės didėjant Saulės deklinacijos absoliučiajai vertei.

Koeficientas $K = 0$ Saulės vakarinės ir rytinės elongacijos metu ($q = 90^\circ$ arba 270° , $\cos q = 0$). Tačiau Saulės elongacija bus, kai $\delta > \varphi$. Lietuvos teritorijoje ši sąlyga neišpildoma. Saulės elongacija bus tik punktuose, artimesniuose pusiaujui, kurių platumos vertė mažesnė už Saulės deklinaciją. Tokiuose punktuose nustatant azimutą pagal Saulės valandinį kampą elongacijoms artimais momentais galima labai sumažinti Saulės valandinio kampo paklaidos įtaką.

Remiantis penkių elementų formule pagal paralaksinį trikampį galima parašyti

$$\cos \delta \cos q = \sin \varphi \sin z - \cos \varphi \cos z \cos A_N,$$

$$\frac{\cos \delta \cos q}{\sin z} = \sin \varphi - \cos \varphi \cot z \cos A_N, \quad (4.11)$$

$$K = 15(\sin \varphi - \cos \varphi \cot z \cos A_N).$$

Tuomet Saulei esant pirmajame vertikale gauname

$$K = 15 \sin \varphi. \quad (4.12)$$

Tokia pat koeficiento vertė bus ir Saulei patekiant bei nusileidžiant horizonte. Saulės azimutą patekėjimo ir nusileidimo momentais galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$\cos A_N = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi}. \quad (4.13)$$

Iš (4.12) formulės išplaukia, kad Žemės poliuje $K = 15''/\text{s}$.

Saulės viršutinės kulminacijos metu – tikrąjį vidurdienį, kai $q = 0^\circ$ arba 180° , o $z_{\min} = |\varphi - \delta|$, koeficiento K modulio vertė bus maksimali

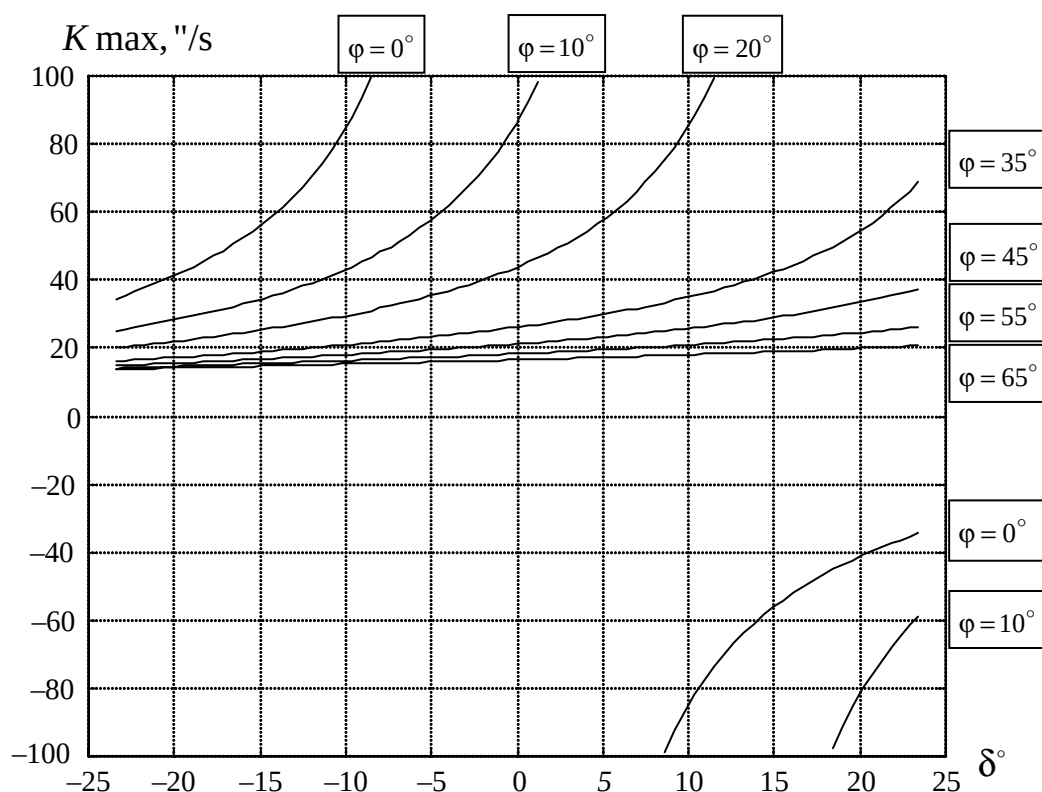
$$K_{\max} = \pm \frac{15 \cos \delta}{\sin |\varphi - \delta|}. \quad (4.14)$$

Koeficientas $K_{\max}$ neigiamas, kai $\delta > \varphi$. $K_{\max}$ įvairiais metų momentais ir esant įvairioms platumos vėrtėms pateikiami 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė. $K_{\max}$ vėrtės, $''/\text{s}$

Platuma, $^\circ \quad '$	Žiemos saulėgrįža $\delta_{\min} = -23^\circ 26'$	Lygiadienis $\delta = 0^\circ 0'$	Vasaros saulėgrįža $\delta_{\max} = 23^\circ 26'$
90 00	15,00	15,00	15,00
65 00	13,77	16,55	20,74
56 27	13,98	18,00	25,26
55 00	14,05	18,31	26,29
53 54	14,11	18,56	27,15
45 00	14,80	21,21	37,45
35 00	16,15	26,15	68,66
20 00	20,02	43,86	-229,55
10 00	24,98	86,38	-59,22
0 00	34,60	$\pm\infty$	-34,60

$K_{\max}$ priklausomybė nuo Saulės deklinacijos ir punkto platumos vėrčių parodyta 4.2 pav.



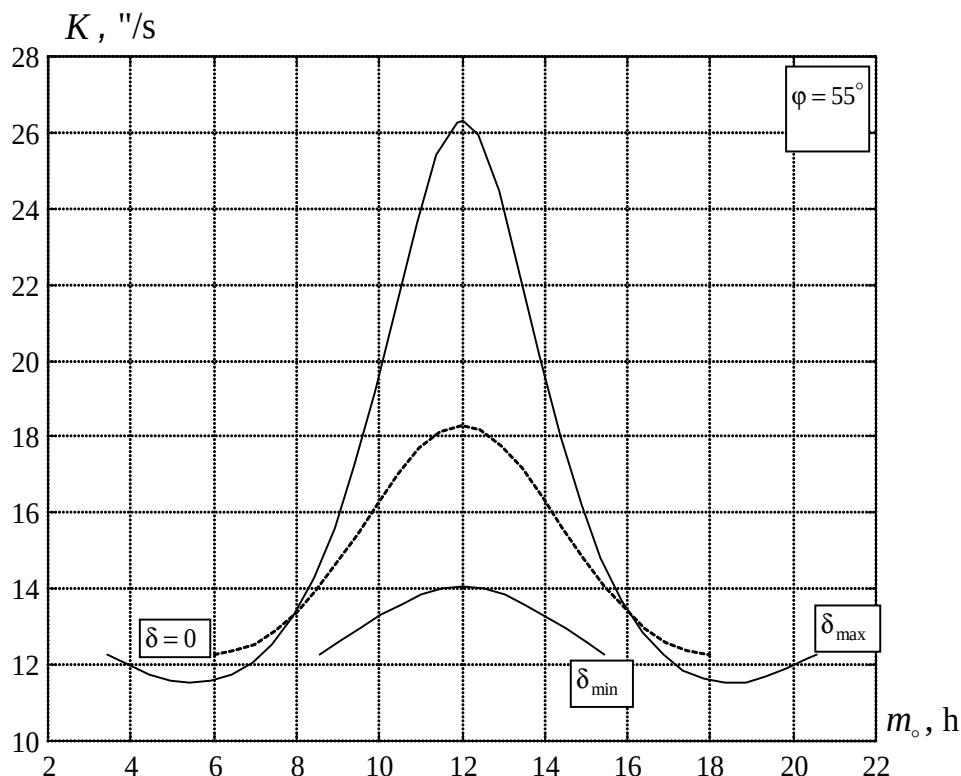
4.2 pav. $K_{\max}$ priklausomybė nuo Saulės deklinacijos ir punkto platumos

Remdamiesi 4.1 lentelėje ir 4.2 pav. pateikta atliktų tyrimų medžiaga išnagrinėsime koeficiento $K_{\max}$ verčių kitimą laikotarpiu tarp žiemos ir vasaros saulėgrįžų, keičiantis Saulės deklinacijai nuo minimalios iki maksimalios verčių, o punktų platumai – nuo 90° iki 0° . Matyti, kad $K_{\max}$ absoliučiosios vertės didėja mažėjant platumai. Šiuo laikotarpiu punktų, kurių platumą yra tarp 90° ir $\varphi = \delta_{\max}$, $K_{\max}$ vertės yra teigiamos ir turi tendenciją didėti. Maksimalios koeficiento vertės ir jų pokyčiai, keičiantis Saulės deklinacijai, didėja. Artėjant vasaros saulėgrįžai ir platumos vertėms prie $\varphi = \delta_{\max}$, koeficiento maksimaliosios vertės neribotai didėja. Nagrinėjamose platumose yra ir Lietuva ($\varphi_{\min} = 53^{\circ}54'$, $\varphi_{\max} = 56^{\circ}27'$). Jos punktuose $K_{\max}$ vertės gali būti nuo 13,98''/s iki 14,11''/s žiemos saulėgrįžos metu ir nuo 25,26''/s iki 27,15''/s vasaros saulėgrįžos metu, priklausomai nuo platumos vertės.

Punktuose, kurių platumą tarp $\varphi = \delta_{\max}$ ir 0° , gali būti Saulės elongacijos, kai $\delta > \varphi$. Šiose platumose po žiemos saulėgrįžos $K_{\max}$ vertės yra teigiamos ir neribotai didėja artėjant momentui, kai $\delta = \varphi$. Tada $K_{\max}$ įgyja neigiamas vertes, kurių absoliutusias dydis mažėja iki vasaros saulėgrįžos.

Laikotarpiu tarp vasaros ir žiemos saulėgrįžų $K_{\max}$ keičiasi analogiškai kaip ir pirmąjį pusmetį, tik atvirkščia tvarka.

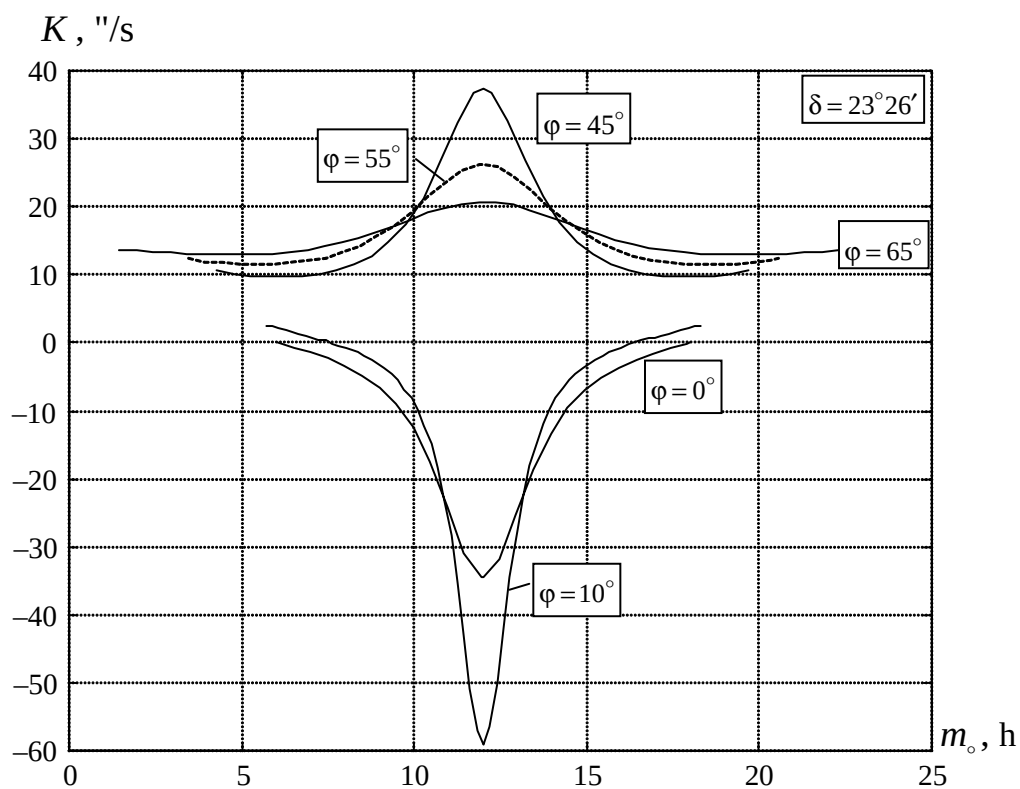
4.3 pav. parodytas vidutinės Lietuvos platumos koeficiento K kitimas nuo Saulės patekėjimo iki nusileidimo tikrojo Saulės laiko m_o momentais, esant įvairioms Saulės deklinacijos vertėms.



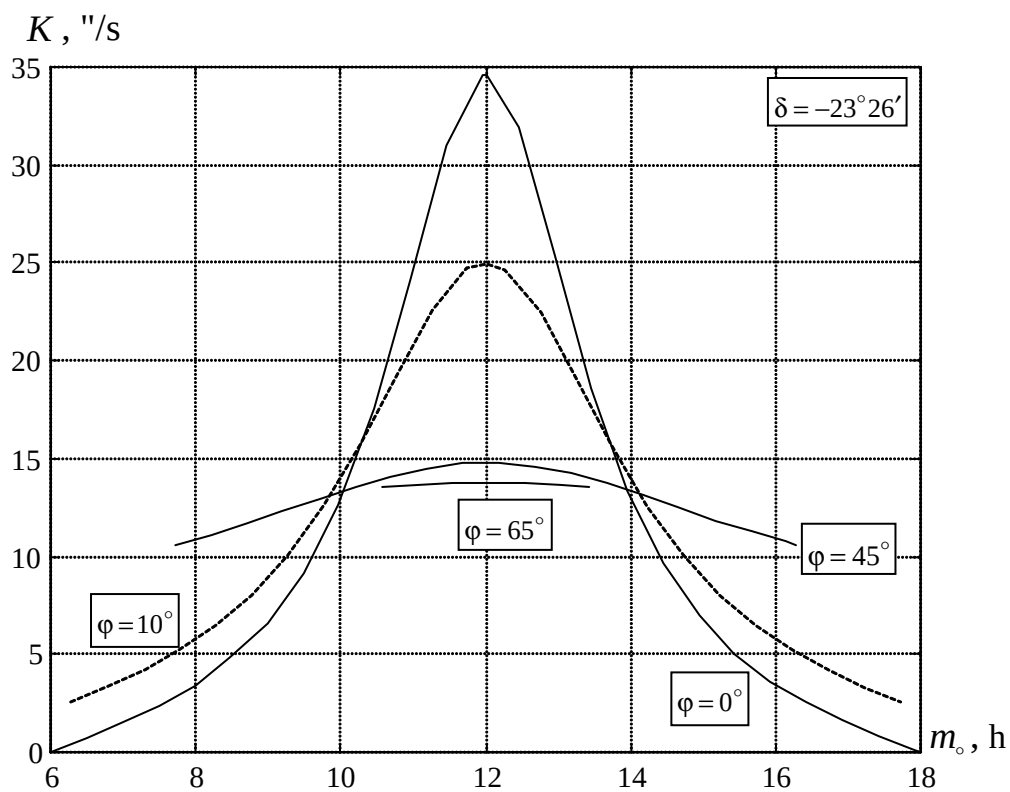
4.3 pav. Koeficiento K kitimas per dieną

Iš grafiko matyti, kad koeficiento K verčių kreivės simetriškos tikrojo vidurdienio atžvilgiu. Todėl azimutą geriausia nustatyti ryte arba vakare, kai koeficiento vertės mažesnės ir Saulės zenitinis nuotolis pakankamai didelis, tačiau neviršija 80° . Didesniais zenitiniais nuotoliais padidėja atmosferos svyravimų ir šoninės refrakcijos poveikis. Artėjant žiemos saulėgrįžai, matavimus galima atlikti nenutraukiant jų net vidurdienį, tačiau bendras matavimams tinkantis laikas per dieną didėja artėjant prie vasaros saulėgrįžos.

Kaip keičiasi koeficiento K vertės įvairiose platumose vasaros ir žiemos saulėgrįžų dienomis, parodyta 4.4 ir 4.5 pav.



4.4 pav. Koeficiento K kitimas vasaros saulėgrįžos dieną



4.5 pav. Koeficiento K kitimas žiemos saulėgrįžos dieną

Grafikuose matyti, kad koeficiento K verčių kreivės simetriškos tikrojo vidurdienio atžvilgiu. Koeficiento vertės teigiamos, išskyrus platumas, kuriose yra Saulės elongacijos. Laikotarpiu tarp rytinės ir vakarinės elongacijų koeficiento vertės neigiamos. Elongacijų momentais koeficiento vertė lygi nuliui. Platumose, kuriose nebūna Saulės elongacijų, koeficiento vertės mažiausios rytinėmis ir vakarinėmis valandomis. Koeficiento verčių per dieną kitimo intervalas siaurėja, didėjant platumos vertėms ir metų laikui artėjant prie žiemos saulėgrįžos.

Iš formulės (4.8) matyti, kad platumos ir Saulės deklinacijos paklaidų įtaka mažėja artėjant prie dienovidinio ir dienovidinyje lygi nuliui. Šių paklaidų įtaką atliekant azimutinius matavimus taip pat galima sumažinti stebint Saulę simetriškai dienovidinio atžvilgiu.

Nustatant krypties astronominį azimutą punkto, kuriame atliekami matavimai, astronominės koordinatės turi būti žinomos (Petroškevičius, P., 1994, 1989). Astronomines koordinates galima skaičiuoti pagal žinomas geodezines koordinates ir astronominį-geodezinį vertikalės nuokrypį iš formulių:

$$\varphi = B + \xi, \quad (4.15)$$

$$\lambda = L + \frac{1}{15} \eta \sec \varphi, \quad (4.16)$$

čia B – geodezinė platuma; L – geodezinė ilguma, išreikšta valandiniais vienetais; ξ – astronominio-geodezinio vertikalės nuokrypio dedamoji dienovidinyje; η – astronominio-geodezinio vertikalės nuokrypio dedamoji pirmajame vertikale.

Iš (4.2) ir (4.3) formulių matyti, kad ilgumos paklaida turi tiesioginės įtakos chronometro pataisos paklaidai Δu . Todėl atliekant tikslus azimutinius matavimus, ilgumos paklaida turėtų būti kiek įmanoma mažesnė. Panašios įtakos azimuto tikslumui turi ir chronometro atskaitos paklaidos, fiksuojant, kada Saulė kerta vertikalųjį teodolito siūlelį. Be to, chronometro rodmenis tenka fiksuoti ir priimant laiko signalus. Todėl atsižvelgiant į koeficiento K vertes ir siekiant užsibrėžto azimuto tikslumo galima teigti, kad chronometro rodmenis atliekant azimutinius matavimus reikėtų fiksuoti 0,1 sekundės tikslumu.

Saulės regimąsias pusiaujines koordinates – rektascensiją ir deklinaciją galima rasti astronominiuose metraščiuose.

Siekiant sumažinti visų paklaidų įtaką pirmiausia reikėtų, atsižvelgiant į norimą gauti Saulės azimuto tikslumą ir valandinio kampo paklaidą, nusistatyti leistiną koeficiento K vertę. Ta vertė

apibrėžtų matavimams tinkamiausias Saulės padėtis. Platumos ir deklinacijos paklaidų įtaką derėtų sumažinti matavimams pasirenkant dienovidiniui simetriškas Saulės padėtis.

Nustatydami azimutą platumose, kuriose esti Saulės elongacijos, didžiausią tikslumą pasiektume atlikdami matavimus rytinės ir vakarinės elongacijos metu. Tuomet visų paklaidų poveikis būtų minimalus.

Atliekant mažesnio tikslumo azimutinius matavimus reikėtų prisilaikyti bent sąlygos, kad Saulės zenitinis nuotolis būtų nuo 50° iki 80° .

4.2. HORIZONTALIOJO KAMPO MATAVIMO YPATUMŲ ĮVERTINIMAS

Antrąją nustatomo krypties astronominio azimuto paklaidos dalį sudaro horizontaliojo kampo Q tarp pasirinktos krypties ir Saulės paklaida ΔQ . Jos dydį lemia ne tik prietaiso tikslumas bei matavimų skaičius, bet ir tinkamas matavimo sąlygų įvertinimas.

Saulės regimasis diskas pakankamai didelis, ir negalima tiksliai nutaikyti į jo centrą, todėl matuojant horizontalųjį kampą fiksuojamas chronometro rodmuo ir atskaičiuojama horizontaliajame skritulyje, kai Saulės disko kairysis arba dešinysis kraštas kerta teodolito vertikalųjį siūlelį. Horizontaliojo skritulio atskaita, atitinkanti kryptį į Saulės centrą, gaunama pridėjus Saulės spindulio pataisą

$$\Delta_R = \frac{R}{\sin z}, \quad (4.17)$$

čia R – regimasis Saulės spindulys, kuris per metus keičiasi nuo $15'45,4''$ liepos pirmosiomis dienomis iki $16'17,5''$ sausio pirmosiomis dienomis. Tačiau dažnai skaičiuojamas horizontaliojo skritulio atskaitų, gautų vizuojant į priešingus Saulės kraštus, vidurkis ir Saulės spindulio pataisos nepaisoma. Dėl šios priežasties gali atsirasti išmatuoto kampo vertės paklaida, nes tarp matavimų, vizuojant į Saulės priešingus kraštus, praeina tam tikras laiko tarpas, per kurį pasikeičia Saulės zenitinis nuotolis. Saulės zenitinio nuotolio kitimo greitis v_z nustatomas pagal žinomas sferinės astronomijos formules (Уралов, С. С., 1980):

$$v_z = 15 \cos \varphi \sin A, \quad (4.18)$$

$$v_z = 15 \cos \delta \sin q. \quad (4.19)$$

Iš formulių matyti, kad Saulės zenitinio nuotolio maksimalus greitis bus pirmajame vertikale ir elongacijose:

$$v_{z \max} = 15 \cos \varphi \quad \text{ir} \quad v_{z \max} = 15 \cos \delta. \quad (4.20)$$

Taigi didžiausias Saulės zenitinio nuotolio kitimo greitis bus pusiauįjyje lygiadienio metu – 15"/s. Pirmajame vertikale, 55° platumoje, jis lygus 8,6"/s. Kampo Q paklaidas, neįvertinus Saulės spindulio pataisos, galima rasti pagal formulę

$$\Delta Q_R = \frac{R}{2} \left(\frac{1}{\sin z_1} - \frac{1}{\sin z_2} \right), \quad (4.21)$$

čia z_1 ir z_2 – Saulės zenitiniai nuotoliai, vizuojant į priešingus Saulės kraštus. 4.2 lentelėje pateiktos galimos skirtingų laiko intervalų Δs tarp Saulės stebėjimų ir esant skirtingiems zenitiniams nuotoliams paklaidų vertės. Atliekant skaičiavimus laikoma, kad $z_2 = z_1 + \Delta z$, $\Delta z = v_{z \max} \Delta s$.

4.2 lentelė. Paklaidos ΔQ_R vertės ($\varphi = 55^\circ$, $R = 977,5''$)

Δs ,	Δz ,	$z_1 = 50^\circ$ ΔQ_R ,	$z_1 = 65^\circ$ ΔQ_R ,	$z_1 = 80^\circ$ ΔQ_R ,
	"	"	"	"
40	344	0,9	0,4	0,1
80	688	1,8	0,8	0,3
120	1032	2,7	1,2	0,4
160	1376	3,5	1,7	0,6
200	1720	4,4	2,1	0,7
240	2064	5,3	2,5	0,8

Matome, kad paklaida ΔQ_R gali būti pastebimos vertės, ypač stebint Saulę mažesniais zenitiniams nuotoliams. Paklaida didėja didėjant laiko intervalui tarp vizavimų į Saulę. Laiko intervalui sumažinti būtų tikslinga į abu Saulės kraštus vizuoti esant tai pačiai vertikalojo skritulio padėčiai, tačiau yra metodikų, pagal kurias tai daroma esant skirtingoms vertikalojo skritulio padėtimis. Saulės spindulio pataisą galima apskaičiuoti pagal (4.21) formulę. Saulės regimasis spindulys astronominiuose metraščiuose pateikiamas kiekvienai dienai.

Kadangi nustatant astronominį azimutą Saulė esti aukščiau virš horizonto, tai matuojant kampą Q , būtina nustatyti prietaiso horizontaliosios ašies posvyrį b ir jo įtaką horizontaliajai kryptiai į Saulę. Ašies posvyrio pataisa skaičiuojama pagal formulę

$$\Delta Q_b = b \cot z. \quad (4.22)$$

Horizontaliosios ašies posvyriui nustatyti, kampo matavimo metu vizuojant į Saulę, rodmenys atskaitomi ne tik chronometro bei horizontaliojo skritulio, bet ir uždedamo ant horizontaliosios ašies gulsčiuko skalėje. Tyrimais turi būti nustatyta uždedamojo gulsčiuko padalos vertė.

Matuojant kampą Q ir norint sumažinti atsitiktines paklaidas, į Saulę vizuojama keletą kartų. Jeigu prietaisas turi astronominį siūlelių tinklėlį, tai fiksuojami chronometro rodmenys, kai Saulė kerta kelis vertikaliuosius siūlelius. Tačiau Saulės azimutas dažnai skaičiuojamas ne kiekvienam Saulės stebėjimo momentui, o vidutiniam momentui:

$$T_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i, \quad (4.23)$$

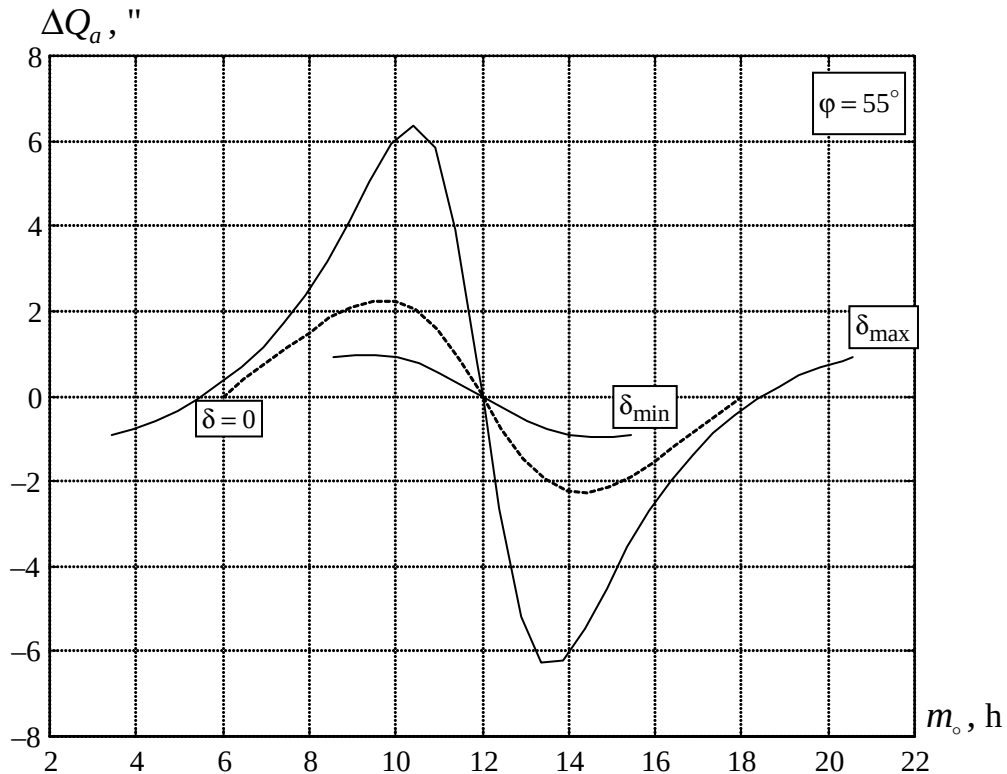
čia T_i – chronometro atskaitos Saulės stebėjimo momentais; n – Saulės stebėjimų skaičius; T_v – vidutinė chronometro atskaita. Tokiu atveju reikia skaičiuoti pagreičio pataisą, nes Saulės azimutas kinta netolygiai. Pagreičio pataisa lanko sekundėmis skaičiuojama pagal formulę (Уралов, С. С., 1980).

$$\Delta Q_a = \frac{15^2}{2n\rho''} \frac{d^2 A}{dt^2} \sum_{i=1}^n (T_i - T_v)^2, \quad (4.24)$$

čia ρ'' – sekundžių skaičius radiane; $\frac{d^2 A}{dt^2}$ – azimuto kitimo pagreitis; $T_i - T_v$ – chronometro atskaitų skirtumas, išreikštas laiko sekundėmis;

$$\frac{d^2 A}{dt^2} = \frac{1}{2} [\sin 2\varphi \cot z \sin A - \cos^2 \varphi \sin 2A (\cot^2 z + \csc^2 z)]. \quad (4.25)$$

Iš (4.24) formulės matyti, kad pagreičio pataisa didės didėjant Saulės azimuto kitimo pagreičiui ir laiko intervalui tarp Saulės stebėjimų. Kaip keičiasi pagreičio pataisa per dieną (vietinio tikrojo Saulės laiko momentais) įvairiais metų laikotarpiais, kai vidutinis chronometro atskaitų skirtumas lygus 100 sekundžių, parodyta 4.6 paveiksle.



4.6 pav. Azimuto pagreičio pataisos kitimas

Iš grafikų matyti, kad pagreičio pataisos kreivės yra simetriškos tikrojo vidurdienio momento atžvilgiu. Pataisos verčių svyravimo diapazonas didžiausias vasaros saulėgrįžos metu ir mažėja artėjant prie žiemos saulėgrįžos. Laikotarpiu tarp vasaros saulėgrįžos ir lygiadienių didesnę laiko prieš tikrąjį vidurdienį dalį pataisa teigiama, po vidurdienio – neigiama. Laikotarpiu tarp žiemos saulėgrįžos ir lygiadienių prieš vidurdienį pataisa teigiama, po vidurdienio – neigiama.

Nagrinėtoms pataisoms skaičiuoti reikalingas Saulės zenitinis nuotolis, todėl tikslinga Saulės stebėjimų metu atskaityti ir vertikalųjų skritulį.

4.3. ASTRONOMINIO AZIMUTO NUSTATYMAS NEŽINANT VERTIKALĖS NUOKRYPIO

Žinant geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimų punkto geodezines koordinates (B – geodezinė platuma, L – geodezinė ilguma), krypties astronominį azimutą galima rasti

naudojantis bendrąja geodezinės astronomijos metodų teorija (Уралов, С. С., 1980). Tam tikslui matuojami horizontalūs kampai tarp pasirinktos krypties ir šviesulių.

Taikant bendrąją geodezinės astronomijos metodų teoriją kiekvienam matavimų ruožtui sudaroma pataisų lygtis

$$\Delta a_G + b_i \xi + c_i \eta + l_i = v_i \text{ su svoriu } P_i = \sin^2 z_i, \quad (4.26)$$

čia Δa_G – krypties apytikslio azimuto a_0 pataisa,

$$a_G = a_0 + \Delta a_G; \quad (4.27)$$

a_G – krypties geodezinis azimutas; ξ ir η astronominio – geodezinio vertikalės nuokrypio dedamosios dienovidinyje ir pirmajame vertikale;

$$b_i = -\sin A'_{Gi} \cot z_i; \quad (4.28)$$

$$c_i = \cos A'_{Gi} \cot z_i; \quad (4.29)$$

$$l_i = (a_0 - A_{Gi}) - Q_i; \quad (4.30)$$

A'_{Gi} – šviesulio geodezinis azimutas skaičiuojamas pagal formulę (4.1) vietoje astronominių koordinačių naudojant geodezines;

$$A_{Gi} = A'_{Gi} + \Delta Q_{ai}; \quad (4.31)$$

z_i – išmatuotas šviesulio zenitinis nuotolis.

Azimuto pataisa ir vertikalės nuokrypio dedamosios randamos sprendžiant normalinių lygčių sistemą.

Krypties astronominis azimutas skaičiuojamas pagal formules:

$$a = a_0 + \Delta a, \quad (4.32)$$

$$\varphi = B + \xi, \quad (4.33)$$

$$\Delta a = \Delta a_G + \eta \tan \varphi. \quad (4.34)$$

Astronominio azimuto paklaida randama naudojant formulę

$$m_a^2 = m_{a_G}^2 + m_\eta^2 \tan^2 \varphi. \quad (4.35)$$

Nustatant azimutą ir vertikalės nuokrypio dedamąsias kartu prie sąlygos, kad nustatomų dydžių svoriai būtų lygūs, geriausia stebėti šviesulius zenitiniame nuotolyje $35,6^\circ$, išsidėsčiusius tolygiai azimutu arba tarpusavyje statmenų vertikalų plokštumose, simetriškai zenitui.

Jeigu žinomos tik apytikslės punkto koordinatės, tai astronominiam azimutui nustatyti tikslinga matuoti horizontalius kampus tarp krypties ir žvaigždžių elongacijose. Tuomet, kaip matyti iš formulės (4.8), paklaidų ΔT , Δu ir $\Delta \alpha$ poveikis tampa minimalus ($q = 90^\circ$ arba 270°). Atliekant matavimus rytinės ir vakarinės elongacijos metu sumažinamas platumos paklaidos poveikis.

Tam tikrais atvejais geodezinis azimutas gali būti žinomas. Tuomet astronominiam azimutui rasti galima naudoti Laplaso lygtį

$$a = a_G + \eta \tan B - \frac{\eta \cos a_G - \xi \sin a_G}{\tan z_v}, \quad (4.36)$$

čia z_v – taško į kurį vizuojama zenitinis nuotolis. Tačiau šiuo atveju reikia žinoti astronominį geodezinį vertikalės nuokrypį.

Krypties astronominį azimutą galima nustatyti giroteodolitu.

4.4. IŠVADOS

1. Nustatant astronominio dienovidinio kryptį pagal Saulės valandinį kampą ir siekiant sumažinti visų paklaidų įtaką, pirmiausia reikia, atsižvelgiant į norimą gauti Saulės azimuto tikslumą ir valandinio kampo paklaidą, nusistatyti leistinas koeficiento K vertes. Šios vertės apibrėžia tinkamiausias matavimams Saulės padėtis. Matavimų metu Saulės zenitinis nuotolis

neturi viršyti 80° . Platumos ir Saulės deklinacijos paklaidų įtaką galima sumažinti pasirenkant matavimams dienovidiniui simetriškas Saulės padėtis.

2. Nustatant astronominių dienovidinių ir azimutą platumose, kuriose esti Saulės elongacijos, didžiausią tikslumą galima pasiekti atliekant matavimus rytinės ir vakarinės elongacijos metu. Tuomet visų paklaidų įtaka minimali.

3. Pageidautina, kad prietaisas, naudojamas astronominiam dienovidiniui nustatyti, turėtų gulsčiuką, uždedamą ant horizontaliosios ašies, ir astronominių siūlelių tinklėlį. Matuojant horizontalųjį kampą tarp pasirinktos krypties ir Saulės, uždedamuoju gulsčiuku reikia įvertinti prietaiso horizontaliosios ašies posvyrį. Saulės perėjimų momentus reikia fiksuoti 0,1 sekundės tikslumu.

4. Skaičiuojant Saulės azimutą vidutiniam momentui reikia įvertinti Saulės spindulio ir jos azimuto kitimo pagreičio pataisas.

5. Kai žinomos punkto geodezinės koordinatės krypties tiksliam astronominiam azimutui nustatyti reikėtų taikyti bendrąją geodezinės astronomijos metodų teoriją.

5. LIETUVOS TERITORIJOS MAGNETINĖS DEKLINACIJOS ŽEMĖLAPIO ATNAUJINIMAS IR PASAULINIO GEOMAGNETINIO LAUKO MODELIO TIKSLUMO ĮVERTINIMAS

Skyriuje nagrinėjami deklinacijos žemėlapių atnaujinimo metodai. Atnaujintas Lietuvos teritorijos deklinacijos žemėlapis panaudojant kaimynines magnetines observatorijas bei naujus geomagnetinio lauko tyrimo duomenis. Pagal naujus duomenis ir atnaujintą deklinacijos žemėlapiį įvertintas pasaulinio geomagnetinio lauko modelio tikslumas.

5.1. ŽEMĖLAPIO ATNAUJINIMAS PAGAL OBSERVATORIJŲ DUOMENIS

Profesoriaus K. Sleževičiaus sudaryti visos Lietuvos teritorijos deklinacijos izogonų, inklinacijos izoklinų, horizontaliosios ir vertikaliosios dedamųjų izodinamų 1940,5 m. epochos žemėlapiai išlieka vertingi iki šių laikų. Deklinacijos žemėlapis buvo pristatytas pirmajame disertacijos skyriuje. Vėlesniais metais visos Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko parametrų matavimai nebuvo atliekami, tad geomagnetinio lauko parametrų vertės dažnai nuskaitomos iš Sleževičiaus žemėlapių. Kadangi geomagnetinio lauko parametrai nuolat laike kinta, anksčiau sudaryti žemėlapiai laikui bėgant pasensta. Norint nuolat naudotis jų duomenimis, būtina juos atnaujinti. Atnaujinant žemėlapių geomagnetinius duomenis reikalinga informacija apie geomagnetinio lauko pokyčius, įvykusius po matavimo epochos. Ši informacija gaunama iš magnetinių observatorijų, kurios nuolat užrašinėja geomagnetinio lauko parametrų pokyčius. Tam tikslui taip pat galima panaudoti amžių variacijų tyrimo punktų matavimo rezultatus, kurie teikia informaciją apie geomagnetinio lauko pokytį tiriamoje teritorijoje.

Skyriuje nagrinėsime Sleževičiaus deklinacijos žemėlapių atnaujinimo metodiką, įvertinsime atnaujinto žemėlapių tikslumą. Observatorių duomenys nuo 1940 m. iki 2000 m. gauti iš Varšuvos Geodezijos ir kartografijos instituto specialistų. Pas juos taip pat teirautasi duomenų redukovimo klausimais.

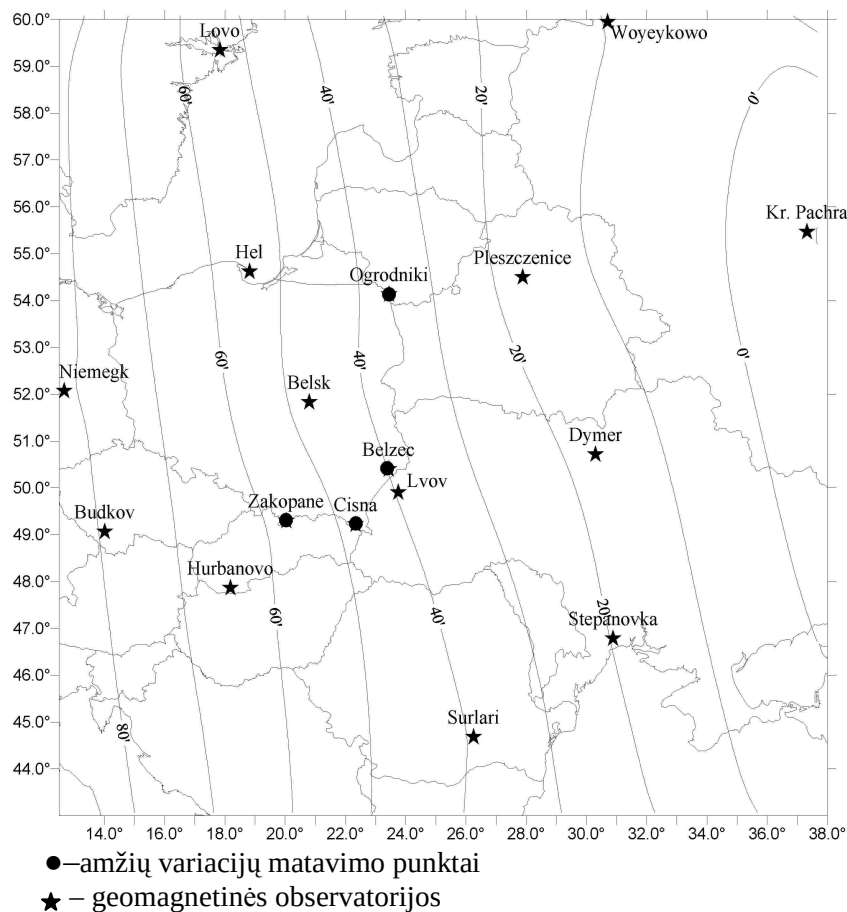
Nustatant Žemės magnetinio lauko pokytį per 60 metų, susiduriama su keletu problemų. Viena iš jų – surinkti duomenis iš magnetinių observatorijų, kurie apimtų visą laikotarpį – nuo 1940 iki 2000 m. Europoje yra apie 40 magnetinių observatorijų, tačiau jos išsidėstę netolygiai, jų veikimo trukmė nėra vienoda. Dalis observatorijų įkurta pirmąjį XX a. dešimtmetį ar net anksčiau. Kitos – po Antrojo pasaulinio karo.

Pagrindinis duomenų šaltinis iki 1980 m. buvo Golovkovo (Golovkov, V. P., 1983) sudaryti katalogai. Naudoti taip pat duomenys iš Belsko, Panagjuriste, Surlari, Budkovo, Lvovo, Krasna

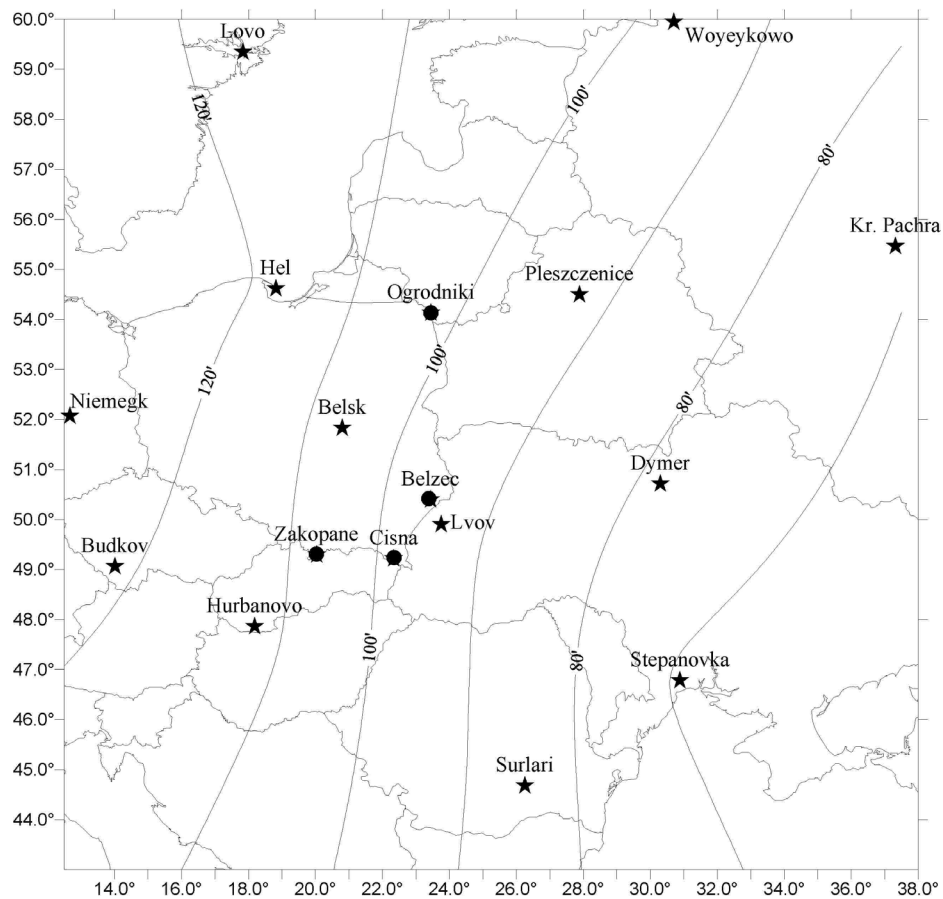
Pachra ir Lovo magnetinių observatorijų (Marianiuk, J., 2001) ir Helio (Czyszek, A., 2002). Apdorojant 1980–2000 m. laikotarpio duomenis papildomai remtasi Stepanovkos ir Dymers magnetinių observatorijų duomenimis.

Iš viso tyrimams panaudoti penkiolikos observatorijų duomenys. Šešių observatorijų: Voyeykovo, Stepanovkos, Lovo, Niemegk, Hurbanovo ir Helio duomenys apėmė visą tiriamąjį nuo 1940 iki 2000 m. laikotarpį. Kadangi Belsko observatorija pradėjo veikti nuo 1960-ųjų, 1940–1960 m. tarpsnio duomenims apdoroti remtasi Svidro observatorijos užrašais. Ši observatorija yra apie 40 km į šiaurės rytus nuo Belsko. Įsteigta 1923 m., dirbo iki 1974 m. Taigi abi observatorijos kelerius metus veikė vienu metu. Tai padėjo surasti magnetinės deklinacijos tarp šių observatorijų skirtumą. Jis lygus 33,6'. Svidro observatorijos 1940–1960 m. laikotarpio magnetinės deklinacijos vertės, padidintos apskaičiuotu skirtumu, rodo Belsko observatorijos deklinacijos kitimą per tą laikotarpį.

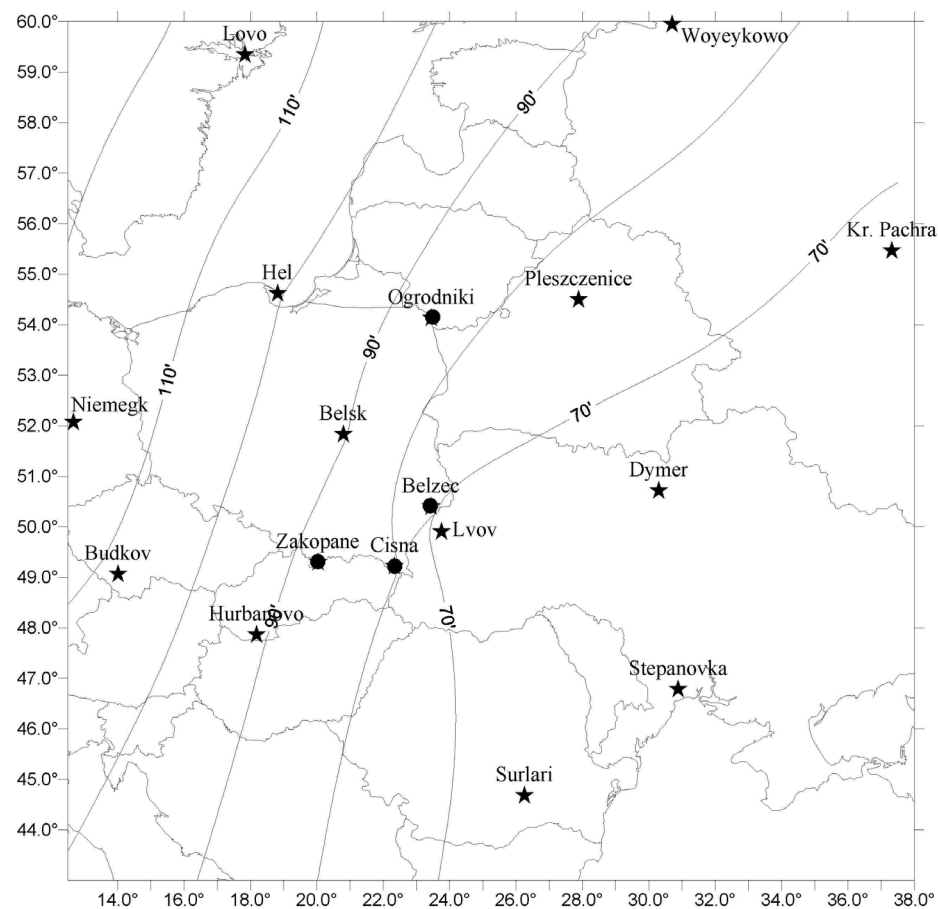
Surinktos penkiolikos observatorijų magnetinės deklinacijos metinių vidurkių vertės buvo pateiktos grafiniu pavidalu viename brėžinyje. Tiriamasis laikotarpis buvo padalytas į šiuos laiko tarpsnius: 1940–1960, 1960–1980 ir 1980–2000 (Welker, E., 2003). Apskaičiuotas kiekvieno tarpsnio amžių pokytis ir izogonių žemėlapių pavidalu pateiktas atskirais brėžiniais (5.1–5.3 pav.).



5.1 pav. Magnetinės deklinacijos amžių pokytis per 1941–1960 m.



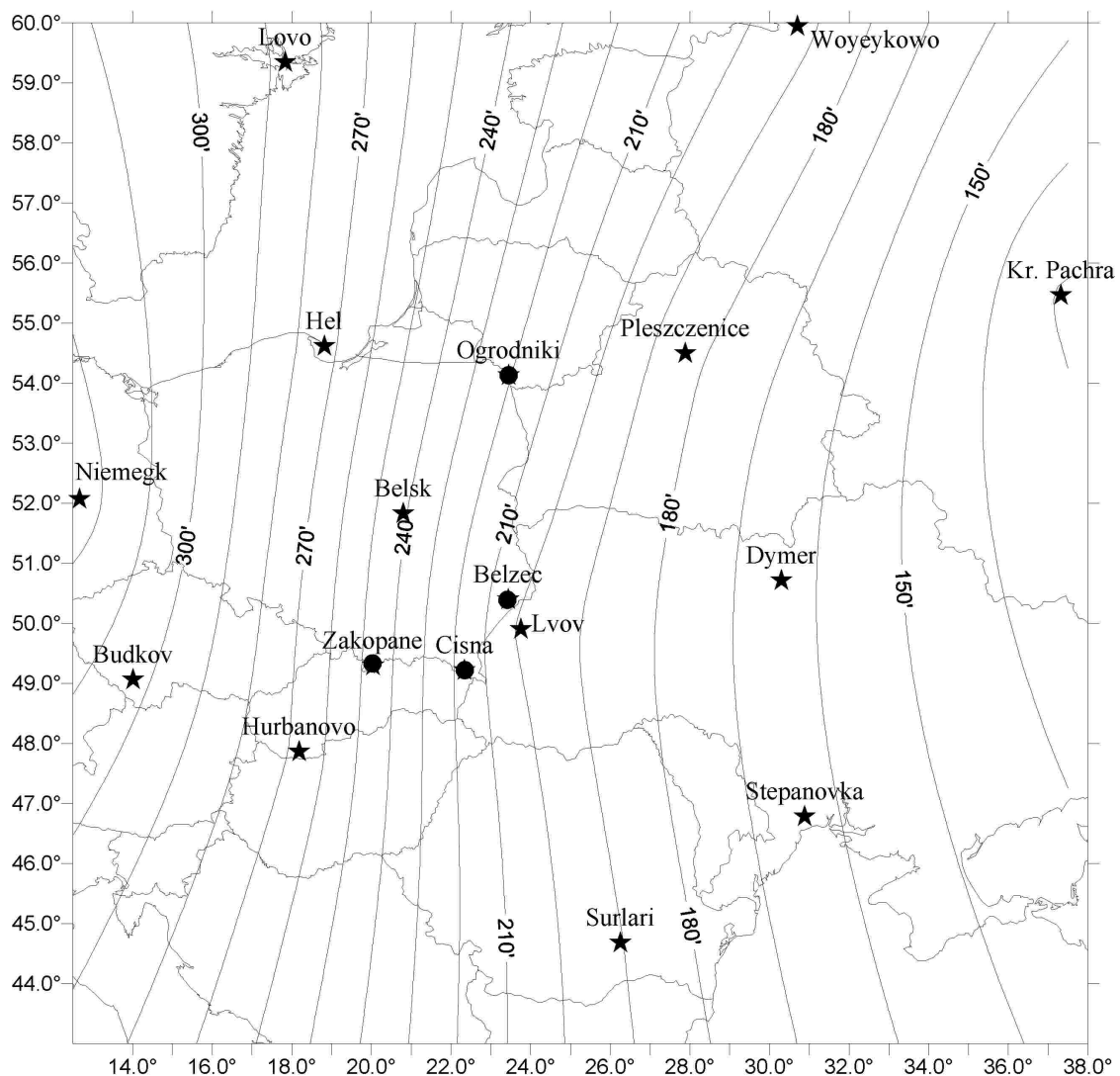
5.2. pav. Magnetinės deklinacijos amžių pokytis per 1960–1980 m.



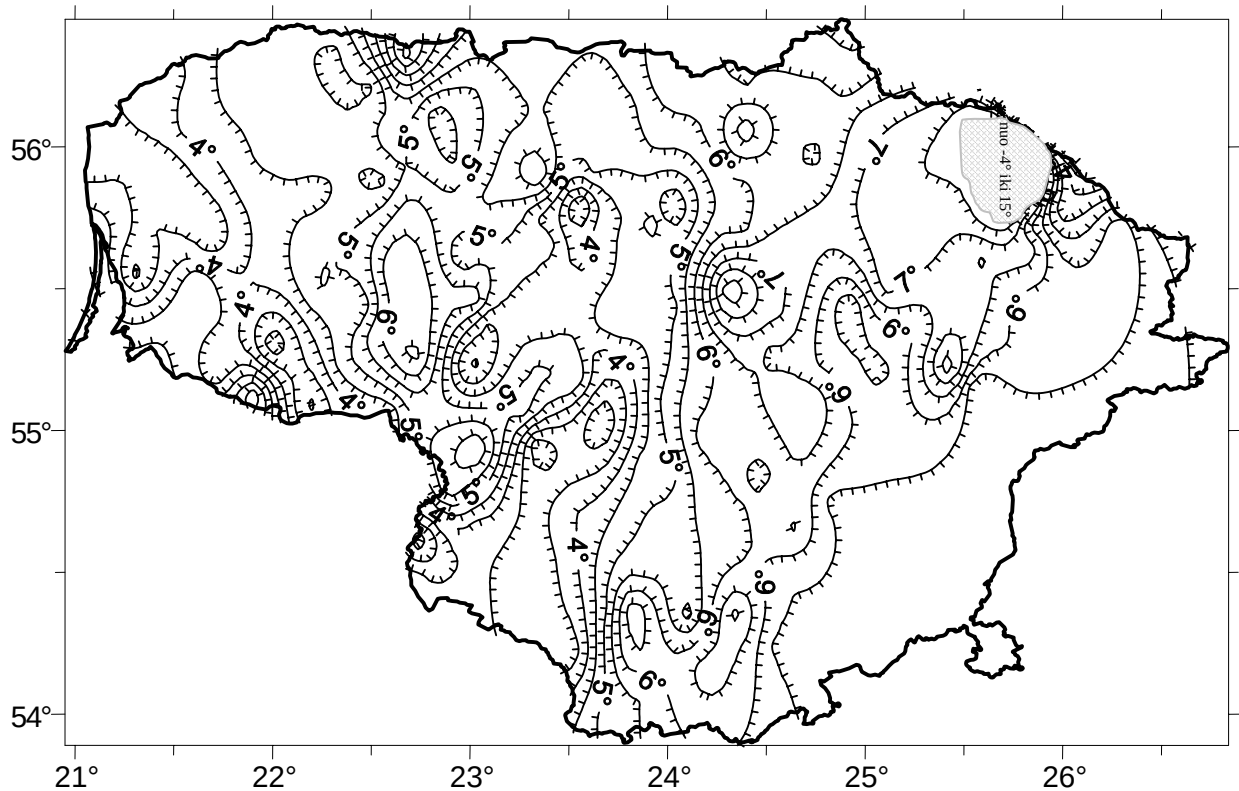
5.3 pav. Magnetinės deklinacijos amžių pokytis per 1980–2000 m.

Deklinacijos pokytis Lvove per paskutinįjį 1980–2000 m. intervalo penkmetį pasirodė mažesnis nei ankstesniais metais. Izoporų žemėlapyje tai atvaizduota izolinijų sutankėjimu tarp Lvovo ir Belsko observatorijų. Tokie izoporų pokyčiai, akivaizdžiai besiskiriantys nuo ankstesniųjų metų tarpinių izoporų pokyčių, sukėlė abejonių dėl Lvovo duomenų patikimumo. Siekiant išsiaiškinti, remtasi Lenkijos rytinėje dalyje įrengtų amžių variacijų tyrimo punktų duomenimis. Naudotasi punktų: Ogrodniki, Belzec ir Cisna matavimų duomenimis. Tolesnė analizė parodė, kad izoporų pokyčiai į vakarus nuo Lvovo observatorijos turėtų būti patikimi.

Magnetinės deklinacijos amžių pokytis per visą tiriamą 1940–2000 m. laikotarpį, (o tai anksčiau išvardytų trijų tarpinių pokyčių visuma) pavaizduotas 5.4 paveiksle. Tokių pokyčių duomenys naudoti visai senai medžiagai redukuoti į 2000,5 m. epochą. 2000,5 m. epochos Lietuvos teritorijos magnetinės deklinacijos žemėlapis pavaizduotas 5.5 paveiksle.



5.4 pav. Magnetinės deklinacijos amžių pokytis per 1940–2000 m.



5.5 pav. 2000,5 m. epochos Lietuvos teritorijos magnetinės deklinacijos žemėlapis

Atnaujintos nuotraukos tikslumui nustatyti paimti 6 Lietuvos amžių variacijų tyrimų punktai. Šiuose punktuose apskaičiuotos deklinacijos vertės 2000,5 m. epochai. Vėliau tų punktų deklinacijos vertės atskaitytos iš atnaujinto žemėlapio 5.1 lentelėje pateiktos išmatuotos ir iš žemėlapių nuskaitytos deklinacijos vertės bei jų skirtumai.

5.1 lentelė. Deklinacijos verčių skirtumai

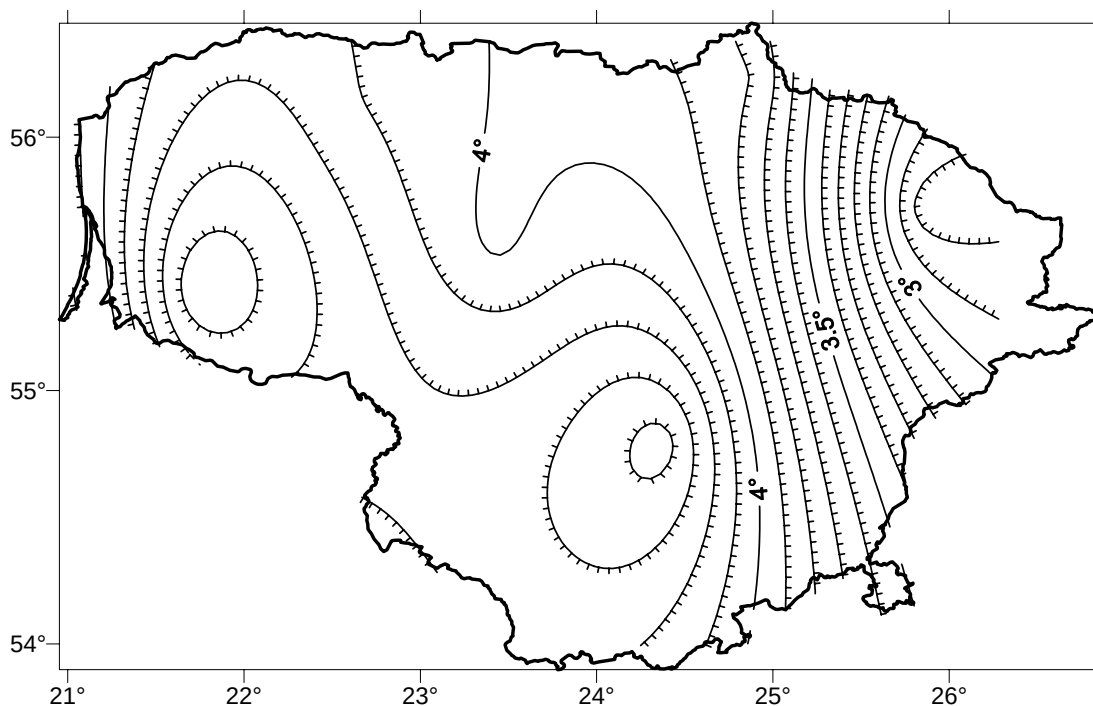
Punktai	<i>D</i> iš matavimų amžių variacijų puntuose °	<i>D</i> iš atnaujinto žemėlapio °	Skirtumas °
Žiežmariai	6,0	5,0	+1,0
Dusetos	5,8	5,5	+0,3
Parovėja	5,6	5,2	+0,4
Tryškiai	5,1	5,0	+0,1
Šaukotas	4,2	4,1	+0,1
Šyliai	4,5	4,5	0,0

Kaip matyti, nesutapimai, išskyrus vieną punktą, neviršija 0,4 laipsnio. Labai tikėtina, kad Žiežmarių punkte, kur verčių skirtumas siekia iki 1 laipsnio, yra deklinacijos vietinių anomalijų. Dėl mažo matavimo punktų tankumo, 1940 m. epochos žemėlapyje šios anomalijos nebuvo nustatytos.

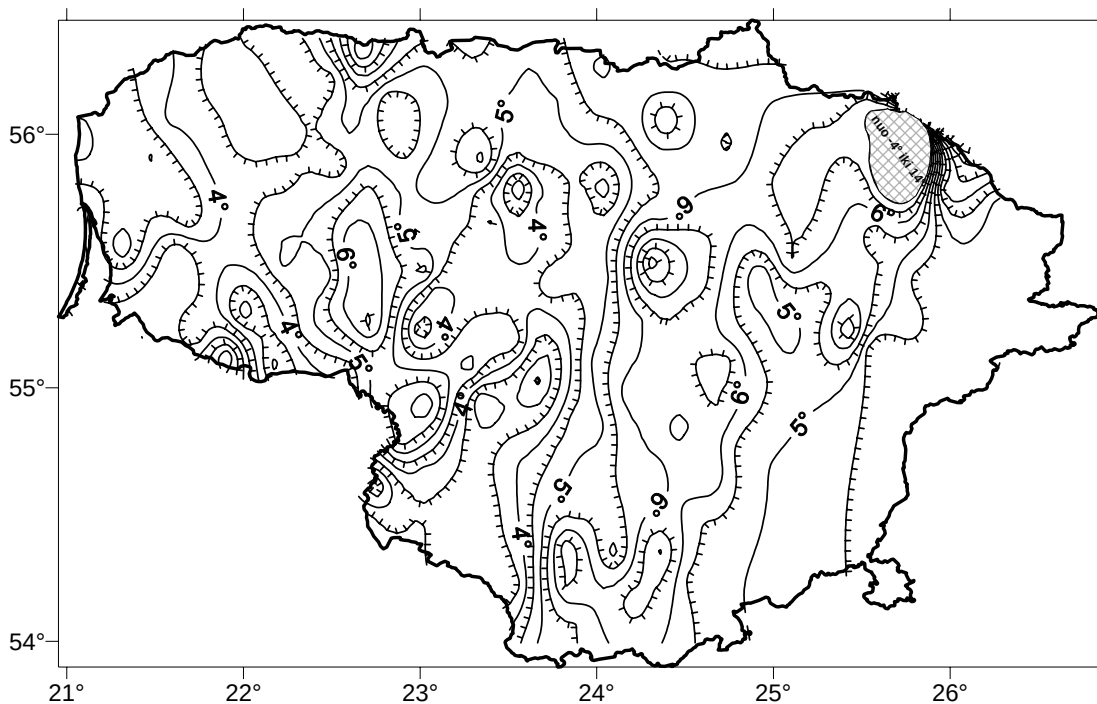
5.2. NAUJŲ DUOMENŲ PANAUDOJIMAS ŽEMĖLAPIUI ATNAUJINTI

Nauji Lietuvos teritorijoje atlikti geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimų duomenys sėkmingai gali būti panaudoti senų duomenų atnaujinimui. Sleževičiaus deklinacijos žemėlapiu atnaujinimo metodika, kai atnaujinimui panaudoti Lietuvoje atliktų amžių variacijų tyrimų duomenys, pristatyti šiame poskyryje.

Pagal šešių amžių variacijų tyrimo punktų padėtį nuskaitytos deklinacijos vertės sename Sleževičiaus žemėlapyje. Gautas vertės sulygintos su išmatuotomis ir redukuotomis į 2000,5 m. epochą deklinacijos vertėmis ir taip gautas deklinacijos pokytis per 60 metų. Kadangi amžių variacijų tyrimo punktai neapima visos šalies teritorijos, labiau į teritorijos pakraščius reiktų deklinacijos pokytį rasti ekstrapoliavimo metodu. Taip neišvengtume didesnių redukavimo klaidų. Siekiant išvengti ekstrapoliavimo klaidų šalies pakraščiuose deklinacijos verčių pokytis rastas pagal kaimyninių šalių observatorijas. Tam buvo parinktos 4 kaimyninės geomagnetinės observatorijos: Maskvos, Lovo, Hurbanovo ir Helio. Pagal ištisinius observatorijose nuo 1940,5 m. epochos deklinacijos matavimus nustatytas jos pokytis. Pagal Lietuvos amžių punktų ir kaimyninių observatorių deklinacijos verčių pakitimus buvo atnaujintas 1940,5 m. epochos Lietuvos deklinacijos žemėlapis. Apskaičiuotas per visą tiriamąjį laikotarpį nuo 1940,5 m. iki 2000,5 m. epochos deklinacijos amžių pokytis pavaizduotas 5.6 paveiksle. Tokių pokyčių duomenys naudoti visai 1940,5 m. epochos medžiagai redukuoti į 2000,5 m. epochą. 2000,5 m. epochos Lietuvos teritorijos magnetinės deklinacijos žemėlapis pavaizduotas 5.7 paveiksle.



5.6 pav. Deklinacijos pokytis 1940,5 – 2000,5 m. laikotarpyje



5.7 pav. 2000,5 m. epochos Lietuvos teritorijos magnetinės deklinacijos žemėlapis

Palyginus 5.5 ir 5.7 atnaujintų žemėlapių paveikslus matyti, kad kai kuriose vietose yra dideli skirtumai. Susidarę skirtumai gali būti dėl to, kad gana dideli yra atstumai iki kaimyninių observatorijų.

5.3. PASAULINIO GEOMAGNETINIO LAUKO MODELIO WMM TIKSLUMAS LIETUVOS TERITORIJOJE

Sudarant magnetinio lauko modelį naudoti magnetinių observatorijų stebėjimai, geomagnetiniai matavimai amžių variacijų tyrimo punktuose, palydoviniai matavimai, aeromagnetiniai ir jūrų matavimai (Haines, G. V., 1990). Panaudojant iš įvairių šaltinių surinktus magnetinio lauko parametrų duomenis yra galimybė matematiškai atvaizduoti Žemės magnetinį lauką ir jo pokytį, t. y. sukurti magnetinio lauko modelį. Beje, realus geomagnetinis laukas skiriasi nuo teorinio, kurį matematiškai aprašo magnetiniai lauko modeliai.

WMM modelis skirtas oro bei jūros navigacijos tikslams. Jį sukūrė Didžiosios Britanijos BGS (angl. British Geological Survey) ir JAV USGS (angl. United State Geological Survey) geologai. Britanijos gynybos ministerija, JAV gynybos departamentas, NATO organizacija ir Pasaulio hidrografijos biuras WMM modelį priėmė kaip standartinę navigacijos poreikiams skirtą modelį. Jis plačiai taikomas civilinėje navigacijoje. Lietuvoje pagal šį modelį skaičiuojamos magnetinės deklinacijos vertės, kurios pateikiamos 1:50 000 mastelio topografiniuose

žemėlapiuose. Modelis taip pat naudojamas skaičiuojant oro uostų įrenginių magnetinius azimutus ir magnetinę deklinaciją. Lietuvoje šis modelis naudojamas deklinacijos vertėms skaičiuoti, kurios pateikiamos topografiniuose žemėlapiuose sudarytuose pagal *NATO* standartą.

Modelio kūrimui panaudota 190 observatorių duomenys. WMM serijos modeliams pagrindinai naudojami dviejų palydovų matavimų duomenys: Danų palydovo Ørsted, paleisto 1999 m., bei POGS palydovo, paleisto 1990 m. (duomenys kaupti iki 1993 m.).

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

Deklinacijos verčių skaičiavimui naudota WMM-00 programa. Į programą įvedami tokie parametrai:

ALT – geodezinis aukštis (km);

GLAT – geodezinė platuma (laipsn.);

GLON – geodezinė ilguma (laipsn.);

DATE – laikas (epocha, kurios magnetinių parametrų vertės skaičiuojamos).

Programa apskaičiuoja šias geomagnetinio lauko parametrų vertes: 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 parametrų sausumoje bei vandenynuose tikslumas yra skirtingas. Modelio kūrėjai teigia, kad geomagnetinio lauko parametrų tikslumas virš vandenynų yra:

DEC – $\pm 0,5^\circ$;

DIP – $\pm 0,5^\circ$;

TI – $\pm 280,0$ nT (1 nT = 1 gamma);

X – ± 140 nT;

Y – ± 140 nT;

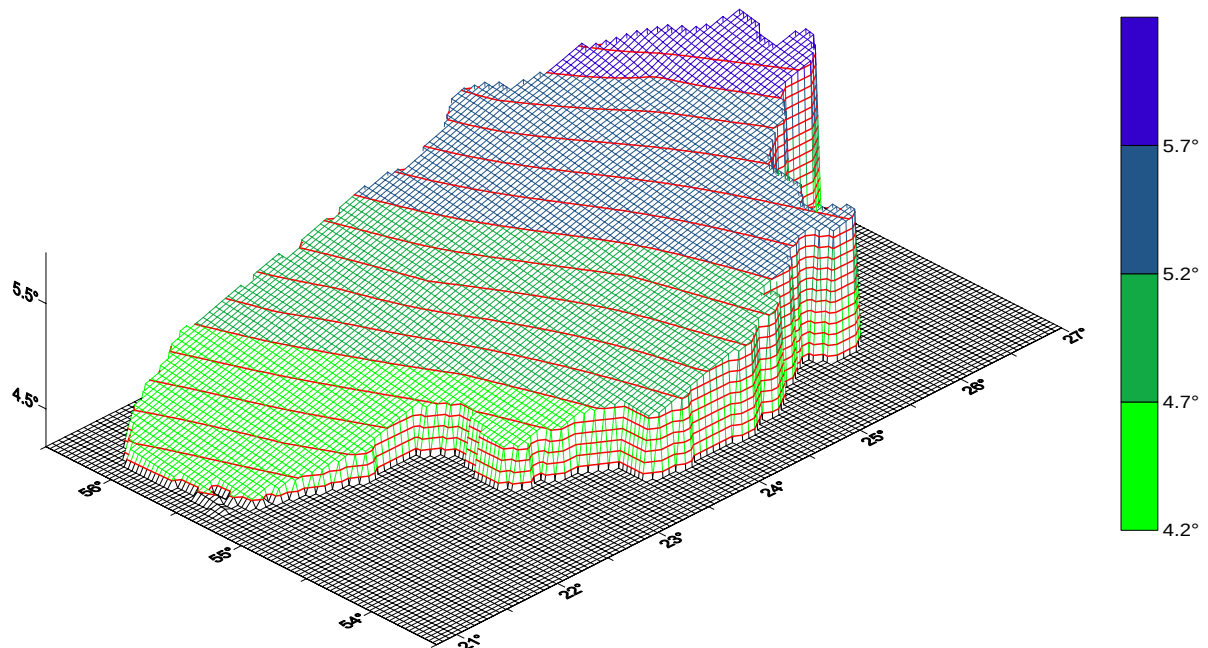
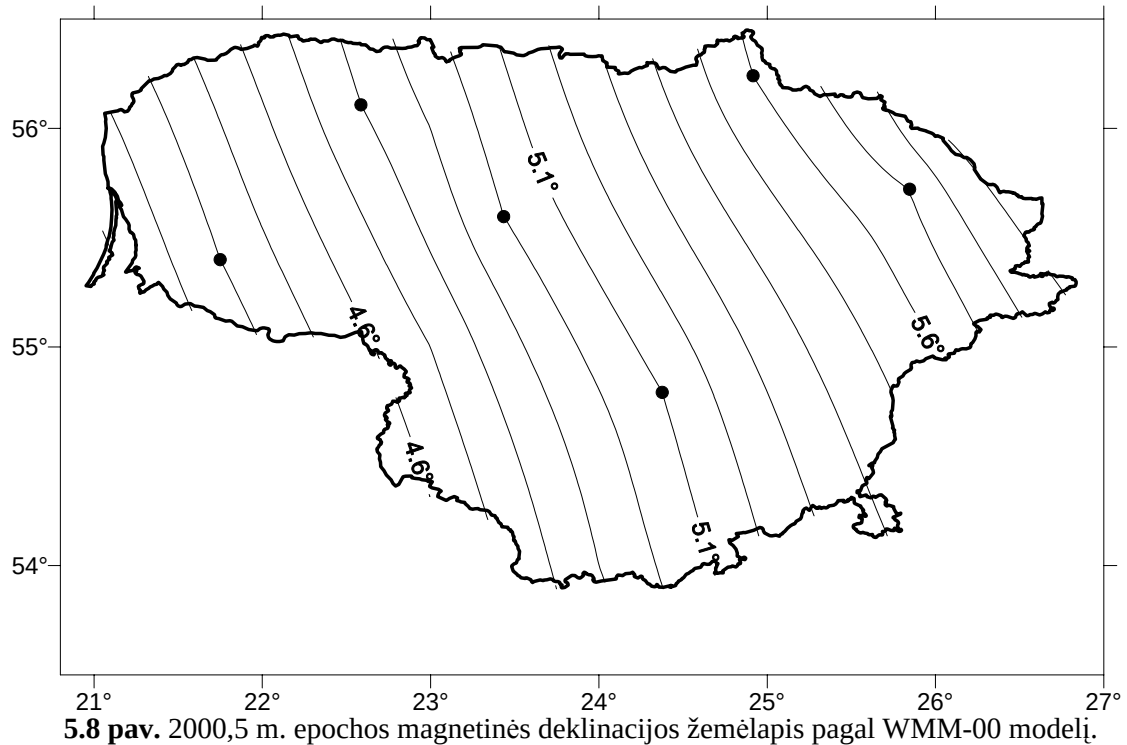
Z – ± 200 nT;

H – ± 200 nT.

Sausumoje parametrų paklaidos kiek didesnės, tačiau deklinacijos ir inklinacijos paklaidos neviršija 1° per ištisus 5 metus. Kitų parametrų paklaidas nustatyti sunku, todėl jos nepateikiamos. Visų parametrų tikslumas priklauso nuo geodezinės platumos. Nustatyta, kad mažiausios parametrų paklaidos ties pusiauju, didžiausios – ties magnetiniais poliais.

Ištyrėme WMM-00 geomagnetinio lauko modelio Lietuvos teritorijoje tikslumą. „Modelio tikslumu“ suprantama tai, kaip tiksliai geomagnetinis modelis nusako realią geomagnetinę situaciją.

Lietuvos teritorijos WMM-00 modelio deklinacijos žemėlapis pavaizduotas 5.8 paveiksle. To paties modelio erdvinis vaizdas pavaizduotas 5.9 paveiksle. Geomagnetinio lauko modelio tikslumas įvertintas dviem būdais: palyginus modelio skaičiavimo rezultatus su matavimų amžių variacijų punktuose duomenimis bei modelio skaičiavimo rezultatus – su atnaujintu 1940,5 m. epochos magnetiniu žemėlapiu (Obuchovski, R., 2004).



Pagal geomagnetinio lauko modelį amžių variacijų punktuose apskaičiuotos 1999,5 ir 2001,5 m. epochoms deklinacijos vertės. Gautos deklinacijos vertės palygintos su amžių variacijų punktuose išmatuotomis ir redukuotomis į 1999,5 ir 2001,5 m. epochos deklinacijų vertėmis. Gauti deklinacijų skirtumai pateikti 5.2 ir 5.3 lentelėse.

5.2 lentelė. 1999,5 m. epochos deklinacijos verčių skirtumai

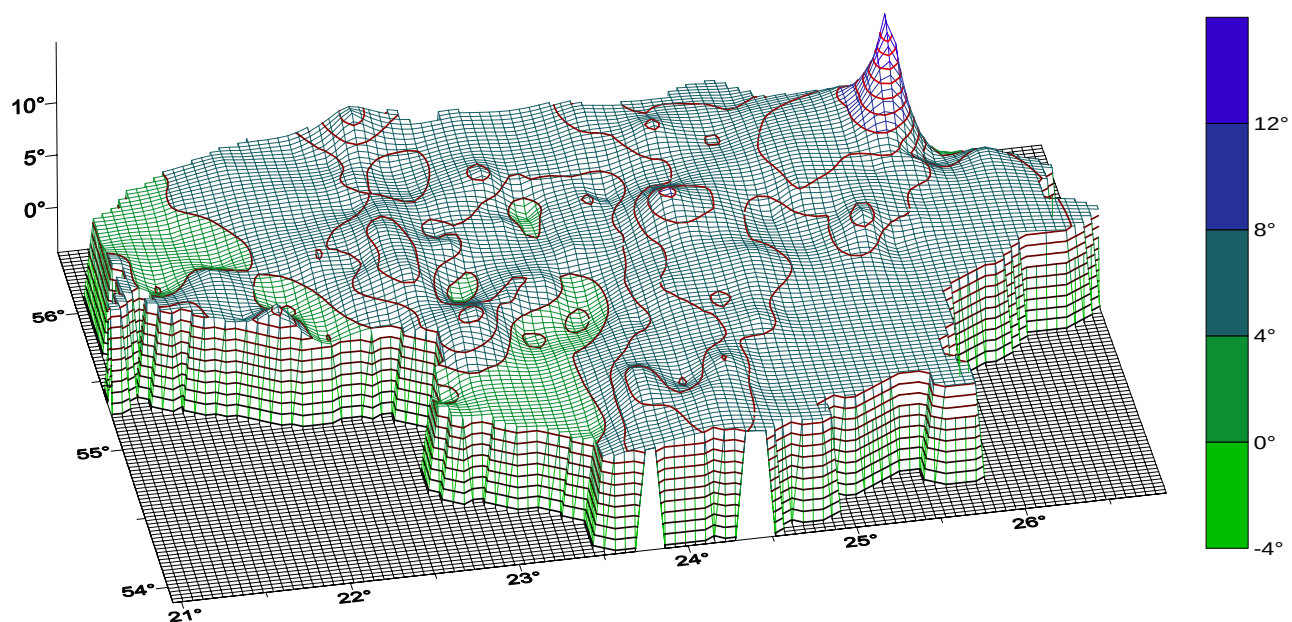
Punktas	D pagal modelį o' "	D pagal matavimo duomenis o' "	Skirtumas o' "
Žiežmariai	4 48	5 57 55	+1 09 55
Dusetos	5 30	5 39 27	+0 09 27
Parovėja	5 18	5 31 29	+0 13 29
Šaukotas	4 42	4 04 51	-0 37 09
Tryškiai	4 30	4 57 48	+0 27 48
Šyliai	4 06	4 24 17	+0 18 17

5.3 lentelė. 2001,5 m. epochos deklinacijos verčių skirtumai

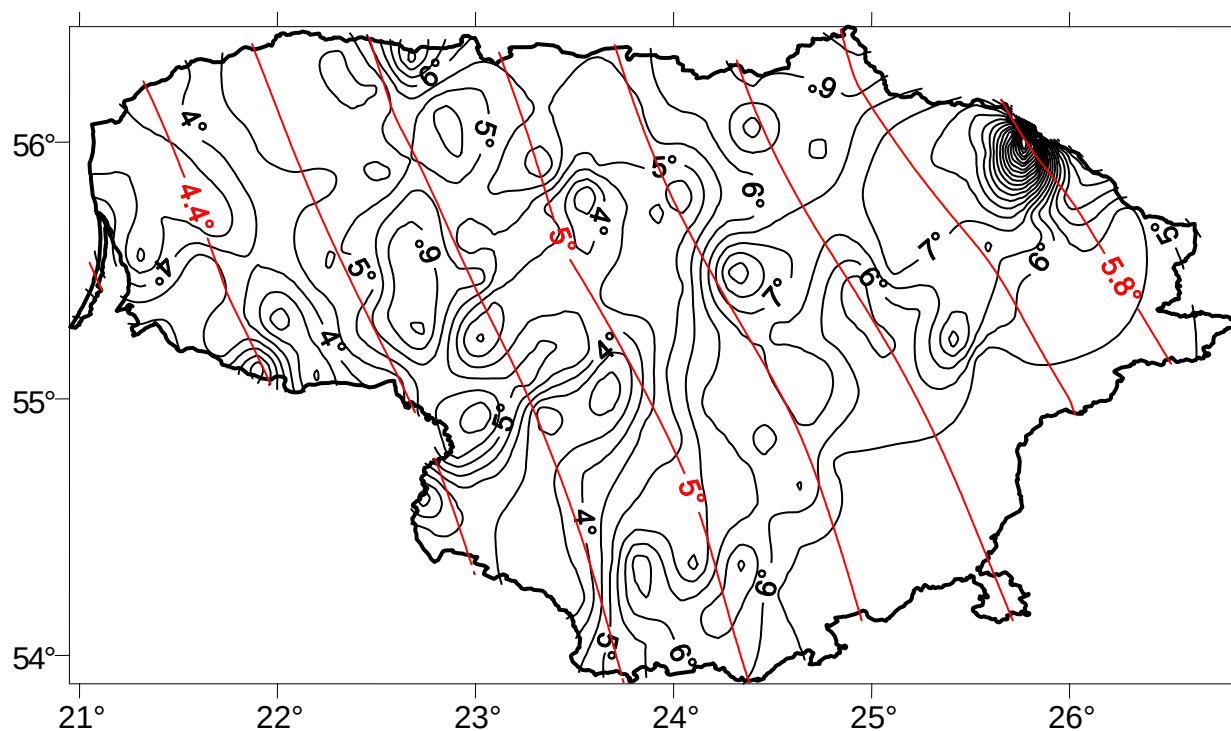
Punktas	D pagal modelį o' "	D pagal matavimo duomenis o' "	Skirtumas o' "
Žiežmariai	5 12	6 09 32	+0 57 32
Dusetos	5 48	5 50 22	+0 02 22
Parovėja	5 36	5 42 45	+0 06 45
Šaukotas	5 06	4 16 04	-0 49 56
Tryškiai	4 54	5 09 09	+0 15 09
Šyliai	4 30	4 36 16	+0 06 16

Analizuojant gautus skirtumus matyti, kad modelio klaidos amžių variacijų punktuose siekia iki 1°. Didžiausi skirtumai yra Žiežmarių ir Šaukoto amžių punktuose. Skirtumai tarp modelio ir matavimo duomenų nėra pastovūs ir laike kinta.

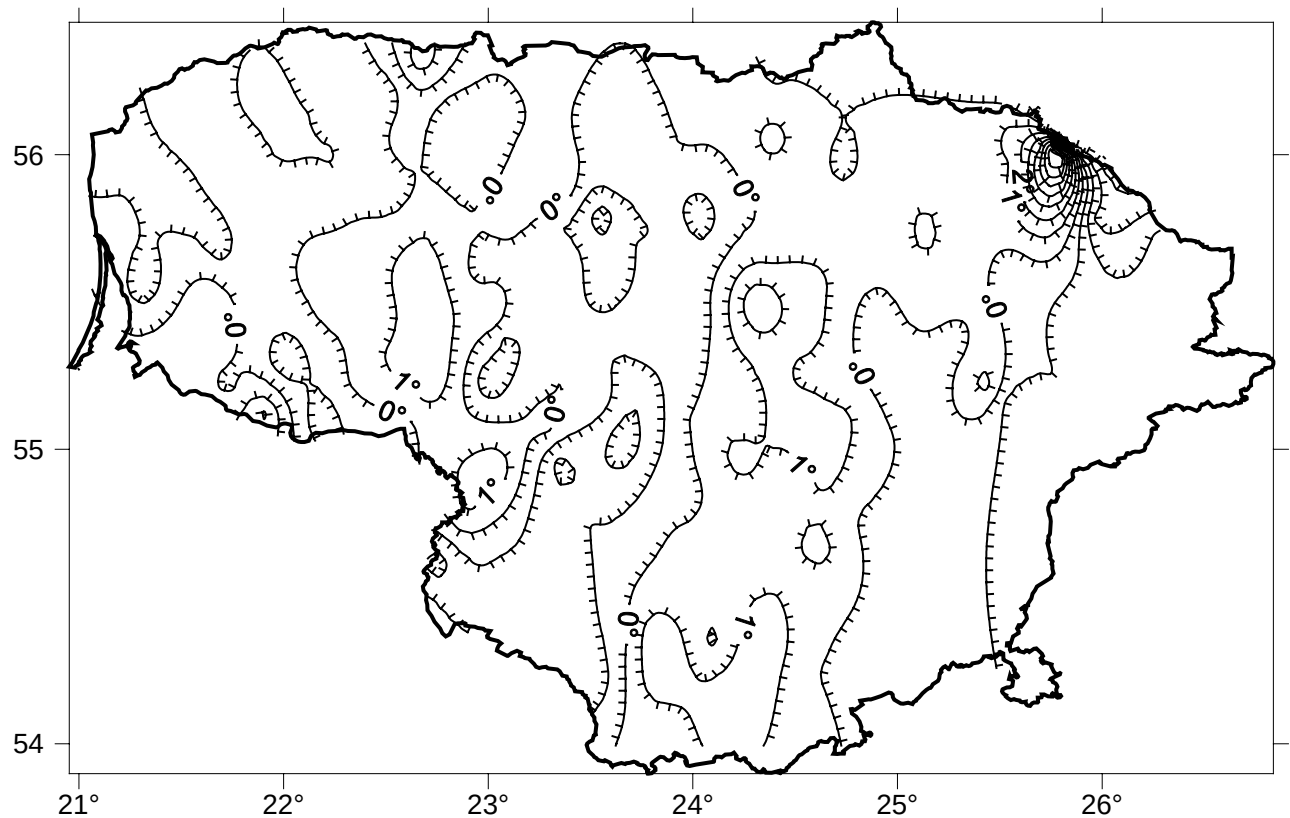
Modelio tikslumas taip pat tirtas lyginant modelio apskaičiuotas deklinacijos vertes su atnaujintos 1940,5 m. epochos deklinacijos žemėlapiu vertėmis. 2000,5 m. epochos atnaujinto Sleževičiaus žemėlapiu erdvinis vaizdas pavaizduotas 5.10 paveiksle. Bendras modelio ir atnaujintos nuotraukos žemėlapis pateiktas 5.11 paveiksle. Skirtumų žemėlapis pavaizduotas 5.12 paveiksle. Erdvinė skirtumų diagrama pateikta 5.13 paveiksle.



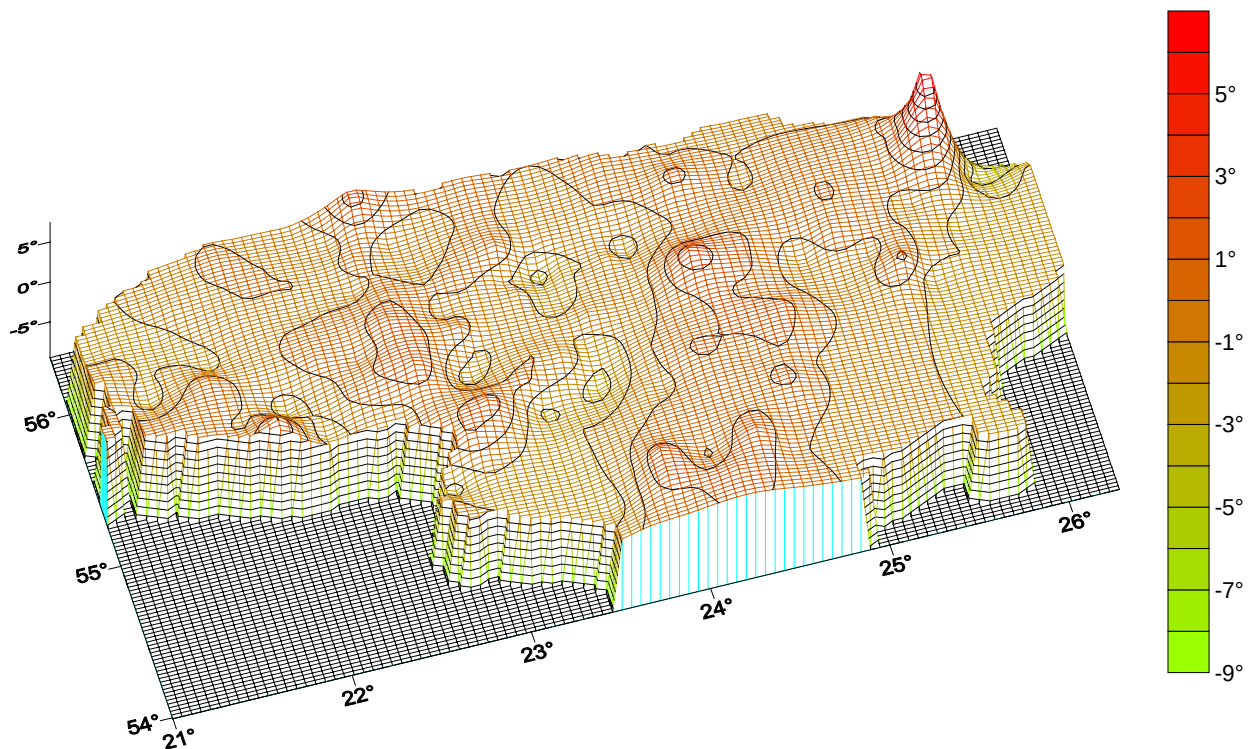
5.10 pav. 2000,5 m. epochos magnetinės deklinacijos erdvinė diagrama



5.11 pav. Bendras WMM-00 modelio ir atnaujinto žemėlapių vaizdas



5.12 pav. Skirtumų žemėlapis tarp 2000,5 m. epochos atnaujinto Sleževičiaus žemėlapis ir modelio



5.13 pav. Skirtumų erdvinė diagrama

Atlikus modelio tikslumo tyrimus matyti, kad WMM-00 modelio klaidos Lietuvos teritorijoje siekia iki 4° . Didžiausios klaidos yra šiaurės rytinėje šalies dalyje, kitose vietose

klaidos siekia iki 1° . Tokio tikslumo modelio duomenys gali būti naudojami tik geomagnetinio lauko apžvalginei analizei.

5.4. IŠVADOS

1. Naudojant kaimyninių observatorių duomenis atnaujintas 1940,5 m. epochos prof. K. Sleževičiaus deklinacijos žemėlapis. Atnaujinto žemėlapio deklinacijos klaidos amžių variacijų tyrimo punktuose neviršija 1° . K. Sleževičiaus deklinacijos žemėlapis taip pat atnaujintas panaudojant naujų matavimų punktuose duomenis ir keturių kaimyninių observatorių duomenis.

2. Ištirtas WMM-00 pasaulinio geomagnetinio lauko modelio Lietuvos teritorijoje tikslumas. Modelio deklinacijos klaidos tirtos dviem būdais: palyginus pagal modelį apskaičiuotas deklinacijos vertes su vertėmis gautomis amžių variacijų punktuose, bei modelio vertes palyginus su vertėmis atnaujintame 1940,5 m. epochos žemėlapyje. Atlikus tyrimus matyti, kad modelio klaidos šiaurės rytinėje Lietuvos teritorijoje siekia iki 4° . Kitose vietose modelio klaidos siekia iki 1° .

DARBO REZULTATŲ APIBENDRINIMAS IR REKOMENDACIJOS

1. Atlikta Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko ištirtumo analizė. Geomagnetiniai parametrai visoje teritorijoje, vykdant magnetinę nuotrauką, buvo nustatyti 1940 metais.

2. Atliktas geomagnetinių audrų, galimų Lietuvos teritorijoje, įtakos geomagnetinių parametrų kitimui įvertinimas. Nustatyta, kad audros metu visų parametrų vertės gali žymiai nukrypti nuo vidutinių metinių verčių. Atsižvelgiant į tai svarbu tinkamai organizuoti geomagnetinio lauko parametrų matavimus, matavimų metu tikslinga stebėti geomagnetinio lauko būklę, esant reikalui, juos nutraukti arba pratęsti.

3. Remiantis geomagnetinių observatorijų duomenimis atlikta geomagnetinio lauko parametrų X , Y ir Z kitimo per parą, platumose artimose Lietuvai, analizė. Nustatyta, kad visi parametrai per parą kinta periodiškai, tačiau skirtingais metų laikais kitimo amplitudė ir diapazonas yra nevienodas. Y ir Z parametrų paros kitimo diapazonas didžiausias yra pavasarį (Y iki 56 nT, Z iki 26 nT), X parametro – vasarą (iki 34 nT). X ir Y parametrų mažiausias kitimo diapazonas yra žiemą (X iki 14 nT, Y iki 30 nT), o Z parametro – rudenį (iki 13 nT).

4. Taikant statistinį ir harmoninės analizės metodus išnagrinėta metodika Saulės per parą poveikiui į geomagnetinio lauko parametrus įvertinti. Įvertinta Saulės poveikio priklausomybė nuo Saulės deklinacijos. Žinant Saulės poveikį per parą geomagnetinių matavimų punkte ir observatorijoje, galima padidinti matavimo duomenų redukavimo tikslumą. Pasiūlyta metodika gali būti efektyvi kai atliekama mažai matavimų ir kai yra didesnis punkto ir observatorijos ilgumų skirtumas.

5. Lietuvos teritorijoje pirmą kartą įrengtuose geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimo punktuose 1999,5 m., 2001,5 m. ir 2004,5 m. epochoms nustatyta magnetinė deklinacija, inklinacija ir geomagnetinė indukcija. Parametrų nustatymo paklaidos deklinacijai neviršija 1,6', inklinacijai – 0,7' ir geomagnetinės indukcijai – 7 nT. Parametrų verčių diapazonas amžių variacijų tyrimo punktuose deklinacijos yra 1°53', inklinacijos 58' ir geomagnetinės indukcijos 1048 nT. Didžiausios deklinacijos vertės yra Žiežmarių punkte, inklinacijos – Parovėjos punkte o geomagnetinės indukcijos – Dusetų punkte. Mažiausios deklinacijos ir geomagnetinės indukcijos vertės yra Šaukoto punkte, inklinacijos – Žiežmarių punkte.

6. Atlikus geomagnetinių observatorijų tinkamumo geomagnetinių matavimo duomenims redukuoti tyrimus nustatyta, kad Lietuvos teritorijoje atliktų matavimų duomenims redukuoti geriausiai tinka Belsko geomagnetinė observatorija.

7. Remiantis geomagnetinio lauko parametrų matavimo duomenimis 1999,5–2001,5 m. ir 2001,5–2004,5 m. laikotarpiuose, įvertintas jų metinis pakitimas. Didžiausios metinių pakitimų

vertės deklinacijai siekė iki $6' 37''$ (Tryškių punkte), inklinacijai – iki $1' 02''$ (Tryškių punkte) ir geomagnetinei indukcijai – iki 41 nT (Parovėjos punkte). Pietinėje šalies dalyje 2001,5–2004,5 m. laikotarpyje deklinacijos metinis pakitimas lyginant su 1999,5–2001,5 m. laikotarpiu sumažėjo, šiaurinėje dalyje padidėjo. Inklinacijos metinis pakitimas lyginant tuos pačius laikotarpius rytinėje dalyje padidėjo, vakarinėje – sumažėjo, o geomagnetinės indukcijos visur išskyrus centrinę šalies dalį metinis pakitimas padidėjo. Pastebėta, kad šiaurės–vakarinėje šalies dalyje visų parametrų metinis pakitimas buvo didesnis.

8. Nustatant astronominio dienovidinio kryptį pagal Saulės valandinį kampą ir siekiant sumažinti visų paklaidų įtaką, pirmiausia reikia, atsižvelgiant į norimą gauti Saulės azimuto tikslumą ir valandinio kampo paklaidą, nusistatyti leistinas koeficiento K vertes. Šios vertės apibrėžia tinkamiausias matavimams Saulės padėtis. Matavimų metu Saulės zenitinis nuotolis neturi viršyti 80° . Platumos ir Saulės deklinacijos paklaidų įtaką galima sumažinti pasirenkant matavimams dienovidiniui simetriškas Saulės padėtis. Taikant šią metodiką būtų galima tiksliau nustatyti astronominio dienovidinio kryptį, o tuo pačiu padidinti ir magnetinės deklinacijos tikslumą.

9. Pageidautina, kad prietaisas, naudojamas astronominiam dienovidiniui nustatyti, turėtų gulsčiuką, uždedamą ant horizontaliosios ašies, ir astronominį siūlelių tinklėlį. Matuojant horizontalųjį kampą tarp pasirinktos krypties ir Saulės, uždedamuoju gulsčiuku reikia įvertinti prietaiso horizontaliosios ašies posvirį. Saulės perėjimų momentus reikia fiksuoti ne mažesniu kaip 0,1 sekundės tikslumu.

10. Naudojant kaimyninių observatorių duomenis atnaujintas 1940,5 m. epochos prof. K. Sleževičiaus deklinacijos žemėlapis. Atnaujinto žemėlapio deklinacijos paklaidos amžių variacijų tyrimo punktuose neviršija 1° . Prof. K. Sleževičiaus deklinacijos žemėlapis taip pat atnaujintas panaudojant naujų matavimų punktuose duomenis ir keturių kaimyninių observatorių duomenis.

11. Pirmą kartą įvertintas pasaulinio WMM-00 geomagnetinio lauko modelio Lietuvos teritorijoje tikslumas. Nustatyta, kad modelio paklaidos šiaurės rytinėje Lietuvos dalyje siekia iki 4° . Kitose vietose modelio klaidos siekia iki $1,5^\circ$.

12. Matavimus Lietuvos geomagnetinio lauko amžių variacijų tyrimo punktuose reikia kartoti kas 2 metus. Taip pat tikslinga atlikti naują visos teritorijos geomagnetinio lauko nuotrauką. Lietuvos teritorijos geomagnetinio lauko parametrų ir jų kitimo nustatymo tikslumą padidintų naujai įsteigta Lietuvoje geomagnetinė observatorija.

LITERATŪRA

1. Abramova, D. Yu.; Rotanova, N. M. The Application of MAGSAT Geomagnetic-Field Measurements to Earth Induction Sensing. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 3, 1996. p. 411–414.
2. Agris, A.; Lielausis, O.; Platacis, E.; Dement'ev, S.; Cifersons, A.; Gerbeth, G.; Gundrum, T.; Stefani, F.; Christen, M.; Will, G. Magnetic Field Saturation in the Riga Dynamo Experiment. *Physical Review Letters*, vol. 86, Issue 14, 2001, p. 3024–3027.
3. An Tan, Zh.; Wang, D.; Yu.; Rotanova, N. M.; Golovkov, V. P. Harmonic Analysis of the Anomalous Magnetic Field over the Asian Area Derived from the MAGSAT Satellite Data. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 37, No. 5, 1997. p. 624–628.
4. Andreescu, M.; Demetrescu, C.; Nestianu, T. Induction model for the secular variation of the geomagnetic field in Europe. *Physics of The Earth and Planetary Interiors*. Vol. 50, Issue 3, 1988, p. 261–271.
5. Anghel, M.; Demetrescu, C. The effect of solar activity on the secular variation of the geomagnetic field in Romania. *Physics of The Earth and Planetary Interiors*. Vol. 22, Issue 1, 1980, p. 53–59.
6. Antonova, E. E.; Tverskoy, B. A. On the Nature of Electric Fields in the Inner Earths Magnetosphere (Review). *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 2, 1996. p. 145–158.
7. Anufriev, A. P.; Reshetnyak, M. Yu.; Hejda, P. Influence of the Inner Core on the Magnetic-Field Generation in an α ω -Dynamo Model. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 37, No. 1, 1997. p. 111–115.
8. Anufriev, A. P.; Reshetnyak, M. Yu.; Sokoloff, D. D. Estimating the Dynamo Number for a Model of the Turbulent α -Effect in the Earth's Liquid Core. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 37, No. 5, 1997. p. 628–632.
9. Baishev, D. G.; Yumoto, K.; Solov'ev, S. I.; Molochushkin, N. E.; Barkova, E. S. Magnetic Storm-Time Variations of the Geomagnetic Field during Large-Scale Undulations of the Evening Diffuse Aurora. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 37, No. 6, 1997. p. 706–712.
10. Basalykas, A. Žemė – žmonijos buveinė. Vilnius: Alma littera. 1999. p. 21–30.
11. Bellanger, E.; Anad, F.; Le Mouel, J. L.; Manda, M. The irregular variation of the external geomagnetic field from Intermagnet data. *Earth Planets Space*, Vol. 55, No. 4, 2003, p. 173–181.

12. Blagoveshchenskaya, N. F.; Vovk V. Ya.; Moskvina, I. V. Dynamic Processes in the Ionosphere during Substorm Inferred from Oblique Backscattering Data. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 1, 1996. p. 129–134.
13. Bobinas, A. Magnetinės deklinacijos matavimai Lietuvos TSR teritorijoje // Geodezijos darbai, III t., Vilnius, 1965, p. 69–72.
14. Bobinas, A. Magnetinis laukas ir Lietuvos vakarinės dalies substrato struktūra. LŽŪA, Kaunas, 1969. p. 10–183.
15. Bock, R.; Magnetische Reichsvermessung 1935,0. Berlin, 1948, p. 40–53.
16. Bondar, T. N.; Golovkov, V. P.; Yakovleva, S. V. Secular Variation in the Geomagnetic Field in 1980–2000. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 43, No. 6, 2003. p. 799–803.
17. Buffett, B.; A. Earth's Core and Geodynamo. *Science*. Vol. 288, 2000, p. 2007–2012.
18. Cain J. C.; Kamide Y.; Evans D. S. A comparison of field – aligned current signatures simultaneously observed by the Magsat and TIROS/NOAA spacecraft. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, Vol. 36, 1984, p. 521–527.
19. Cain, J. C. Et Al. A proposed model for The International Geomagnetic Reference Field 1965, *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, Vol. 19, No. 4, 1967. p. 335–355.
20. Chernova, T. A.; Golovkov, V. P.; Rotanova, N. M.; An, Ch.; Shu, E. Analysis of Geomagnetic Secular Variations in East Asia. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 38, No. 4, 1998. p. 497–502.
21. Czerski A.; Czerski J. Results of Geomagnetic Observations, *Hel 2000, Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., C-81(330)*, 2002, p. 3–105.
22. Česnulevičius A. Geodinaminių procesų intensyvumo vertinimas. *Geografija*. 37 (2), ISSN 0202-3288, 2001, p. 5–12.
23. Česnulevičius, A. Geodinaminiai procesai ir reljefo tyrimo problemos. Monografija. Lietuvos mokslas. Geomokslai. ISBN 9986-795-03-6. 23, 1999, p. 356–367.
24. Česnulevičius, A. Geodinaminių procesų intensyvumo prognozė Lietuvoje. *Litosfera*. 2. ISSN-1392-334X. 1998. p. 157–163.
25. Dehant, V.; Viron, O. Earth rotation as an interdisciplinary topic shared by astronomers, geodesists and geophysicists. *Advances in Space Research*. Vol. 30, Issue 2, 2002, p. 163–173.
26. Dolginov, Sh. Sh.; Tyurmina, L. O. Observations and Analytical Models of the Secular Variation in the Geomagnetic Field between 1965 and 1980. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 2, 1996, p. 275–278.

27. Eselevich, V. G.; Ashmanets, V. I.; Startsev, S. A. On the Problem of Investigation of Physics of Solar-Terrestrial Effects. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 3, 1996, p. 331–337.
28. Fonarev, G. A. Gradients of Magnetic Variations at the Ocean Surface. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 37, No. 1, 1997, p. 155–160.
29. Fonarev, G. A.; Sokolova, E. Yu. Coast Effect on Magnetic Gradient Measurements in the Ocean. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 42, No. 1, 2002, p. 132–135.
30. Gelberg, M. G.; Kershengoltz, S. Z.; Shadrina, L. P.; Sharaeva, S. V. Relationship between the Classes of Geomagnetic Storms and Auroral Geomagnetic Disturbances. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 40, No. 1, 2000, p. 22–29.
31. Golovkov, V. P.; Bondar, T. N.; Burdel'naya, I. A.; Yakovleva, S. V. Global Modeling of the Geomagnetic-Field Spatiotemporal Structure. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 37, No. 4, 1997, p. 481–490.
32. Golovkov, V. P.; Zvereva, T. I.; Chernova, T. A. Annual Variation in the Earth's Magnetic Field. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 44, No. 1, 2004, p. 115–120.
33. Golovkov, V. P.; Kolomiitseva, G. I.; Konyashchenko, L.P.; Semenova, G. M. Catalogue of the Mean Year Values of the Geomagnetic Field Elements in the World Net of Magnetic Observatories. V.XVI, Moskva, IZMIRAN, 1983, p. 333–342.
34. Gorbachev, L. P.; Kotov, Yu. B.; Semenova, T. A. An Analysis of Records of Geomagnetic Disturbances (Using the *Starfish* Explosion as an Example). *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 38, No. 2, 1998, p. 201–208.
35. Gulyaeva, T. L. Logarithmic Scale of Ionospheric Disturbances. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 1, 1996, p. 115–119.
36. Haines, G. V. Regional Magnetic Field Modelling. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 42, Tokyo, 1990, p. 1001–1018.
37. Heirtzler, J., R.; Nazarova, K. Geomagnetic secular variation in the Indian Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*. Vol. 207, Issues 1–4, 2003, p. 151–158.
38. Heller, R.; Merrill, R.T; Mc. Fadden, P. L. The variation of intensity of Earth's magnetic field with time. *Physics of The Earth and Planetary Interiors*. Vol. 131, Issues 3-4, 2002, p. 237–249.
39. <http://science.nasa.gov> [žiūrėta 2004.05.11]
40. <http://www.albertaclassic.com/nav.php> [žiūrėta 2005.03.12]
41. <http://www.geomag.bgs.ac.uk/earthmag.html> [žiūrėta 2006.01.17]

42. http://www.intermagnet.org/myservlet/dataplot_e.jsp [žiūrėta 2003.05.15]
43. Jankowski, J.; Ernst, T.; Jozwiak, W. Effect of thin near-surface layer on the Geomagnetic induction arrows: an example from the East European Platform. *Acta Geophysica Polonica*. Vol. 52, No. 3, 2004, p. 349–361.
44. Janowski, B.M. *Magnetyzm ziemski*. Państwowe wydawnictwo naukowe. Warszawa 1958. p. 170–277
45. John M.; Quinn, D. J. Barraclough, D. World Magnetic Charts for 1985 - spherical harmonic models of the Geomagnetic field and its secular variation, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 1986, p. 1143–1157
46. Kalinowski, S. Zdjęcia magnetyczne Polski, *Prace Obserwatorium Magnetycznego w Świdrze*, Warszawa, 1933, p.140–152.
47. Kasyanenko, L. G.; Demina, I. M.; Sas-Uhrynovski, A. Representation of the Earth's Main Magnetic Field as a Set of Optimally Oriented and Located Dipoles. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 42, No. 6, 2002, p. 801–808.
48. Kasyanenko, L. G.; Demina, I. M.; Sas-Uhrynowski, A. Space and Time Variations in the Geomagnetic-Field Vector from 1900 to 1990. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 38, No. 6, 1998, p. 765–771.
49. Kiselev, B. V.; Volobuev, D. M. Comparison of Dynamic Characteristics of the Solar and Geomagnetic Activities. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 37, No. 5, 1997, p. 647–651.
50. Kitaev, A. V. A Closed-Magnetic-Field Model of the Earth's Magnetosphere. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 3, 1996, p. 386–390.
51. Kitaev, A. V. Mechanisms for Generating an Electric Field on Earth Magnetospheric Boundary. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 1, 1996, p. 23–30.
52. Korabliova, L.; Popov, M. Lietuvos gravimetrinio ir magnetometrinio žemėlapių M 1:200 000 įskaitmeninimo ataskaita. *Geofizika, magnetometrija/Lietuvos geologijos tarnyba*, Vilnius, 1997, p. 1–18.
53. Korotaev, S. M.; Sorokin, M. O. Calculation of the Variable Geomagnetic Field in the Ocean Using the Method of Homologous Variations. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 3, 1996, p. 588–592.
54. Krzemiński, W. Mapa izogon Polski. Tom VII, Nr 1a, *Prace IGiK*, 1959, p. 60–77.
55. Labrosse, S. Thermal and magnetic evolution of the Earth's core. *Physics of The Earth and Planetary Interiors*. Vol. 140, Issues 1-3, 2003, p. 127–143.

56. Lotova, N. A.; Vladimirskii, K. V. Critical Point of the Solar Wind in the 11-Year Solar Cycle. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 38, No. 3, 1998, p. 373–378.
57. 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.
58. Maltsev, Yu. P. An Electric Field Induced in the Magnetosphere by a Sudden Impulse. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 2, 1996, p. 234–238.
59. Marianiuk, J.; Reda, J. Results of Geomagnetic Observations - Belsk 2000, *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, C-79(328), 2001, p. 12–110.
60. McLean, S.; Macmillan, S.; Maus, S.; Lesur, V.; Thomson, A.; Dater, D. The US/UK World Magnetic Model for 2005-2010. NOAA Technical Report Nesdis/NGDC1, 2004, p. 1–79.
61. Merrill, R. T.; McElhinney, M. W. The Earth's Magnetic Field. London: Academic Press, 1983, p. 101–106.
62. Muller, D. R. Deep Earth Structure and Global Tectonics. *Geol* 2001. Geological Hazards and Solution. University of Sydney. School of Geosciences, Division of Geology and Geophysics. 2002, p. 1–112.
63. Nachasova, I. E.; Burakov, K. S. 8000-Year Geomagnetic-Intensity Variation. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 37, No. 1, 1997, p. 115–120.
64. Nachasova, I. E.; Burakov, K. S. Variability of the Geomagnetic Intensity Disturbance during the Last 7000 Years. ISSN 0016-7932, Vol. 37, No. 6, 1997, p. 764–768.
65. Namgaladze, A. A.; Martynenko, O. V. Global Model of the Upper Atmosphere with a Variable Integration Step in Latitude. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 2, 1996, p. 207–213.
66. Newitt, L.R.; Barton, C.E.; Bitterly, J. Guide for Magnetic Repeat Station Surveys. *IAGA, published by Secretary-General of IAGA, WGV-8, NOAA space Environment Center, Boulder, CO 80303-3328, USA*, Warsaw, 1996, p. 8–112.
67. Nikolskaya, K. I.; Valchuk, T. E. Formation of the Solar Wind and the Solar Corona. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 38, No. 2, 1998, p. 148–153.
68. Olsen N. A model of the geomagnetic field and its secular variation for epoch 2000 estimated from Orsted data. *Geophys. J. Int.* Vol. 149, 2002, p. 454–462.
69. Olsen, N.; Moretto, T.; Friis-Christensen, E. New approaches to explore the Earth's magnetic field. *Journal of Geodynamics*. Vol. 33, Issues 1-2, 2002, p. 29–41.
70. Operation and maintenance manual for Mag-01 Fluxgate Deklinometer/Inclinometer. Bartington Instruments Ltd. OM0138, Issue 8, 1989, p. 1–23.

71. Operation and maintenance manual for Mag-01H Fluxgate Declinometer/Inclinometer. Bartington Instruments Ltd. OM0138, Issue 8, 1996, p. 1–21
72. Pecherskii, D. M. Global Magnetic Anomalies and the Amplitude of Secular Variations of the Geomagnetic Field Direction. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 40, No. 6, 2000, p. 804–808.
73. Petroškevičius, P. Astronominio azimuto nustatymas 3-5" tikslumu. *Metodikos nurodymai*. Vilnius, Technika, 1992, p. 3–16.
74. Petroškevičius, P. Geodezinės astronomijos raida. *Geodezijos darbai*. Nr. 16, Vilnius, 1989, p. 77–90.
75. Petroškevičius, P. Geodezinio azimuto nustatymo galimybės. *Geodezijos darbai*. Nr. 19, Vilnius, 1994, p. 94–100.
76. Porokhova, L. N.; Abramova, D. Yu.; Porokhov, D. A. Models of Mantle Electric Conductivity Constructed with the Effective Linearization Technique from Global Ground-Based and Satellite Data. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 3, 1996, p. 688–695.
77. Quinn, J. M.; R. J. Coleman, D. L.; Nigro, S. and J. M. *The Joint US/UK 1995 Epoch World Magnetic, Technical Report # 314 (TR-314)*, U.S. Naval Oceanographic Office, Stennis Space Center, MS 39522-5001, USA, 1995, p. 1–20.
78. 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*, Vol. 49, 1997, p. 245–261.
79. Rasson, J. L.; The status of the world-wide network of magnetic observatories, their location and instrumentation. *Contribution to Geophysics and Geodesy*. Vol. 31/1, 2001, p. 427–453.
80. Reda J. Results of Geomagnetic Observations, Belsk 1999, *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, C-74(318), 2000, p.1–63.
81. Reshetnyak, M. Yu. On Migration of the Secular Variation Focuses. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 1, 1996, p. 100–105.
82. Richmond, A., D. Modelling the geomagnetic perturbations produced by ionospheric currents, above and below the ionosphere. *Journal of Geodynamics*. 33, 2002, p 143–156.
83. Rivin, Yu. R. On the Problem of Separating the Variations of the Earth's Magnetic Field into Components Corresponding to External and Internal Sources. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 3, 1996, p. 417–421.

84. Rivin, Yu. R. Quasi-Annual Variation in Solar Magnetic Fields, Interplanetary Medium, and the Earth's Magnetosphere. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 37, No. 1, 1997, p. 26–33.
85. Rivin, Yu. R. The 22-Year Cycle of Geomagnetic Activity. *Journal of Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 3, 1996, p. 531–536.
86. Romashchenko, Yu., A., A. Simple Problem on the Magnetohydrodynamic Flow around a Linear Current. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 3, 1996, p. 295–300.
87. Rotanova, N. M.; Tsvetkov, Yu., P. Studying the Geomagnetic Field from the Space. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 44, No. 1, 2004, p. 120–127.
88. Rotanova, N. M.; Bondar, T. N.; Ivanov, V. V. Time Changes in Secular Geomagnetic Variations. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 42, No. 5, 2002, p. 676–680.
89. Roze, E. N.; Rotshtein, A. Ya.; Kopytenko, Yu., A. The Theory of Magnetic Measurements on a Moving Platform. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 39, No. 5, 1999, p. 661–665.
90. Sas-Uhrynowski, A.; Welker, E.; Demina, I., M.; Kasyanenko, L., G. Vector magnetic survey on the Baltic Sea by schooner „Zarya”. Institute of Geodesy and Cartography Monographic series No. 1, Warsaw 2001, p. 1–108.
91. Sas-Uhrynowski, A. Badania geodynamiczne metodami geodezyjnymi, grawimetrycznymi i magnetycznymi na obszarze Polnocno-Zachodniej czesci platformy Prekambryjskiej. Instytut Geodezji i Kartografii. Zaklad Geodezji Fizycznej. Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego Nr. 9 T 12 E 005 15, Warszawa, 2001, p. 1–60.
92. Sas-Uhrynowski, A. Podstawowa osnowa magnetyczna kraju // Biuletyn Instytutu Geodezji i Katografii. Dodatek miesiecznika „Przegląd geodezyjny“ Nr. 6, 1984, p. 29–33.
93. Sas-Uhrynowski, A. Wplyw dokladnosci lokalizacji morskiego punktu wiekowego na wyniki wyznaczen magnetycznych. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*. Tom XXXVII, zeszyt 1-2 (84-85), 1990, p. 177–192.
94. Sas-Uhrynowski, A.; Ritter, E. Standards of magnetic observatories in Central Europe. *Gerlands Beitr. Geophysik*. Leipzig, Nr. 6 1990, p. 523–530
95. Sas-Uhrynowski, A.; Welker, E.; Karatajev, H.; Mroczek, S.; Karagodina, O. Badania zmian wiekowych pola geomagnetycznego na terytorium Polski i Bialorusi. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*. Tom XLVII, Zeszyt 100, Warszawa 2000, p. 25–34.

96. Sas-Uhrynowski, A.; Karatayev, H.; Mroczek, S.; Karagodina, O. Badania zmian wiekowych pola geomagnetycznego na terytorium Polski i Białorusi. *Prace IGiK*, tom XLVII, Nr 100, 2000, p. 25–34.
97. Sas-Uhrynowski, A.; Korte, M.; Scott, J.; Schwarz. Recommendations for European Magnetic Repeat Station surveys. Workshop on European Magnetic Repeat Station Station Surveys. Niemegk, 2003, p. 1–20.
98. Sas-Uhrynowski, A.; Mroczek, S.; Karatayev, H. I.; Karagodina, O. I. Simulation of recent tectonic–physical processes on gravity and magnetic dynamic field in Belarus. *Litosfera* 2(15), Institut Geologicheskikh Nauk NAN Bielorusi, Minsk, 2001, p. 98–106.
99. Skeivalas, J. (a), Petroškevičius, P., Būga, A. GPS stočių panaudojimo perspektyva geodezijoje. *Geodezija ir kartografija*, Nr. 1 (23), Vilnius: Technika, 1996, p. 3–10.
100. Skeivalas, J. (b); Petroškevičius, P. Precizinių GPS matavimų būklė ir perspektyva Lietuvoje. *Lietuvos mokslas*. T. IV, 10 knyga, Vilnius, 1996, p. 124–129.
101. Skeivalas, J. GPS stygų koordinačių prieaugių nustatymo tikslumas matuojant nešlio dvigubų fazių skirtumus. *Geodezija ir kartografija*, T. XXIX, Nr 4, Vilnius: Technika, 2003, p. 115–118.
102. Skeivalas, J., Petroškevičius, P. Nauji geodezijos metodai Žemės formos ir gravitacijos lauko tyrimuose. *Lietuvos mokslas*. 23 knyga. Vilnius, 1999, p. 473–489.
103. Skeivalas, J., Petroškevičius, P. Žemės taškų koordinačių, nustatytų NAVSTAR sistema, tikslumas. *Geodezijos darbai*, T. 20. Vilnius, 1994, p. 53–59.
104. Sleževičius, K.; Saldukas, I. Lietuvos magnetinė nuotrauka, padaryta 1936–1938 metais. Vilniaus Universiteto Matematikos - gamtos fakultetas. Vilnius, 1941, p. 5–52.
105. Sokoloff, D., D. Geodynamo and Models of Geomagnetic Field Generation: A Review. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 44, No. 5, 2004, p. 533–543.
106. Stankūnas, J.; Jakučionis, A.; Žilienė, D. Some aspects of navigation aids usage for UAV control // *Zeszyty naukowe Politechniki Świętokrzyskiej. Mechanika: Naukowe aspekty bezpilotowych aparatów latających / Politechnika Świętokrzyska*. ISSN 0239-4979. Kielce, 2004, p. 439–446.
107. Šliaupa, S. Bouguer anomalijų žemėlapių patikslinimas GIS priemonėmis. *Geodezija ir kartografija*. ISSN 1392-1541, T. XXXI, Nr. 2. Vilnius, 2005, p. 41–46.
108. Tsvetkov, Yu. P.; Rotanova, N. M.; Belkin, V. A.; Odintsov, S. D. The Results of Magnetic Surveys at Different Latitudes over the Region of Kursk Magnetic Anomaly. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 3, 1996, p. 542–546.

109. U. S. Geological Survey. Intermagnet Technical Reference Manual. Version 4.2, Denver, 2004, p. 1–86.
110. Uhrynowski, A. Badanie zmian wiekowych magnetycznego pola Ziemi na terenie Polski. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*. Tom XXIV, Zeszyt 2 (56), Warszawa, 1977, p. 1–33.
111. Uhrynowski, A. Zdjęcie deklinacji magnetycznej Bałtyku Południowego na epokę 1971,5. *Materiały Konferencji NOT „Geodezja w Gospodarce Morskiej“*, Gdańsk, 1975, p. 1–6.
112. Uhrynowski, A. Magnetometr protonowy. *Biuletyn Instytutu Geodezji i Kartografii*. „Dodatek do miesięcznika „Przegląd Geodezyjny” Tom XVII, Nr. 2, Warszawa 1968, p. 131–132.
113. Uhrynowski, A. Wyznaczenie zmiany wiekowej magnetycznego pola Ziemi na Bałtyku w interwale 1982 – 1985. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*. Tom XXXIV, Zeszyt 2(79), Warszawa, 1987, p. 69–86.
114. Uhrynowski, A.; Zoltowski, A. Adjustment of the Standards of Magnetic Observatories in Central and Southeastern Europe. *Gerlands Beitr. Geophysik*, Leipzig, Nr. 6, 1980, p. 527–533.
115. Vaitkevičienė J. Aeronavigacinių žemėlapių panaudojimo aspektai. *Geografija*. ISSN 1392–1096, T. 39(2), 2003, p. 45–51.
116. Wallace, H. C. Introduction to geomagnetic fields. Second edition. Cambridge University Press., ISBN 0521822068, 2003, p. 1–332.
117. Welker, E.; Zoltowski, A. M. Normalne pole zmian wiekowych magnetyzmu ziemskiego na obszarze Polski. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*. Tom XI, zeszyt 1(88), 1993, p. 103–118.
118. Zakarevičius, A. Dabartinių geodinaminių procesų Lietuvos teritorijoje tyrimas. Monografija, Vilnius: Technika, ISBN 9986-05-691-8, 2003, p. 1–195.
119. Zakarevičius, A. Dabartinių vertikalių žemės plutos judesių Lietuvos teritorijoje tyrimas. Monografija. ISBN 9986-05-0979-9. Vilnius: Technika, 1994, p. 1–276.
120. Zakarevičius, A.; Stanionis, A. Geodinaminių Žemės plutos įtampų pokyčiai Ignalinos atominės elektrinės regione. *Geodezija ir kartografija*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. ISSN 1392-1541, T. XXX, Nr. 4, 2004, p. 107–111.
121. Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; Puzienė, R.; Anikėnienė, A.; Būga, A.; Denas, Z. Tectonic Interpretation of Measured Recent Movements of the Earth Surface of Sedimentary Basin. In: *Selected papers of 6th International Conference „Environmental Engineering“*, Vol 2, Vilnius: Technika, 2005, p. 1034–1040.

122. Zhgenti, T. G.; Khantadze, A. G. A Magnetohydrodynamic Process of the Earths Magnetosphere Self-Regulation. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 3, 1996, p. 390–393.
123. Zhgenti, T. G.; Khantadze, A. G. Oscillations of the Dayside Earths Magnetosphere. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 3, 1996, p. 393–395.
124. Zinchenko, B. G.; Reshetnyak, M. Yu. Autocorrelation of Geomagnetic Fluctuations in the Mantle. *Geomagnetism and Aeronomy*. ISSN 0016-7932, Vol. 36, No. 3, 1996, p. 536–542.
125. Zmuda, A. J. World Magnetic Survey 1957-1969, International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA) Bulletin #28, 1971, p. 186–188.
126. Zoltowski, A. M. Opracowanie mapy izogon Europy na rok 1972. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii. Tom XX, Zeszyt 2/47, 1973, p. 15–22.
127. Zoltowski, A. Zmiany wiekowe deklinacji magnetycznej w Polsce w latach 1957 – 1961. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii. Tom IX, Zeszyt 2(20), Warszawa, 1962, p. 100–107.
128. Zoltowski, A. M. Numeryczna metoda aktualizacji zdjęcia deklinacji magnetycznej obszaru Polski. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii. T. XXVI, Zeszyt 1(61), 1979, p. 63–78.
129. Абалакин, В. К.; Краснорылов, И. И.; Плахов, Ю. В. Геодезическая астрономия и астрометрия. Картгеоцентр – Геодезиздат, ISBN: 5-86066-021-9, 1996, с. 380–399.
130. Блинструбас, С. И.; Гедвилайте, Н. М. Таурагская отрицательная магнитная аномалия. Научные сообщения института геологии и географии АН Лит. ССР, геофизика, Т. XI, 1960, с. 1–45.
131. Зандер, В. Н. Карта аномального магнитного поля (изолинии ΔT) М 1:200000. Западный геофизический трест. Москва, 1963, с. 20–63.
132. Инструкция по магниторазведке. Наземная магнитная съемка, аеромагнитная съемка, гидромагнитная съемка. Ленинград, Недра, 1981, с. 1–261.
133. Каратаев, Г. И.; Папушина, Л. Б. Вековые вариации Геомагнитного поля Белорусско-Прибалтийского региона. Доклады Академии наук БССР. Т. 35. Но. 9, 1991, с. 850–851.
134. Колобков, В. П. Детальное исследование магнитных аномалий района Тумасонис – Субатас. Каунаская научно – исследовательская геофизическая обсерватория. Каунас, 1952, с. 1–30.
135. Колобков, В. П. Интерпретация Z семка Лекечу магнитной аномалии. Магнитометрия. Каунас, 1953, с. 1–33.

136. Колобков, В. П. Маршрутная Z съемка Литовской ССР, произведенная в 1947 – 1948 г.г. Каунаская научно – исследовательская геофизическая обсерватория, Каунас, 1951, с. 1–27.
137. Лапина, Е. Г. Аэромагнитная съемка Прибалтики и Балтийского моря / Министерство геологии СССР, Спецгеофизика, аэромагнитная партия но. 50/67, 1968, с. 1–47.
138. Логачев А. А.; Захаров В. П. Магниторазведка. Ленинград, Недра, 1973, с. 1–345.
139. Папко, А. М.; Щитц, В. А. Отчет о гравимагнитных работах масштаба 1:50000, проведенных на Марцинконяйском объекте в южной части Литовской ССР. Магниторазведка. 22 черт., 1973, с. 1–76.
140. Руководство по аэропортовым службам. Контролирование препятствий. Часть 6 , второе издание. Дос 9137-AN/898/2, 1983, с. 1–26.
141. Уралов, С. С. Курс геодезической астрономии. Москва. Недра, 1980, с. 400–592.
142. Яновский, Б. М. Земной магнетизм. Учебное пособие. Изд. 3-е, изд. Ленингр. ун., 1964, с. 1–450.
143. Яновский, Б. М. Земной магнетизм. Учебное пособие. Изд. 4-е, изд. Ленингр. ун., 1978, с. 1–487.

AUTORIAUS SKELBTŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS

144. Jucevičiūtė, V.; Kumetaitis, Z.; Šleiteris, E.; Būga, A.; Obuchowski, R.; Paršeliūnas, E. K.; Petroškevičius, P.; Putrimas, R. Trends of development of the Lithuanian national geodetic control // Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie: Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Ponta Delgada, Euref Publication No. 12, Band 29, ISSN 1436-3445, 2003, p. 273–281.
145. Kowalik B.; Obuchowski R. Investigation of geomagnetic field on the Lithuanian territory. The 6-th International Conference „Environmental Engineering“ Selected Papers, Vol. 2, Vilnius Gediminas Technical University Press „Technika“, ISBN 9986-05-851-1, 2005, p. 908–912 (*ISI Proceedings*).
146. Obuchowski, R. WMM-00 geomagnetinio lauko modelio Lietuvos teritorijoje tikslumo tyrimas. *Geodezija ir kartografija*, ISSN 1392-1541, T. XXX, Nr. 1. Vilnius: Technika, , 2004, p. 14–21.
147. Obuchowski, R.; Petroškevičius, P. Geomagnetinio lauko kitimo tyrimas. 7-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“, įvykusios

Vilniuje 2004 m. kovo 25 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, ISBN 9986-05-755-8, 2004, p. 284–290.

148. Paršeliūnas, E.; Viskontas, P.; Grigas, M.; Obuchovski, R.; Kolosovskis, R.; Baronas, T. Technical equipment and software of European sea level service site Klaipeda. The 6-th International Conference „Environmental Engineering“ Selected Papers, Vol. 2, Vilnius Gediminas Technical University Press „Technika“, ISBN 9986-05-851-1, 2005, p. 964–968. (*ISI Proceedings*).

149. Paršeliūnas, E.; Viskontas, P.; Grigas, M.; Obuchovski, R.; Marozas, L. Measurement Techniques of a European Sea Level Service Site in Klaipeda. Solid State Phenomena. Mechatronic Systems and Materials. ISSN 1012-0394, Vol. 113, 2006, p. 483–488. (*ISI Master Journal List*).

150. Petroškevičius, P.; Obuchovski, R. Astronominio dienovidinio nustatymo pagal Saulės valandinį kampą galimybių tyrimas. *Geodezija ir kartografija*, ISSN 1392-1541, T. XXXII, Nr. 1. Vilnius: Technika, 2006, p. 23–28.

151. Petroškevičius, P.; Putrimas, R.; Krikštaponis, B.; Būga, A.; Neseckas, A.; Obuchovski, R.; Stepanovienė, J.; Tumelienė, E.; Viskontas, P.; Zigmantienė, E. Analysis of normal height differences determination in Lithuanian National Geodetic Vertical Network. The 6-th International Conference „Environmental Engineering“ Selected Papers, Vol. 2, Vilnius Gediminas Technical University Press „Technika“, ISBN 9986-05-851-1, 2005, p. 975–984 (*ISI Proceedings*).

152. (a) Sas-Uhrynowski, A.; Mroczek, S.; Abromavicius, R.; Obuchowski, R. Investigations of the Magnetic Field over the Territory of Lithuania. *Geodezija ir kartografija*, ISSN 1392-1541, T. XXVIII, Nr. 3, Vilnius: Technika, 2002, p. 88–94.

153. (b) Sas-Uhrynowski, A.; Mroczek, S.; Sas, A.; Petroškevičius, P.; Obuchowski, R.; Rimkus, D. Establishment of Lithuanian Gravimetric First Order Network *Geodezija ir kartografija*, ISSN 1392-1541, T. XXVIII, Nr. 3, Vilnius: Technika, 2002, p. 75–82.

154. Welker, E.; Sas-Uhrynowski, A.; Obuchovski, R. Magnetinių deklinacijų pokytis 1941–2000 m. laikotarpiu Lenkijos ir kaimyninių šalių teritorijoje. *Geodezija ir kartografija*, ISSN 1392-1541, T. XXIX, Nr. 4. Vilnius: Technika, 2003. p. 106–114.

PRIEDAS

IŠMATUOTŲ GEOMAGNETINIO LAUKO PARAMETRŲ REDUKAVIMO KAIMYNINIŲ OBSERVATORIJŲ ATŽVILGIU REZULTATAI

1 lentelė. Žiežmarių punkto 1999 m. deklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	D_{pkt} _o	$\Delta D_{pkt-Belsk}$ _o	$\Delta D_{pkt-Hel}$ _o	$\Delta D_{pkt-Lovo}$ _o	$\Delta D_{pkt-Nurmijarvi}$ _o
17:24	5,89278	1,91836	3,24059	2,66434	0,22425
17:53	5,87167	1,90395	3,24219	2,67511	0,24692
09:44	5,97500	1,92045	3,21943	2,64596	0,20445
10:11	5,94556	1,90888	3,21672	2,65109	0,21667
12:59	5,86944	1,92442	3,22763	2,62695	0,18892
13:25	5,85472	1,92381	3,22487	2,63934	0,19140
17:12	5,97056	1,94556	3,23761	2,65084	0,18142
17:41	5,96750	1,93947	3,23493	2,64946	0,18772
09:03 (neimta)	6,09750	1,94149	3,23113	2,62814	0,18188
09:33 (neimta)	6,09083	1,94725	3,23276	2,63090	0,18438
Vidurkis	5,91840	1,92311	3,23050	2,65039	0,20522

2 lentelė. Dusetų punkto 1999 m. deklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	D_{pkt} _o	$\Delta D_{pkt-Belsk}$ _o	$\Delta D_{pkt-Hel}$ _o	$\Delta D_{pkt-Lovo}$ _o	$\Delta D_{pkt-Nurmijarvi}$ _o
17:47	5,62167	1,62596	2,91884	2,33027	-0,12731
18:32	5,62944	1,62059	2,91605	2,32458	-0,12109
17:54	5,61306	1,61434	2,91071	2,33788	-0,11317
18:25	5,61972	1,60996	2,90429	2,33103	-0,12070
08:34	5,75750	1,60333	2,90160	2,33491	-0,11057
09:10	5,75500	1,60148	2,90239	2,34114	-0,09708
13:00	5,60000	1,60120	2,86948	2,27101	-0,12913
13:26	5,58222	1,60033	2,87338	2,28225	-0,12913
08:14	5,81444	1,63660	2,90805	2,30313	-0,15322
08:44	5,80222	1,63298	2,90160	2,29004	-0,15143
Vidurkis	5,67953	1,61468	2,90064	2,31462	-0,12528

3 lentelė. Parovėjos punkto 1999 m. deklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	D_{pkt} _o	$\Delta D_{pkt-Belsk}$ _o	$\Delta D_{pkt-Hel}$ _o	$\Delta D_{pkt-Lovo}$ _o	$\Delta D_{pkt-Nurmijarvi}$ _o
17:12	5,46917	1,48646	2,78522	2,20608	-0,25150
17:41	5,47556	1,48298	2,78619	2,20512	-0,24910
08:17	5,67694	1,51567	2,79491	2,19818	-0,27393
08:49	5,67361	1,50618	2,78474	2,18976	-0,27919
13:46	5,38139	1,45133	2,76226	2,17649	-0,25697
14:12	5,37639	1,45532	2,76556	2,18326	-0,24864
18:08	5,47611	1,47570	2,78141	2,21880	-0,24288
18:36	5,50111	1,47678	2,77177	2,20706	-0,24151
08:16	5,68139	1,49496	2,76896	2,17023	-0,28355
08:45	5,68417	1,50362	2,77756	2,17508	-0,27410
Vidurkis	5,53958	1,48490	2,77786	2,19301	-0,26014

4 lentelė. Šaukoto punkto 1999 m. deklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	D_{pkt} _o	$\Delta D_{pkt-Belsk}$ _o	$\Delta D_{pkt-Hel}$ _o	$\Delta D_{pkt-Lovo}$ _o	$\Delta D_{pkt-Nurmijarvi}$ _o
16:22	4,04667	3,99943	2,70400	3,28748	5,74851
16:49	4,06028	4,01572	2,71491	3,29493	5,75947
07:49	4,21694	4,15779	2,64671	3,48318	5,93763

4 lentelės tęsinys

08:09	4,22611	4,16526	2,88550	3,49752	5,95164
11:41	4,04944	4,01889	2,73496	3,33040	5,76434
12:05	4,03639	4,00749	2,71977	3,32258	5,74223
15:58	4,02167	3,97634	2,68066	3,26108	5,72239
16:17	4,01556	3,97492	2,67513	3,26132	5,71953
12:49	3,96278	3,94629	2,64671	3,23408	5,66607
13:14	3,95000	3,93182	2,64197	3,22573	5,64468
Vidurkis	4,05858	4,01939	2,70503	3,31983	5,76565

5 lentelė. Tryškių punkto 1999 m. deklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	D_{pkt} _o	$\Delta D_{pkt-Belsk}$ _o	$\Delta D_{pkt-Hel}$ _o	$\Delta D_{pkt-Lovo}$ _o	$\Delta D_{pkt-Nurmjarvi}$ _o
17:24	4,90889	0,91377	2,20979	1,62637	-0,83285
17:49	4,92806	0,91754	2,21272	1,62468	-0,83688
17:15	4,90444	0,91722	2,21256	1,63553	-0,82828
17:36	4,91583	0,91891	2,21496	1,63648	-0,83010
08:23	5,08056	0,93457	2,20910	1,60115	-0,82834
08:48	5,05917	0,92930	2,20855	1,59994	-0,85288
11:34	4,93556	0,91933	2,21105	1,61250	-0,80963
12:02	4,89833	0,91540	2,20775	1,61757	-0,82784
09:38	5,03333	0,94791	2,21509	1,61027	-0,83467
10:04	5,01278	0,94830	2,21500	1,61026	-0,82849
Vidurkis	4,96769	0,92622	2,21166	1,61747	-0,83100

6 lentelė. Šylių punkto 1999 m. deklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	D_{pkt} _o	$\Delta D_{pkt-Belsk}$ _o	$\Delta D_{pkt-Hel}$ _o	$\Delta D_{pkt-Lovo}$ _o	$\Delta D_{pkt-Nurmjarvi}$ _o
16:43	4,33306	0,36467	1,65679	1,07253	-1,38971
17:10	4,34083	0,35715	1,65803	1,07152	-1,38933
08:04	4,53917	0,38335	1,66405	1,06318	-1,39201
08:33	4,52917	0,37497	1,65435	1,05543	-1,40384
13:26	4,33194	0,37209	1,65169	1,05409	-1,36181
13:45	4,33056	0,36774	1,65179	1,05948	-1,35663
17:31	4,32611	0,36605	1,65069	1,06436	-1,38638
17:51	4,32778	0,36265	1,64930	1,06381	-1,38386
08:52	4,49250	0,37254	1,64929	1,07531	-1,36173
16:43	4,39457	0,36902	1,65400	1,06441	-1,38059
Vidurkis	4,33306	0,36467	1,65679	1,07253	-1,38971

7 lentelė. 1999 m. Deklinacijos vidutinės metinės vertės

Vidutinės metinės vertės observatorijoje	Belsk	Hel	Lovo	Nurmjarvi
	4° 02' 32"	2° 45' 18"	3° 21' 24"	5° 48' 00"
Vidutinės metinės vertės punktuose pagal atskiras observatorijas				
Žiežmariai	5° 57' 53"	5° 59' 08"	6° 00' 25"	6° 00' 19"
Dusetos	5° 39' 23"	5° 39' 20"	5° 40' 17"	5° 40' 29"
Parovėja	5° 31' 36"	5° 31' 58"	5° 32' 59"	5° 32' 24"
Šaukotas	4° 05' 44"	4° 05' 35"	4° 04' 51"	4° 06' 31"
Tryškiai	4° 58' 04"	4° 58' 00"	4° 58' 27"	4° 58' 08"
Šyliai	4° 24' 38"	4° 24' 32"	4° 25' 16"	4° 25' 16"

8 lentelė. 1999 m. deklinacijos vidutinės kvadratinės paklaidos gautos pagal atskiras observatorijas

Punktas	Belsk	Hel	Lovo	Nurmijarvi
Žiežmariai	0,9'	0,5'	1,3'	0,9'
Dusetos	0,8'	1,0'	1,5'	1,0'
Parovėja	1,3'	0,6'	1,0'	1,0'
Šaukotas	0,9'	4,6'	0,6'	1,1'
Tryškiai	0,8'	0,2'	0,6'	0,8'
Šyliai	0,4'	0,3'	0,4'	0,9'

9 lentelė. Žiežmarių punkto 1999 m. inklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	I_{pkt_o}	$\Delta I_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta I_{pkt-Hel_o}$	$\Delta I_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta I_{pkt-Nurmijarvi_o}$
17:38	69,70778	2,18133	0,35335	-2,66780	-3,36166
18:01	69,69972	2,17774	0,35484	-2,66062	-3,35667
09:53	69,80778	2,19188	0,35944	-2,70375	-3,41765
10:24	69,80111	2,19086	0,35535	-2,69845	-3,40885
13:07	69,77722	2,19455	0,35385	-2,70072	-3,39818
13:33	69,77278	2,19219	0,35408	-2,69876	-3,39300
17:20	69,76556	2,18685	0,34803	-2,68848	-3,38448
17:47	69,75139	2,18490	0,35030	-2,68540	-3,38400
09:10	69,75111	2,18422	0,35231	-2,69054	-3,39813
09:40	69,75583	2,18622	0,35220	-2,68850	-3,39482
Vidurkis	69,75903	2,18707	0,35338	-2,68830	-3,38974

10 lentelė. Dusetų punkto 1999 m. inklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	I_{pkt_o}	$\Delta I_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta I_{pkt-Hel_o}$	$\Delta I_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta I_{pkt-Nurmijarvi_o}$
17:55	70,45278	2,88705	1,04675	-1,99535	-2,69497
18:39	70,44806	2,88804	1,04960	-1,99498	-2,69419
18:02	70,43472	2,89039	1,05072	-1,99608	-2,69576
18:31	70,43000	2,88743	1,04831	-1,99691	-2,69832
08:43	70,46556	2,89801	1,06424	-1,98386	-2,69777
09:20	70,47222	2,90062	1,06215	-1,98258	-2,69587
13:07	70,49056	2,89719	1,04879	-1,99896	-2,69765
13:32	70,49139	2,89787	1,04881	-1,99961	-2,69809
08:22	70,45694	2,88632	1,05030	-1,99316	-2,69634
08:51	70,46417	2,88760	1,05114	-1,99371	-2,69893
Vidurkis	70,46064	2,89205	1,05208	-1,99352	-2,69679

11 lentelė. Parovėjos punkto 1999 m. inklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	I_{pkt_o}	$\Delta I_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta I_{pkt-Hel_o}$	$\Delta I_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta I_{pkt-Nurmijarvi_o}$
17:19	70,68639	3,12142	1,28757	-1,75164	-2,45159
17:48	70,68333	3,12033	1,28741	-1,75032	-2,44951
08:24	70,68333	3,12826	1,29363	-1,75452	-2,46175
08:56	70,68556	3,12027	1,28775	-1,75767	-2,46514
13:53	70,70417	3,13015	1,29429	-1,75774	-2,45421
14:20	70,68667	3,12670	1,29165	-1,75674	-2,45015
18:15	70,67861	3,11699	1,28710	-1,74133	-2,44026
18:44	70,67972	3,11583	1,28839	-1,73965	-2,43787
08:23	70,71667	3,13705	1,29843	-1,74969	-2,45561
08:52	70,71750	3,13319	1,29618	-1,75570	-2,46314
Vidurkis	70,69219	3,12502	1,29124	-1,75150	-2,45292

12 lentelė. Šaukoto punkto 1999 m. inklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	I_{pkt_o}	$\Delta I_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta I_{pkt-Hel_o}$	$\Delta I_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta I_{pkt-Nurmijarvi_o}$
16:29	70,28306	2,72332	0,89233	-2,14908	-2,84868
16:56	70,28750	2,72497	0,89446	-2,14685	-2,84455
07:56	70,29806	2,72367	0,89374	-2,15011	-2,85941
08:16	70,30167	2,72538	0,89387	-2,14808	-2,85689
11:48	70,31833	2,73471	0,89731	-2,15421	-2,85417
12:12	70,31667	2,73458	0,89685	-2,15227	-2,85412
16:04	70,29472	2,72712	0,89148	-2,15086	-2,84918
16:24	70,28556	2,72766	0,89152	-2,15103	-2,84647
12:56	70,29361	2,73624	0,89720	-2,16216	-2,86501
13:20	70,29056	2,73907	0,89650	-2,16208	-2,86387
Vidurkis	70,29697	2,72967	0,89453	-2,15267	-2,85424

13 lentelė. Tryškių punkto 1999 m. inklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	I_{pkt_o}	$\Delta I_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta I_{pkt-Hel_o}$	$\Delta I_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta I_{pkt-Nurmijarvi_o}$
17:30	70,64694	3,09382	1,25901	-1,78249	-2,47828
17:55	70,65222	3,09184	1,25884	-1,78400	-2,48064
17:21	70,66778	3,09041	1,25491	-1,77266	-2,46269
17:42	70,66944	3,08889	1,25404	-1,77298	-2,46134
08:31	70,67278	3,09701	1,26169	-1,78118	-2,48112
08:55	70,67389	3,09809	1,26154	-1,78441	-2,48028
11:40	70,68333	3,09636	1,25897	-1,79138	-2,49426
12:08	70,68417	3,09749	1,25962	-1,79461	-2,49200
09:45	70,67917	3,09125	1,25538	-1,78056	-2,48353
10:09	70,68389	3,09090	1,25510	-1,78042	-2,48423
07:46	70,68667	3,09316	1,26227	-1,78253	-2,47685
Vidurkis	70,67275	3,09357	1,25831	-1,78247	-2,47956

14 lentelė. Šylių punkto 1999 m. inklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	I_{pkt_o}	$\Delta I_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta I_{pkt-Hel_o}$	$\Delta I_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta I_{pkt-Nurmijarvi_o}$
16:49	70,69806	3,13397	1,29238	-1,74858	-2,44673
17:15	70,68972	3,13346	1,29393	-1,74499	-2,44062
08:10	70,69611	3,12814	1,29457	-1,74139	-2,44479
08:41	70,69889	3,12686	1,29495	-1,74312	-2,44742
13:32	70,69583	3,13490	1,29575	-1,75210	-2,45089
13:51	70,69444	3,13384	1,29614	-1,75359	-2,45322
17:37	70,67972	3,13660	1,29528	-1,75098	-2,44890
17:56	70,67694	3,13581	1,29555	-1,74940	-2,44670
08:59	70,70250	3,13496	1,29939	-1,74357	-2,44969
Vidurkis	70,69247	3,13317	1,29533	-1,74752	-2,44766

15 lentelė. 1999 m. Inklinacijos vidutinės metinės vertės

Vidutinės metinės vertės observatorijoje	Belsk	Hel	Lovo	Nurmijarvi
	69° 35' 58"	69° 26' 12"	72° 28' 42"	73° 10' 54"
Vidutinės metinės vertės punktuose pagal atskiras observatorijas				
Žiežmariai	69° 45' 33"	69° 45' 54"	69° 46' 00"	69° 45' 55"
Dusetos	70° 27' 49"	70° 27' 49"	70° 27' 41"	70° 27' 30"
Parovėja	70° 41' 49"	70° 42' 10"	70° 42' 13"	70° 42' 07"

15 lentelės tęsinys

Šaukotas	70° 18' 06"	70° 18' 22"	70° 18' 08"	70° 18' 03"
Tryškiai	70° 39' 49"	70° 40' 12"	70° 40' 21"	70° 40' 32"
Šyliai	70° 42' 15"	70° 42' 25"	70° 42' 27"	70° 42' 26"

16 lentelė. 1999 m. inklinacijos redukavimo vidutinės kvadratinės paklaidos gautos pagal atskiras observatorijas

Punktas	Belsk	Hel	Lovo	Nurmijarvi
Žiežmariai	0,3'	0,2'	0,8'	1,1'
Dusetos	0,3'	0,4'	0,3'	0,1'
Parovėja	0,4'	0,3'	0,4'	0,5'
Šaukotas	0,3'	0,1'	0,3'	0,4'
Tryškiai	0,2'	0,2'	0,6'	0,4'
Šyliai	0,2'	0,1'	0,3'	0,2'

17 lentelė. Žiežmarių punkto 1999 m. geomagnetinės indukcijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	F_{pkt} nT	$\Delta F_{pkt-Belsk}$ nT	$\Delta F_{pkt-Hel}$ nT	$\Delta F_{pkt-Lovo}$ nT	$\Delta F_{pkt-Nurmijarvi}$ nT
17:16	50506,2	808,6	694,6	-340,8	-1192,8
17:45	50528,1	807,7	693,6	-340,9	-1196,5
18:08	50533,2	812,1	700,4	-338,8	-1191,8
09:38	50467,1	811,7	702,3	-330,9	-1182,0
10:06	50468,5	809,5	700,6	-330,5	-1185,5
10:30	50468,2	809,4	702,0	-332,8	-1190,2
12:50	50473,3	814,7	701,8	-338,7	-1203,3
13:13	50482,2	816,4	703,0	-339,8	-1204,7
13:40	50487,2	813,2	705,1	-341,8	-1207,1
17:04	50506,9	812,6	701,9	-352,1	-1208,7
17:26	50508,7	809,9	700,1	-349,3	-1206,9
17:53	50515,8	808,5	695,6	-347,2	-1201,2
08:56	50499,0	808,4	700,1	-332,0	-1183,2
09:19	50497,6	807,5	699,8	-335,4	-1181,3
09:47	50494,7	806,5	699,5	-334,3	-1181,4
Vidurkis	50495,8	810,4	700,0	-339,0	-1194,4

18 lentelė. Dusetų punkto 1999 m. geomagnetinės indukcijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	F_{pkt} nT	$\Delta F_{pkt-Belsk}$ nT	$\Delta F_{pkt-Hel}$ nT	$\Delta F_{pkt-Lovo}$ nT	$\Delta F_{pkt-Nurmijarvi}$ nT
17:43	50976,1	1289,2	1181,0	142,1	-712,2
18:03	50976,8	1288,8	1179,7	140,8	-713,4
18:46	50976,7	1287,5	1179,4	141,7	-710,8
17:46	50980,2	1289,4	1181,5	143,2	-710,0
18:10	50976,6	1283,7	1175,2	136,6	-715,8
18:37	50980,7	1289,0	1179,6	141,7	-711,5
8:26	50986,0	1302,7	1198,1	177,0	-677,9
8:49	50962,7	1281,2	1177,8	153,7	-703,9
9:28	50961,3	1281,3	1178,8	145,3	-707,8
12:53	50941,8	1302,6	1186,8	132,8	-733,3
8:09	50968,6	1286,9	1179,2	137,6	-706,4
8:29	50966,7	1286,2	1178,6	135,7	-709,0
8:56	50963,8	1287,0	1180,7	137,8	-709,5
13:16	50942,4	1304,7	1185,1	131,4	-721,7

18 lentelės tęsinys

13:39	50944,3	1304,1	1188,2	131,3	-722,3
Vidurkis	50967,0	1291,0	1182,0	141,9	-711,0

19 lentelė. Parovėjos punkto 1999 m. geomagnetinės indukcijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	F_{pkt} nT	$\Delta F_{pkt-Belsk}$ nT	$\Delta F_{pkt-Hel}$ nT	$\Delta F_{pkt-Lovo}$ nT	$\Delta F_{pkt-Nurmijarvi}$ nT
17:01	50073,5	384,4	275,2	-758,5	-1614,3
17:28	50077,6	386,1	276,9	-758,4	-1614,0
17:54	50080,1	386,7	276,6	-756,9	-1612,1
8:11	50070,0	378,9	272,9	-762,0	-1611,2
8:31	50068,5	378,6	273,7	-761,5	-1611,3
9:02	50064,7	378,8	273,1	-763,3	-1609,9
14:00	50056,8	388,9	279,4	-758,2	-1616,9
14:34	50067,0	387,7	277,4	-761,0	-1620,8
14:30	50067,2	388,8	277,9	-760,8	-1620,2
18:02	50096,0	391,7	278,1	-772,0	-1627,9
18:22	50100,6	390,8	279,6	-769,4	-1631,8
18:49	50096,5	387,2	274,8	-777,5	-1632,6
8:14	50063,1	380,3	275,5	-763,9	-1614,5
8:32	50058,2	376,9	272,7	-765,8	-1617,3
9:02	50048,2	373,6	268,1	-771,8	-1620,5
Vidurkis	50053,2	379,2	273,6	-766,8	-1615,5

20 lentelė. Šaukoto punkto 1999 m. geomagnetinės indukcijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	F_{pkt} nT	$\Delta F_{pkt-Belsk}$ nT	$\Delta F_{pkt-Hel}$ nT	$\Delta F_{pkt-Lovo}$ nT	$\Delta F_{pkt-Nurmijarvi}$ nT
16:18	49948,5	246,5	141,8	-888,5	-1741,3
16:41	49951,2	246,9	142,5	-891,8	-1745,3
17:03	49952,1	249,0	143,6	-892,9	-1749,0
7:41	49932,9	243,6	138,9	-893,1	-1742,0
8:02	49937,4	249,5	143,6	-887,6	-1736,0
8:23	49936,5	250,6	144,0	-886,5	-1736,7
11:32	49917,4	249,2	142,7	-897,6	-1751,4
15:50	49938,3	255,0	143,9	-890,7	-1744,5
16:10	49941,1	253,3	141,7	-893,9	-1746,4
16:30	49944,6	250,9	138,6	-896,4	-1746,9
12:43	49916,9	248,0	143,4	-889,1	-1747,1
13:02	49918,2	247,8	142,4	-889,8	-1749,0
13:27	49918,5	245,7	143,1	-892,5	-1751,0
11:54	49919,3	254,0	147,6	-892,7	-1746,9
12:18	49917,5	251,4	145,2	-895,5	-1748,7
Vidurkis	49932,7	249,4	142,9	-891,9	-1745,5

21 lentelė. Tryškių punkto 1999 m. geomagnetinės indukcijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	F_{pkt} nT	$\Delta F_{pkt-Belsk}$ nT	$\Delta F_{pkt-Hel}$ nT	$\Delta F_{pkt-Lovo}$ nT	$\Delta F_{pkt-Nurmijarvi}$ nT
17:07	50216,0	515,4	408,2	-634,0	-1488,2
17:37	50217,0	515,5	410,6	-634,0	-1489,2
18:02	50216,2	517,8	409,9	-631,8	-1485,7
17:09	50228,2	522,6	414,6	-632,8	-1468,2
17:27	50229,2	524,3	415,7	-633,8	-1470,9
17:48	50230,0	525,8	415,7	-636,0	-1470,3

21 lentelės tęsinys

8:14	50176,4	506,5	405,6	-618,6	-1509,9
8:38	50178,9	511,3	410,2	-617,1	-1507,4
9:02	50179,2	512,7	409,1	-617,8	-1506,8
11:32	50184,7	515,5	408,4	-616,3	-1484,2
9:33	50203,6	522,2	410,7	-631,4	-1478,7
9:51	50202,2	523,5	411,2	-629,8	-1477,9
10:15	50202,2	527,6	415,9	-625,8	-1475,6
Vidurkis	50204,9	518,5	411,2	-627,6	-1488,2

22 lentelė. Šylių punkto 1999 m. geomagnetinės indukcijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	F_{pkt} nT	$\Delta F_{pkt-Belsk}$ nT	$\Delta F_{pkt-Hel}$ nT	$\Delta F_{pkt-Lovo}$ nT	$\Delta F_{pkt-Nurmijarvi}$ nT
16:33	50819,7	1127,1	1019,9	-18,3	-872,1
16:56	50817,0	1125,5	1022,3	-19,0	-870,7
17:22	50826,2	1125,7	1019,4	-19,8	-873,6
7:56	50825,0	1126,3	1018,1	-15,0	-861,5
8:16	50825,3	1128,3	1018,2	-13,7	-859,9
8:47	50822,4	1127,2	1019,0	-12,6	-859,5
13:19	50802,2	1126,9	1019,1	-19,8	-868,5
13:39	50802,4	1124,8	1018,2	-19,6	-870,3
13:57	50802,9	1122,5	1016,5	-21,1	-875,0
17:29	50816,0	1122,2	1017,9	-16,0	-867,4
17:43	50817,0	1124,6	1018,4	-15,0	-868,0
18:01	50818,5	1127,1	1018,2	-18,5	-868,6
8:49	50804,8	1124,8	1017,4	-20,2	-871,5
9:05	50805,2	1126,2	1018,2	-19,8	-870,3
Vidurkis	50814,6	1125,7	1018,6	-17,7	-868,4

23 lentelė. 1999 m. Geomagnetinės indukcijos vidutinės metinės vertės

Vidutinės metinės vertės observatorijoje	Belsk nT	Hel nT	Lovo nT	Nurmijarvi nT
	49689	49796	50833	51686
Vidutinės metinės vertės punktuose pagal atskiras observatorijas				
Žiežmariai	50499,4	50496,0	50494,0	50491,6
Dusetos	50980,0	50978,0	50974,9	50975,0
Parovėja	50072,7	50071,3	50067,8	50068,8
Šaukotas	49938,4	49938,9	49940,5	49941,1
Tryškiai	50207,5	50207,2	50205,4	50200,4
Šyliai	50814,7	50814,6	50815,3	50817,7

24 lentelė. 1999 m. geomagnetinės indukcijos redukavimo vidutinės kvadratinės paklaidos gautos pagal atskiras observatorijas

Punktas	Belsk nT	Hel nT	Lovo nT	Nurmijarvi nT
Žiežmariai	2,9	3,2	6,7	10,3
Dusetos	8,2	5,6	11,8	11,3
Parovėja	5,8	3,1	6,1	7,4
Šaukotas	3,2	2,2	3,2	4,6
Tryškiai	6,3	3,3	7,5	14,4
Šyliai	1,8	1,4	2,7	4,9

25 lentelė. Žiežmarių punkto 2001 m. deklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	D_{pkt_o}	$\Delta D_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta D_{pkt-Hel_o}$	$\Delta D_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta D_{pkt-Nurmijarvi_o}$
10:28	6,19750	1,93125	3,13855	2,51219	0,12338
11:03	6,16278	1,92893	3,13833	2,52085	0,13710
16:23	6,06278	1,94598	3,17951	2,59164	0,15624
17:18	6,10278	1,94617	3,17855	2,58926	0,15629
8:30	6,24583	1,95404	3,17770	2,57099	0,14792
9:21	6,21722	1,94705	3,16748	2,56014	0,13651
Vidurkis	6,16481	1,94223	3,16335	2,55751	0,14291

26 lentelė. Dusetų punkto 2001 m. deklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	D_{pkt_o}	$\Delta D_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta D_{pkt-Hel_o}$	$\Delta D_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta D_{pkt-Nurmijarvi_o}$
15:34	5,69944	1,61876	2,86221	2,27588	-0,15686
16:08	5,70889	1,61651	2,85518	2,28245	-0,14756
17:20	5,73278	1,60521	2,85354	2,28907	-0,14188
17:41	5,75500	1,61170	2,85084	2,27645	-0,15065
8:21	6,00417	1,64644	2,85624	2,23276	-0,20812
9:20	5,96694	1,63763	2,84923	2,24495	-0,19391
Vidurkis	5,81120	1,62271	2,85454	2,26693	-0,16650

27 lentelė. Parovėjos punkto 2001 m. deklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	D_{pkt_o}	$\Delta D_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta D_{pkt-Hel_o}$	$\Delta D_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta D_{pkt-Nurmijarvi_o}$
13:41	5,57333	1,48986	2,70660	2,08920	-0,30549
14:09	5,55389	1,48642	2,70512	2,09095	-0,30435
17:16	5,61806	1,50565	2,74539	2,16126	-0,29326
17:44	5,64389	1,49981	2,73806	2,15584	-0,29435
14:54	5,53806	1,48028	2,71026	2,10704	-0,29786
7:54	5,80389	1,50109	2,72545	2,11304	-0,32418
8:26	5,82167	1,50733	2,72101	2,09791	-0,32576
Vidurkis	5,65040	1,49578	2,72170	2,46921	-0,35754

28 lentelė. Šaukoto punkto 2001 m. deklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	D_{pkt_o}	$\Delta D_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta D_{pkt-Hel_o}$	$\Delta D_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta D_{pkt-Nurmijarvi_o}$
13:09	4,14500	0,02560	1,25372	0,66603	-1,72175
13:34	4,14889	0,02908	1,26248	0,67472	-1,71498
17:02	4,20111	0,05315	1,28849	0,71159	-1,73045
17:30	4,11889	0,00756	1,25411	0,60171	-1,84208
14:00	4,22722	0,05535	1,29327	0,77863	-1,62379
7:56	4,39111	0,07268	1,29496	0,69522	-1,74329
8:32	4,39028	0,07004	1,29373	0,69357	-1,74634
Vidurkis	4,25060	0,05098	1,28111	0,70329	-1,71344

29 lentelė. Tryškių punkto 2001 m. deklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	D_{pkt_o}	$\Delta D_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta D_{pkt-Hel_o}$	$\Delta D_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta D_{pkt-Nurmijarvi_o}$
13:15	5,06167	0,93077	2,15082	1,53584	-0,84273
18:18	5,06417	0,91666	2,16403	1,57471	-0,84122
18:44	5,07778	0,90974	2,16281	1,57882	-0,83745

29 lentelės tęsinys

11:42	5,17222	0,93816	2,15070	1,55153	-0,83909
12:07	5,13833	0,93860	2,14948	1,54210	-0,84531
7:33	5,27778	0,95542	2,17755	1,57686	-0,85540
7:57	5,29556	0,95615	2,17961	1,56975	-0,86758
Vidurkis	5,17097	0,93579	2,16403	1,56563	-0,84768

30 lentelė. Šylių punkto 2001 m. deklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	D_{pkt_o}	$\Delta D_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta D_{pkt-Hel_o}$	$\Delta D_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta D_{pkt-Nurmijarvi_o}$
13:23	4,50139	0,37103	1,60881	1,01969	-1,38456
13:49	4,47972	0,37830	1,61266	1,02653	-1,39007
16:27	4,52139	0,38878	1,62431	1,03471	-1,35270
16:48	4,53778	0,38245	1,62199	1,02453	-1,40663
7:35	4,71139	0,40104	1,62451	1,03136	-1,25898
7:55	4,72500	0,40472	1,62624	1,02758	-1,42114
14:17	4,46972	0,37757	1,61263	1,03014	
Vidurkis	4,57944	0,38772	1,61976	1,02740	-1,36902

31 lentelė. 2001m. Deklinacijos vidutinės metinės vertės

Vidutinės metinės vertės observatorijoje	Belsk	Hel	Lovo	Nurmijarvi
	4° 13' 00"	2° 57' 42"	3° 35' 48"	6° 01' 12"
Vidutinės metinės vertės punktuose pagal atskiras observatorijas				
Žiežmariai	6° 09' 32"	6° 07' 30"	6° 09' 15"	6° 09' 46"
Dusetos	5° 50' 22"	5° 48' 58"	5° 51' 49"	5° 51' 13"
Parovėja	5° 42' 45"	5° 41' 00"	5° 42' 47"	5° 42' 49"
Šaukotas	4° 16' 04"	4° 14' 34"	4° 18' 00"	4° 18' 24"
Tryškiai	5° 09' 09"	5° 07' 33"	5° 09' 44"	5° 10' 20"
Šyliai	4° 36' 16"	4° 34' 53"	4° 37' 27"	4° 39' 04"

32 lentelė. 2001 m. deklinacijos vidutinės kvadratinės paklaidos gautos pagal atskiras observatorijas

Punktas	Belsk	Hel	Lovo	Nurmijarvi
Žiežmariai	0,6'	1,2'	2,0'	0,8'
Dusetos	0,9'	0,3'	1,4'	1,7'
Parovėja	0,5'	0,9'	2,2'	1,5'
Šaukotas	0,5'	1,0'	2,2'	2,5'
Tryškiai	1,2'	0,7'	0,8'	0,6'
Šyliai	0,7'	0,4'	0,3'	3,5'

33 lentelė. Žiežmarių punkto 2001 m. inklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	I_{pkt_o}	$\Delta I_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta I_{pkt-Hel_o}$	$\Delta I_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta I_{pkt-Nurmijarvi_o}$
10:49	69,77778	2,18742	0,36085	-2,69896	-3,40835
11:18	69,77167	2,18554	0,36198	-2,69897	-3,40784
16:34	69,77139	2,18211	0,36087	-2,69340	-3,39271
17:28	69,77417	2,18220	0,35908	-2,69024	-3,38920
8:42	69,78222	2,18635	0,36295	-2,69167	-3,39746
Vidurkis	69,78222	2,18416	0,36341	-2,69336	-3,40164

34 lentelė. Dusetų punkto 2001 m. inklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	I_{pkt_o}	$\Delta I_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta I_{pkt-Hel_o}$	$\Delta I_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta I_{pkt-Nurmijarvi_o}$
15:52	70,45389	2,88471	1,05947	-1,99369	-2,69238
16:18	70,45222	2,88488	1,06046	-1,99138	-2,69276
17:30	70,44556	2,88141	1,06233	-1,98649	-2,68808
17:50	70,43833	2,88000	1,06221	-1,98650	-2,68650
8:31	70,48361	2,88147	1,05900	-1,98517	-2,68868
Vidurkis	70,48278	2,88559	1,05617	-1,98966	-2,69036

35 lentelė. Parovėjos punkto 2001 m. inklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	I_{pkt_o}	$\Delta I_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta I_{pkt-Hel_o}$	$\Delta I_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta I_{pkt-Nurmijarvi_o}$
13:52	70,71444	3,13796	1,30455	-1,76859	-2,47232
14:21	70,71056	3,13666	1,30676	-1,76675	-2,46386
17:26	70,71361	3,12629	1,29922	-1,75262	-2,45143
17:54	70,71000	3,12624	1,30177	-1,75194	-2,44990
15:11 (neimta)	70,71667	3,13571	1,30869	-1,75824	-2,43958
8:09	70,71389	3,12688	1,30539	-1,75554	-2,46297
8:43	70,71944	3,12812	1,30578	-1,75357	-2,46091
Vidurkis	70,71366	3,13036	1,30391	-1,75817	-2,46023

36 lentelė. Šaukoto punkto 2001 m. inklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	I_{pkt_o}	$\Delta I_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta I_{pkt-Hel_o}$	$\Delta I_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta I_{pkt-Nurmijarvi_o}$
13:21	70,31278	2,74087	0,91191	-2,15440	-2,85874
13:43	70,31611	2,74157	0,91125	-2,15655	-2,86296
17:09	70,31333	2,72756	0,90530	-2,14605	-2,84898
17:39	70,31167	2,72711	0,90625	-2,14526	-2,84611
14:13	70,30944	2,73873	0,91064	-2,15321	-2,85682
8:10	70,32528	2,72888	0,90912	-2,13943	-2,84626
8:41	70,32750	2,72881	0,90874	-2,14087	-2,84989
Vidurkis	70,31778	2,72915	0,90876	-2,14709	-2,85215

37 lentelė. Tryškių punkto 2001 m. inklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	I_{pkt_o}	$\Delta I_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta I_{pkt-Hel_o}$	$\Delta I_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta I_{pkt-Nurmijarvi_o}$
13:28	70,69778	3,11223	1,27955	-1,79396	-2,49733
18:27	70,65250	3,09003	1,26911	-1,78255	-2,48271
18:53	70,63611	3,08520	1,26832	-1,77669	-2,47689
11:55	70,69722	3,10868	1,27691	-1,78951	-2,49890
12:16	70,69500	3,10754	1,27642	-1,79174	-2,50000
7:42	70,68417	3,08866	1,27023	-1,77594	-2,48133
8:05	70,69194	3,09211	1,27146	-1,77362	-2,47808
Vidurkis	70,67925	3,09778	1,27314	-1,78343	-2,48789

38 lentelė. Šylių punkto 2001 m. inklinacijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	I_{pkt_o}	$\Delta I_{pkt-Belsk_o}$	$\Delta I_{pkt-Hel_o}$	$\Delta I_{pkt-Lovo_o}$	$\Delta I_{pkt-Nurmijarvi_o}$
13:35	70,72056	3,13605	1,30849	-1,75901	-2,46303
14:02	70,72417	3,13688	1,30652	-1,75405	-2,45573
14:28	70,72778	3,13822	1,31066	-1,75121	-2,45061

38 lentelės tęsinys

16:36	70,71750	3,13269	1,30658	-1,75029	-2,44649
16:59	70,71056	3,13343	1,30737	-1,74854	-2,44364
7:44	70,70139	3,13323	1,30775	-1,75333	-2,46440
8:05	70,70139	3,13068	1,30737	-1,74888	-2,45950
Vidurkis	70,71476	3,13445	1,30782	-1,75219	-2,45477

39 lentelė. 2001 m. Inklinacijos vidutinės metinės vertės

Vidutinės metinės vertės observatorijoje	Belsk	Hel	Lovo	Nurmijarvi
	67° 35' 58"	69° 26' 12"	72° 28' 42"	73° 10' 54"
Vidutinės metinės vertės punktuose pagal atskiras observatorijas				
Žiežmariai	69° 47' 03"	69° 47' 53"	69° 47' 02"	69° 46' 56"
Dusetos	70° 28' 58"	70° 29' 48"	70° 29' 22"	70° 29' 31"
Parovėja	70° 43' 47"	70° 44' 26"	70° 43' 13"	70° 43' 17"
Šaukotas	70° 19' 43"	70° 20' 44"	70° 19' 52"	70° 19' 46"
Tryškiai	70° 41' 53"	70° 42' 35"	70° 41' 42"	70° 41' 38"
Šyliai	70° 44' 00"	70° 44' 40"	70° 43' 34"	70° 43' 37"

40 lentelė. 2001 m. inklinacijos redukavimo vidutinės kvadratinės paklaidos gautos pagal atskiras observatorijas

Punktas	Belsk	Hel	Lovo	Nurmijarvi
Žiežmariai	0,1'	0,1'	0,2'	0,5'
Dusetos	0,1'	0,1'	0,2'	0,1'
Parovėja	0,3'	0,2'	0,4'	0,5'
Šaukotas	0,4'	0,2'	0,4'	0,4'
Tryškiai	0,7'	0,3'	0,5'	0,6'
Šyliai	0,1'	0,1'	0,2'	0,5'

41 lentelė. Žiežmarių punkto 2001m. geomagnetinės indukcijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	F_{pkt} nT	$\Delta F_{pkt-Belsk}$ nT	$\Delta F_{pkt-Hel}$ nT	$\Delta F_{pkt-Lovo}$ nT	$\Delta F_{pkt-Nurmijarvi}$ nT
10:10	50552,5	810,8	701,6	-335,5	-1190,5
10:57	50543,4	811,9	702,0	-337,6	-1188,6
11:26	50543,1	812,1	702,1	-337,9	-1188,9
08:52	50560,4	811,9	701,4	-338,6	-1193,6
09:43	50558,3	808,7	701,6	-337,7	-1189,7
17:00	50575,2	810,2	702,3	-340,8	-1198,8
17:01	50575,0	810,4	702,0	-342,0	-1199,0
	50574,9	810,8	702,8	-340,1	-1199,1
	50574,8	810,8	703,1	-340,2	-1198,2
	50574,9	811,1	703,3	-340,1	-1198,1
	50574,8	811,1	703,6	-340,2	-1198,2
	50575,0	811,4	703,0	-341,0	-1198,0
	50574,8	810,9	702,9	-341,2	-1198,2
	50575,4	811,6	702,8	-341,6	-1197,6
	50575,4	811,8	702,9	-342,6	-1198,6
	50575,9	811,8	702,8	-341,1	-1199,1
	50575,7	811,8	703,1	-341,3	-1198,3
	50575,8	811,3	702,7	-342,2	-1199,2
	50576,0	812,1	703,3	-342,0	-1199,0
	50576,1	811,9	703,4	-341,9	-1197,9
17:15	50576,2	812,1	702,3	-341,8	-1198,8

41 lentelės tęsinys

18:00	50573,8	812,7	701,4	-343,2	-1198,2
	50573,9	813,1	701,4	-343,1	-1198,1
	50574,3	812,9	700,9	-343,7	-1198,7
	50574,5	812,4	699,8	-344,5	-1199,5
	50574,7	812,1	699,6	-345,3	-1199,3
	50575,2	811,9	699,6	-343,8	-1199,8
	50575,4	812,3	699,5	-344,6	-1199,6
	50575,5	812,0	699,4	-343,5	-1199,5
	50575,8	812,1	700,1	-343,2	-1199,2
	50575,8	811,9	699,9	-343,2	-1198,2
	50575,9	811,7	700,1	-343,1	-1198,1
	50576,1	812,0	700,9	-341,9	-1197,9
	50575,7	811,2	700,7	-343,3	-1198,3
	50575,7	810,9	700,6	-342,3	-1197,3
	50576,1	811,0	700,2	-343,9	-1197,9
18:15	50576,3	811,0	700,0	-342,7	-1198,7
08:00	50558,7	809,2	702,0	-340,3	-1196,3
	50558,2	808,7	701,1	-341,8	-1197,8
	50558,7	809,2	701,3	-341,3	-1197,3
	50559,0	809,5	701,6	-341,0	-1197,0
	50558,8	809,3	701,1	-341,2	-1197,2
	50559,3	809,8	701,4	-340,7	-1196,7
	50559,1	809,6	700,8	-340,9	-1196,9
	50558,4	808,9	699,9	-341,6	-1197,6
	50558,7	809,2	700,6	-341,3	-1196,3
	50558,5	809,0	700,2	-341,5	-1196,5
	50558,6	809,1	700,8	-340,4	-1196,4
	50559,0	809,5	700,9	-340,0	-1197,0
	50558,7	809,2	701,0	-340,3	-1197,3
	50559,2	809,7	700,9	-338,8	-1196,8
	50559,1	809,6	700,6	-339,9	-1197,9
08:15	50558,9	809,4	699,8	-341,1	-1198,1
09:00	50560,1	812,6	701,8	-338,9	-1191,9
	50559,4	811,8	701,6	-339,6	-1192,6
	50560,0	812,0	701,8	-339,0	-1192,0
	50559,6	811,6	701,5	-339,4	-1192,4
	50559,6	811,3	701,5	-339,4	-1192,4
	50560,0	811,8	701,5	-339,0	-1192,0
	50559,6	811,3	701,6	-339,4	-1192,4
	50559,6	811,1	702,0	-339,4	-1192,4
	50559,6	810,9	701,7	-339,4	-1192,4
	50559,5	810,8	702,2	-339,5	-1192,5
	50559,4	810,1	701,7	-338,6	-1192,6
	50559,6	810,3	701,9	-339,4	-1192,4
	50559,5	810,4	702,1	-338,5	-1192,5
	50559,5	810,4	702,2	-338,5	-1192,5
	50559,5	810,1	701,9	-338,5	-1192,5
09:15	50559,9	810,4	702,2	-338,1	-1192,1
Vidurkis	50566,1	810,7	701,5	-340,9	-1196,2

42 lentelė. Dusetų punkto 2001m. geomagnetinės indukcijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	F_{pkt} nT	$\Delta F_{pkt-Belsk}$ nT	$\Delta F_{pkt-Hel}$ nT	$\Delta F_{pkt-Lovo}$ nT	$\Delta F_{pkt-Nurmijarvi}$ nT
16:02	51055,5	1294,0	1182,3	146,5	-712,5
16:26	51058,1	1292,9	1184,5	149,1	-709,9
09:35	51041,6	1296,5	1179,5	138,6	-707,4
09:42	51041,8	1295,5	1178,1	137,8	-708,2
17:00	51058,5	1289,8	1183,2	148,5	-710,5
	51058,8	1289,7	1183,9	147,8	-710,2
	51058,5	1289,4	1183,9	149,5	-709,5
	51057,9	1288,6	1184,0	148,9	-710,1
	51058,0	1288,7	1184,2	149,0	-710,0
	51058,2	1288,9	1184,3	149,2	-709,8
	51057,8	1288,2	1183,4	148,8	-710,2
	51057,8	1288,2	1183,1	148,8	-709,2
	51057,9	1288,1	1183,5	147,9	-710,1
	51058,3	1288,4	1183,6	147,3	-709,7
	51058,3	1287,8	1181,9	146,3	-710,7
	51058,4	1287,5	1181,4	146,4	-711,6
	51059,1	1287,6	1181,5	146,1	-710,9
	51059,3	1287,8	1181,5	145,3	-711,7
	51059,4	1287,4	1181,1	146,4	-712,6
17:15	51059,8	1287,0	1180,6	144,8	-713,2
18:00	51065,8	1288,1	1182,1	142,8	-715,2
	51066,3	1288,8	1182,7	143,3	-714,7
	51066,2	1288,5	1182,2	142,2	-714,8
	51066,2	1288,3	1182,1	142,2	-714,8
	51066,3	1289,1	1181,9	141,3	-714,7
	51066,7	1289,9	1182,0	142,7	-714,3
	51066,8	1290,0	1182,9	142,8	-713,2
	51066,2	1289,4	1182,2	141,2	-714,8
	51066,7	1289,9	1183,3	141,7	-713,3
	51066,0	1290,4	1183,8	142,0	-713,0
	51065,5	1290,9	1184,5	142,5	-712,5
	51065,4	1291,6	1184,4	142,4	-711,6
	51065,0	1291,2	1184,9	142,0	-712,0
	51064,7	1291,2	1184,2	142,7	-711,3
	51064,9	1291,9	1184,4	141,9	-711,1
18:15	51064,3	1291,3	1183,5	141,3	-711,7
08:00	51055,7	1295,4	1184,5	148,7	-705,3
	51055,7	1295,3	1185,1	148,7	-705,3
	51055,5	1295,3	1184,8	149,5	-705,5
	51055,2	1294,6	1185,2	147,2	-704,8
	51055,2	1294,7	1185,1	147,2	-704,8
	51054,9	1295,4	1184,2	146,9	-705,1
	51054,7	1295,4	1183,9	146,7	-705,3
	51054,7	1295,8	1184,4	145,7	-704,3
	51054,7	1297,1	1184,5	145,7	-704,3
	51054,9	1296,6	1184,8	145,9	-704,1
	51054,4	1295,1	1183,7	145,4	-705,6
	51054,4	1295,9	1184,1	145,4	-704,6
	51053,8	1296,1	1184,3	144,8	-703,2

42 lentelės tęsinys

	51054,2	1297,0	1184,8	145,2	-701,8
	51054,4	1297,4	1184,6	144,4	-701,6
08:15	51053,6	1296,6	1184,0	143,6	-701,4
09:00	51047,0	1296,8	1181,3	137,0	-708,0
Vidurkis	51046,1	1293,6	1179,4	134,1	-709,9

43 lentelė. Parovėjos punkto 2001m. geomagnetinės indukcijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	F_{pkt} nT	$\Delta F_{pkt-Belsk}$ nT	$\Delta F_{pkt-Hel}$ nT	$\Delta F_{pkt-Lovo}$ nT	$\Delta F_{pkt-Nurmijarvi}$ nT
11:17	50118,9	370,5	260,6	-780,1	-1631,1
14:01	50118,3	388,9	283,4	-762,7	-1620,7
17:00	50154,1	391,1	282,3	-762,9	-1625,9
17:35	50153,5	391,5	284,3	-762,5	-1624,5
15:22	50136,5	392,1	285,5	-755,5	-1621,5
18:02	50159,0	391,2	278,3	-766,0	-1627,0
07:38	50143,8	384,9	278,4	-759,2	-1613,2
08:19	50138,2	378,1	278,2	-756,8	-1612,8
08:52	50134,7	382,0	277,4	-757,3	-1608,3
Vidurkis	50139,7	385,6	278,7	-762,6	-1620,6

44 lentelė. Šaukoto punkto 2001m. geomagnetinės indukcijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	F_{pkt} nT	$\Delta F_{pkt-Belsk}$ nT	$\Delta F_{pkt-Hel}$ nT	$\Delta F_{pkt-Lovo}$ nT	$\Delta F_{pkt-Nurmijarvi}$ nT
12:50	49984,9	254,7	142,3	-894,1	-1752,1
13:29	49988,8	253,2	148,3	-888,2	-1750,2
14:25	49998,8	253,4	145,4	-893,2	-1751,2
16:53	50015,9	251,4	143,4	-898,1	-1755,1
17:17	50018,4	252,9	145,0	-898,6	-1755,6
17:46	50022,8	254,2	144,0	-901,2	-1758,2
07:51	50016,6	252,1	144,5	-898,4	-1748,4
08:17	50016,8	255,3	146,3	-893,2	-1745,2
08:48	50011,3	252,6	144,1	-892,7	-1744,7
Vidurkis	50008,3	253,3	144,8	-895,3	-1751,2

45 lentelė. Tryškių punkto 2001m. geomagnetinės indukcijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	F_{pkt} nT	$\Delta F_{pkt-Belsk}$ nT	$\Delta F_{pkt-Hel}$ nT	$\Delta F_{pkt-Lovo}$ nT	$\Delta F_{pkt-Nurmijarvi}$ nT
13:06	50243,7	521,5	417,5	-629,3	-1487,3
13:39	50241,6	521,3	415,2	-631,4	-1491,4
18:11	50279,3	512,0	406,8	-630,7	-1486,7
18:33	50284,5	514,0	410,1	-597,5	-1485,5
18:59	50297,7	514,9	405,5	-631,3	-1489,3
11:30	50248,0	524,7	410,4	-634,0	-1493,0
12:02	50245,2	523,9	414,2	-630,8	-1487,8
12:24	50244,8	523,6	415,8	-629,2	-1487,2
07:24	50270,9	513,5	409,3	-625,1	-1486,1
07:48	50273,2	518,8	412,2	-625,8	-1485,8
08:11	50275,3	520,0	412,2	-629,7	-1487,7
Vidurkis	50264,0	518,9	411,7	-626,8	-1488,0

46 lentelė. Šylių punkto 2001m. geomagnetinės indukcijos matavimų redukavimas

Ruožto pradžia	F_{pkt} nT	$\Delta F_{pkt-Belsk}$ nT	$\Delta F_{pkt-Hel}$ nT	$\Delta F_{pkt-Lovo}$ nT	$\Delta F_{pkt-Nurmijarvi}$ nT
13:12	50861,6	1129,4	1020,8	-16,4	-873,4
13:44	50867,7	1133,2	1021,2	-20,3	-882,3
14:12	50872,0	1135,7	1025,0	-22,0	-880,0
14:39	50876,8	1136,2	1026,1	-21,2	-882,2
16:19	50890,9	1130,6	1023,6	-22,1	-883,1
16:42	50892,1	1129,9	1024,8	-22,9	-885,9
17:06	50896,6	1130,5	1023,1	-25,4	-887,4
07:27	50889,5	1123,3	1018,2	-16,5	-871,5
07:51	50889,9	1123,9	1020,3	-15,1	-869,1
08:12	50891,1	1127,0	1019,1	-17,9	-865,9
Vidurkis	50882,8	1130,0	1022,2	-20,0	-878,1

47 lentelė. 1999 m. geomagnetinės indukcijos vidutinės metinės vertės

Vidutinės metinės vertės observatorijoje	Belsk nT	Hel nT	Lovo nT	Nurmijarvi nT
	49760	49869	50910	51765
Vidutinės metinės vertės punktuose pagal atskiras observatorijas				
Žiežmariai	50570,7	50570,5	50569,1	50568,8
Dusetos	51052,6	51051,5	51052,7	52947,5
Parovėja	50145,6	50147,7	50147,4	50144,4
Šaukotas	50013,3	50013,8	50014,7	50013,8
Tryškiai	50278,9	50280,7	50283,2	50277,0
Šyliai	50890,0	50891,2	50890,0	50886,9

48 lentelė. 2001 m. geomagnetinės indukcijos redukavimo vidutinės kvadratinės paklaidos gautos pagal atskiras observatorijas

Punktas	Belsk nT	Hel nT	Lovo nT	Nurmijarvi nT
Žiežmariai	1,3	1,1	3,8	3,0
Dusetos	3,4	2,0	5,2	3,6
Parovėja	7,4	7,4	7,4	7,6
Šaukotas	1,2	1,6	3,8	4,4
Tryškiai	4,6	3,6	9,6	2,3
Šyliai	4,2	2,5	3,3	6,3