


Měření magnetického pole Země a vlivu jeho změn na aplikace v bezpečnostním průmyslu

Milan Malaník

Bakalářská práce
2014

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Milan MALANÍK**
Osobní číslo: **A10222**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Měření magnetického pole Země a vlivu jeho změn na aplikace v bezpečnostním průmyslu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Seznamte se s programovacím prostředím Agilent VEE PRO a jeho možnostmi s připojením a ovládáním měřicích přístrojů.
3. Z dostupných technických prostředků navrhnete a vytvořte automatizované pracoviště pro měření magnetického pole Země.
4. Proveďte měření časových změn magnetického pole Země jak v krátkodobém, tak i v dlouhodobém časovém horizontu.
5. Dosažené výsledky zpracujte a vhodně prezentujte.
6. Navrhnete a vytvořte laboratorní úlohu do předmětu Instrumentace a měření, včetně vzorového protokolu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **STRÍTESKÝ, Zdeněk.** Systém pro automatické řízení magnetického pole. Zlín, 2004. 41 l., [3] l. příl. Bakalářská práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce Martin Procházka.
2. **HUBEŇÁK, Josef.** Elektřina a magnetismus: skriptum pro základní kurs fyziky. Vyd. 1. Hradec Králové: Gaudeamus, 2002, 204 s. ISBN 8070410892.
3. **FRADEN, Jacob.** Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications. 4th ed. New York: Springer, c2010, xv, 663 s. ISBN 9781441964656.
4. **ZAJÍC, Jan.** Fyzika II: (elektřina a magnetismus). 2., oprav. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004, 171 s. ISBN 80-719-4641-9.
5. **FEYNMAN, Richard Phillips, Robert B LEIGHTON a Matthew SANDS.** Feynmanove prednášky z fyziky. Bratislava: Alfa, 1988, 572 s.
6. **NĚMEČEK, Pavel.** Nejistoty měření. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008, 96 s. ISBN 978-80-02-02089-9.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Navrátil, Ph.D.
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

7. března 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

10. června 2014

Ve Zlíně dne 7. března 2014

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- Že odevzdaná verze diplomové/bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je vytvořit měřicí pracoviště pro měření magnetického pole Země. V první polovině teoretické části se zabývá samotným magnetickým polem. Jeho vlastnostmi a parametry. Charakterizuje metody měření magnetického pole. V druhé polovině je popsáno přímo magnetické pole Země. Jeho význam a vliv na život na Zemi. Praktická část je rozdělena do tří celků. V první části jsou popsány dostupné technické prostředky pro měření. Dále je zpracován měřicí program. Jeho tvorba ve vývojovém prostředí Agilent Vee Pro 9.0 a popis základních funkcí. Ve třetí části jsou zpracovány a vyhodnoceny výsledky měření. V příloze je zpracována laboratorní úloha do předmětu instrumentace a měření.

Klíčová slova: magnetické pole, geomagnetické pole, deklinace, inklinace, magnetická indukce

ABSTRACT

The aim of this work is to create a measuring station for measuring the magnetic field of the Earth. In the first half of the theoretical part deals with the magnetic field, its properties and parameters. It characterizes the methods of measurement of the magnetic field. The second half is described directly Earth's magnetic field. Its importance and influence on life on Earth. The practical part is divided into three parts. The first section describes the technical means available for measuring. Another part is processed measurement program, creation of in the development environment Agilent VEE Pro 9.0 and the description of its basic functions. In the third part are processed and evaluated the results. In the Annex is processed by a laboratory task into the subject instrumentation and measurement.

Keywords: magnetic field, geomagnetic field, magnetic field, declination, inclination magnetic induction

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu Ing. Milanu Navrátilovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a věcné připomínky, které mi poskytoval během tvorby mé bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 MAGNETICKÉ POLE	11
1.1 MAGNETICKÉ POLE PERMANENTNÍHO MAGNETU.....	11
1.2 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ VELIČINY MAGNETICKÉ POLE.....	11
1.2.1 Magnetický tok.....	11
1.2.2 Intenzita magnetického pole.....	11
1.2.3 Magnetická indukce.....	12
1.2.4 Permeabilita.....	13
1.3 NESTACIONÁRNÍ MAGNETICKÉ POLE.....	14
2 MAGNETICKÁ MĚŘENÍ	16
2.1 INDUKČNÍ METODY.....	16
2.2 METODA STACIONÁRNÍ CÍVKY.....	17
2.2.1 Magnetometr s vibrujícím vzorkem.....	17
2.2.2 Feromagnetická sonda.....	18
2.3 SILOVÉ METODY.....	19
2.3.1 Magnetometr analytických vah.....	19
2.4 METODY ZÁVISLÉ NA ZMĚNÁCH MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ.....	20
2.4.1 Magnetometry využívající Hallův jev.....	20
2.4.2 Magnetometry využívající magnetostrikce.....	22
3 GEOMAGNETICKÉ POLE	23
3.1 MAGNETICKÉ POLE VE VESMÍRU.....	24
3.2 MAGNETICKÁ DEKLINACE.....	25
3.3 MAGNETICKÁ INKLINACE.....	27
3.4 ZÁKLADNÍ PARAMETRY MAGNETICKÉHO POLE ZEMĚ.....	27
3.5 GEOMAGNETICKÉ BOUŘE.....	28
3.5.1 Účinky geomagnetických bouří.....	31
3.5.1.1 Komunikace.....	32
3.5.1.2 Navigační systémy.....	32
3.5.1.3 Geologické průzkumy.....	33
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
4 POPIS MĚŘICÍCH ZAŘÍZENÍ	35
4.1 LAKE SHORE 421 GAUSSMETER.....	35
4.2 LAKE SHORE PŘÍČNÁ SONDA.....	36
5 UŽIVATELSKÝ PROGRAM	37
5.1 PROGRAMOVÉ PROSTŘEDÍ VEE PRO.....	37
5.1.1 Agilent Connection Expert.....	37

5.2	POPIS PROGRAMU	40
5.3	UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ PROGRAMU	41
6	MĚŘENÍ MAGNETICKÉHO POLE VE ZLÍNĚ	43
6.1	SCHÉMA ZAPOJENÍ.....	45
6.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	45
6.2.1	Měření č. 1 – okenní parapet.....	45
6.2.2	Měření č. 2 - podlaha	47
6.2.3	Měření č. 3 – venkovní.....	49
6.3	DISKUZE VÝSLEDKŮ	49
	ZÁVĚR	51
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	52
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
	SEZNAM TABULEK.....	58
	SEZNAM PŘÍLOH.....	59

ÚVOD

Magnetické vlastnosti látek vnímají lidé už více než 2500 roků. Po objevení rudy- magnetit zjistily, že se jednotlivé kousky rudy ovlivňují. Staří Řekové jej začali používat k určování severu. Snadněji se mohlo cestovat a objevovat nové krajiny.

První podrobnější studium magnetismu zveřejnil Wiliam Gilbert v roce 1600. Zjistili, že koule z magnetitu a Země se chovají podobně jako velký magnet. Protože severní a jižní pól magnetu se navzájem přitahují. Severní pól magnetiky je přitahovaný k jižnímu magnetickému poli Země. Proto je jižní magnetický pól Země na severní polokouli.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MAGNETICKÉ POLE

Magnetické pole je magnetický vliv elektrických proudů a magnetických materiálů. Je v daném bodě určen směrem a velikostí nebo silou, jako takové vektorové pole. Magnetická pole jsou vytvářeny pohybem elektrických nábojů a vnitřních magnetických momentů elementárních částic spojených s jejich základní vlastností, rotací. Ve speciální relativitě jsou elektrická a magnetická pole dvě vzájemně propojené aspekty jednoho objektu. V každodenním životě se můžeme nejčastěji s magnetickým polem setkat jako s neviditelnou silou tvořenou permanentními magnety, které působí z feromagnetických materiálů jako je železo, kobalt nebo nikl a přitahují nebo odpuzují jiné magnety. Magnetické pole jsou velmi široce používány v moderních technologiích, zejména v oblasti elektrotechniky a elektromechaniky. Země produkuje své vlastní magnetické pole, což je důležité pro navigaci. Rotující magnetické pole se používá v elektromotorech a generátorech. Magnetické síly poskytují informace o nosiči náboje v materiálu pomocí Hallova jevu. Vzájemné působení magnetických polí v elektrických zařízeních, jako jsou transformátory je popisovaná v magnetických obvodech.[2]

1.1 Magnetické pole permanentního magnetu

Permanentní magnety jsou objekty, které produkují vlastní trvalé magnetické pole. Jsou vyrobeny z feromagnetických materiálů, jako je železo a nikl, které byly z magnetizované a mají severní a jižní pól. Magnetické pole permanentních magnetů může být poměrně složité, a to zejména v blízkosti magnetu. Magnetické pole malého magnetu je úměrná jeho síle (jeho magnetický dipólový moment). [17]

1.2 Základní fyzikální veličiny magnetického pole

1.2.1 Magnetický tok

Magnetický tok je vektorová fyzikální veličina, která vyjadřuje počet indukčních siločar magnetického pole procházející danou plochou, jenž je kolmá na směr orientace siločar. Jednotkou magnetického toku je v mezinárodní soustavě SI Weber [Wb] [2]

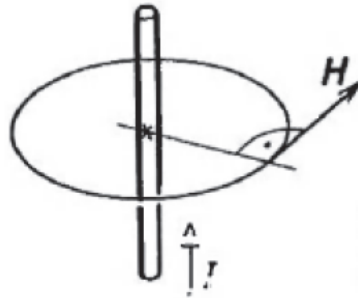
1.2.2 Intenzita magnetického pole

Intenzita magnetického pole je vektorová veličina, která je dána magnetickým napětím připadajícím na jednotku délky indukční čáry. Oproti magnetické indukci nemá vliv na vázané magnetizační proudy prostředí, ale zahrnuje vnější, volné elektrické proudy.[17]

\vec{H} - intenzita magnetického pole [$A \cdot m^{-1}$]

U dlouhého přímého vodiče můžeme indukční čáru uvažovat jako kružnici, proto její délku počítáme jako obvod kruhu.[2]

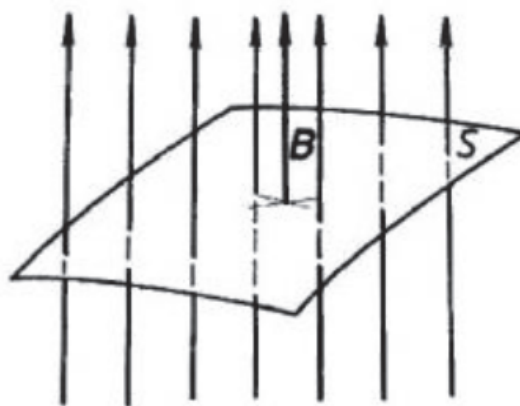
$$H = \frac{U_m}{l}; H = \frac{F_m}{l}; H = \frac{I}{2\pi r} \quad [A \cdot m^{-1}; A, m] \quad (1)$$



Obrázek 1 Intenzita magnetického pole [2]

1.2.3 Magnetická indukce

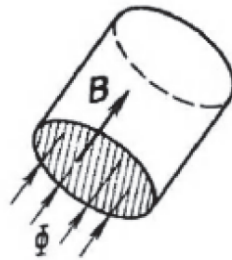
Magnetická indukce je vektorová fyzikální veličina, která je dána počtem magnetických indukčních čar, tedy tokem Φ , na jednotku plochy S . Magnetická indukce je v každém místě pole vždy kolmá na plochách, má určitou velikost a směr. Jednotka magnetické indukce v Mezinárodní soustavě se nazývá Tesla (T).[17]



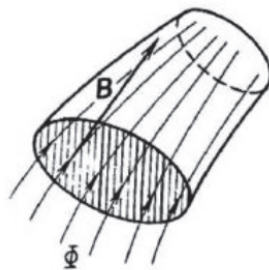
Obrázek 2 Magnetická indukce [9]

Je-li magnetická indukce ve všech bodech pole stejná co do směru i do velikostí jsou indukční čáry jsou rovnoběžné a jedná se o pole stejnorodé – homogenní.

Pokud jsou indukční čáry zakřivené a různoběžné, každém bodě pole mají jinou velikost a směr jedná se pole nestejnorodé – nehomogenní.[9]



Obrázek 3 Homogenní pole [9]



Obrázek 4 Nehomogenní pole [9]

1.2.4 Permeabilita

Permeabilita je skalární fyzikální veličina vyjadřující vliv určitého materiálu nebo prostředí na účinky působícího magnetického pole. Účinky se podle typu prostředí zesilují nebo zeslabují. Vyskytují se i takové prostředí, které nemají tento vliv.[17]

Permeabilita vakua neboli magnetická indukční konstanta μ_0 je koeficientem účinnosti mezi magnetickou indukcí a intenzitou magnetického pole.[17]

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hm}^{-1} \approx 1,256637061 \cdot 10^{-6} \text{ Hm}^{-1} \quad (2)$$

Relativní permeabilita μ_r je označována jako podíl permeability daného materiálu a permeability vakua. Jedná se o bezrozměrnou jednotku.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (3)$$

Podle velikosti relativní permeability dělíme prostředí na:

- diamagnetické ($\mu_r < 1$) - tímto prostředím je magnetické pole mírně zesilováno
- paramagnetické ($\mu_r > 1$) – tímto prostředím je magnetické pole mírně zeslabováno
- feromagnetické ($\mu_r \gg 1$) – tímto prostředím je magnetické pole velmi zesilováno

Materiál	Relativní permeabilita μ_r
Permalloy	50 000 – 140 000
Železo	300 – 10 000
Kobalt	80 – 200
Hliník	1,000 023
Kapalný kyslík	1,003 620
Platina	1,000 001 86
Měď	0,999 990
Voda	0,999 991

Tabulka 1 relativní permeabilita materiálů[17]

1.3 Nestacionární magnetické pole

Nestacionární magnetické pole se mění časem. Příčinou vzniku nestacionárního magnetického pole můžeme považovat např. pohybující se permanentní magnet nebo vodič, kterým proudí časově proměnný proud. Působení nestacionárního pole má následek vzniku indukovaného elektrického pole ve vodiči. Tento jev nazýváme elektromagnetická indukce. Mezi konci vodiče v nestacionárním magnetickém poli pak vzniká napětí U_i [V] a uzavřeným obvodem pak protéká proud I_i [A] [16]

Elektromagnetickou indukci můžeme vyjádřit matematicky pomocí Faradayova zákona, který nám říká, že indukované elektromotorické napětí je rovno záporně vzaté časové změně magnetického toku $\Delta\Phi$ [Wb].

$$U_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (4)$$

Pokud budeme mít uzavřený obvod, jehož odpor je R [Ω] a ve kterém je indukované napětí U_i [V] pak proud, který jím prochází je dle Ohmova zákona dán

$$I_I = \frac{U_i}{R} \quad (5)$$

Směr tohoto proudu určujeme pomocí Lenzova zákona. Ten říká, že indukovaný proud v uzavřeném obvodu má vždy takový směr, aby jeho vlastní magnetické pole působilo proti změně magnetického indukčního toku, která je jeho příčinou. Pokud si vezmeme jako příklad závit z vodiče volně zavěšený na niti, do kterého budeme dostatečně rychle vsunovat a vysunovat magnet, tak při vsunování uvidíme, že se smyčka bude snažit oddálit od magnetu. Naopak při vysunování se smyčka bude snažit udržet magnet uvnitř. Bude se s ní pohybovat, dokud jí v tom závěs umožní pokračovat.[16]

2 MAGNETICKÁ MĚŘENÍ

K měření magnetického pole existují mnoho metod, můžeme je rozdělit do tří kategorií

- metody měřící magnetickou indukci pomocí cívky
- metody měřící sílu způsobenou magnetickým polem
- metody založené na změně materiálových vlastností v přítomnosti magnetického pole[21]

2.1 Indukční metody

Při indukční metodě měření magnetického toku vycházíme z Faradayova zákona o elektromagnetické indukci. Faradayův zákon nám popisuje vznik elektromotorického napětí na cívce, při časové změně magnetického toku plochou cívky. Indukované elektromotorické napětí $U_{em}[V]$ je rovno záporně vzaté rychlosti změny magnetického indukčního toku.

$$U_{em} = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (5)$$

Kde Φ je magnetický indukční tok plochou cívky a N je počet závitů. Jestliže označíme S plochu závitu, potom magnetická indukce bude dána vztahem $B = \Phi/S$ a elektromotorické napětí vyjádříme

$$U_{em} = -NS \frac{dB}{dt} \quad (6)$$

Podle předchozího vztahu vede měření magnetického toku procházejícího cívkou a znalost velikosti plochy závitu k značně jednoduché, ale efektivní metodě měření magnetické indukce $\vec{B}[T]$. Pomocí jádra s vysokou permeabilitou, které vložíme dovnitř cívky, dosáhneme nárůstu magnetického pole \vec{B} a tím také nárůstu indukovaného napětí U_{em} při stejné intenzitě vnějšího magnetického pole $\vec{H}[Am^{-1}]$. Ve volném prostoru platí $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$. Po dosazení do vzorce (6) elektromotorické napětí vyjádříme[21]

$$U_{em} = -\mu_0 NS \frac{dH}{dt} \quad (7)$$

2.2 Metoda stacionární cívky

Pomocí stacionární metody zaznamenáváme pouze poměr změn magnetické indukce prostřednictvím indukovaného napětí na stacionární (nepohyblivé) cívce, což mimo jiné značí, že podle vztahu (7) musí provádět časovou integraci napětí:

$$B = - \frac{1}{NS} \int U_{em} dt \quad (8)$$

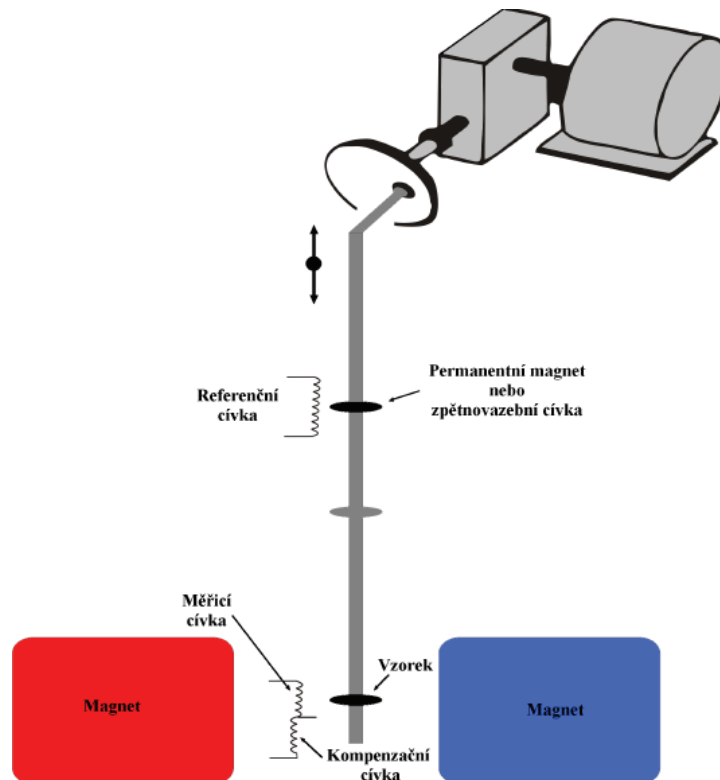
Zařízení tohoto typu uplatňujeme zejména při potřebě stanovení hysterezní smyčky magneticky měkkých materiálů. Citlivost měření je velmi vysoká, ale při nastavování je potřeba dávat pozor na tzv. drift. Pokud vzniknou nepravidelně malé potenciálové odchylky, bude je přístroj v čase integrovat a výstupem se stane lineárně se měnící hodnota magnetické indukce. Přivedeme-li kompenzační napětí můžeme problém driftu snížit. Jestliže se v dnešní době provádí vysoce citlivá měření magnetického indukčního toku s přesností vyšší než 10^{-10} Wb, opomenutí driftu znamená vážné zhoršení přesnosti metody.[21]

2.2.1 Magnetometr s vibrujícím vzorkem

Magnetometr s vibrujícím vzorkem označovaný VSM podle počátečních písmen anglického názvu (Vibrating-Sample Magnetometr). Jedná se o nejvíce rozšířený magnetometr. Pracuje jako gradient, který měří rozdíl magnetické indukce v měřicím prostoru se vzorkem a bez vzorku. Jako výsledek dostáváme bezprostřední informaci o magnetizaci \vec{M} [Am^{-1}] zkoumaného materiálu.

Velikost vzorku je omezena vzdáleností mezi jednotlivými póly elektromagnetu. U menších rozměrů vzorku se zvyšuje demagnetizující efekt, zkreslující výsledky měření. Znesnadňuje to určení vnitřní hodnoty magnetizace nebo hysterezní křivky měřeného materiálu. Nicméně je tato metoda vhodná pro určení saturační magnetizace \vec{M}_s .

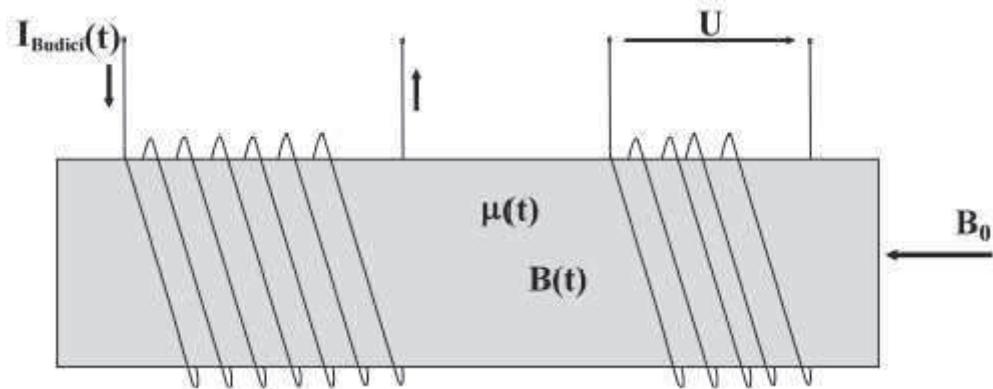
Na měřicí cívce je výstupním signálem střídavé napětí s konstantní frekvencí, které detekujeme synchronním zesilovačem. Pro synchronní zesilovač potřebujeme referenční signál, který dostaneme pomocí permanentního magnetu (nebo zpětnovazební cívky) a referenční snímací cívky. VSM je možno měřit magnetický moment o velikosti $5 \cdot 10^{-8} Am^2$ s přesností lepší než 2%. [21]



Obrázek 5 Schéma VSM[21]

2.2.2 Feromagnetická sonda

Fluxgeta magnetometr je určen pro měření magnetického pole Země. V současnosti existuje mnoho různých forem magnetometrů pracujících na principu feromagnetické sondy. Ta využívá nelineární magnetickou křivku feromagnetického jádra. Nejjednodušší typ obsahuje jedno jádro z materiálu o vysoké permeabilitě. Jádro je obklopené budicí a snímací cívkou. Periodickým průběhem proudu budíme cívku. Proud spolu s cívkou nutí jádro oscilovat mezi saturačními body na magnetizační křivce jádra materiálu. Jádro je periodicky přebuzováno díky řídicí cívce do saturačních hodnot hysterezní smyčky. Dvakrát za jednu periodu dochází k výrazné změně relativní permeability jádra, které ve stavu přebuzení klesá na hodnotu 1. Je-li externí magnetické pole kolem feromagnetické sondy nulové, jádro je přebuzováno symetricky do obou polarit magnetizační křivky a ve snímací cívce bude výsledný indukovaný signál symetrický. Časově neproměnné vnější magnetické pole \vec{B}_0 , které působí kolem osy jádra, způsobí posunutí budícího signálu řídicí cívky a nesymetrie se objeví na výstupu snímací cívky. Stupeň nesymetrie je možno využít k určení velikosti externího magnetického pole.[21]



Obrázek 6 Feromagnetická sonda[21]

Feromagnetické sondy jsou schopny detekovat magnetické pole s velikostí 10^{-4} Am^{-1} . Většinou se používají k měření magnetické indukce v rozsahu 10^{-10} až 10^{-7} T .

2.3 Silové metody

Oproti předchozím metodám, ve kterých se více či méně vychází z Faradayova zákona elektromagnetické indukce, jsou silové metody založeny na fyzikálním principu silových účinků magnetického pole.

2.3.1 Magnetometr analytických vah

Metoda analytických vah je založena na rovnováze sil a využívá principu analytických vah pro odečítání působící síly dané vztahem

$$F_z = -\mu_0 \vec{m} \frac{d|\vec{H}|}{dx} = -\mu_0 V |\vec{M}| \frac{d|\vec{H}|}{dx} \quad (9)$$

který získáme derivováním vztahu pro potenciální energii E_p magnetického dipólu \vec{m} v magnetické poli.

$$E_p = -\vec{m} \cdot \vec{B} = -\mu_0 \vec{m} \cdot \vec{H} \quad (10)$$

Hmotnost vzorku vyvážená závažím je v nulovém magnetickém poli. V nenulovém magnetickém poli na vzorek začne působit magnetická síla, která změní poměr mezi gravitační silou působící na vzorek a na závaží. Sílu reagující na vzorek můžeme přímo odečítat na analytických vahách, která je přímo úměrná magnetizaci nebo susceptibilitě měřeného vzorku.[21]



Obrázek 7 Princip metody analytické váhy[21]

2.4 Metody závislé na změnách materiálových vlastností

Tyto metody měření jsou závislé na změně vlastností materiálů, které jsou způsobeny přítomností externího magnetického pole.

2.4.1 Magnetometry využívající Hallův jev

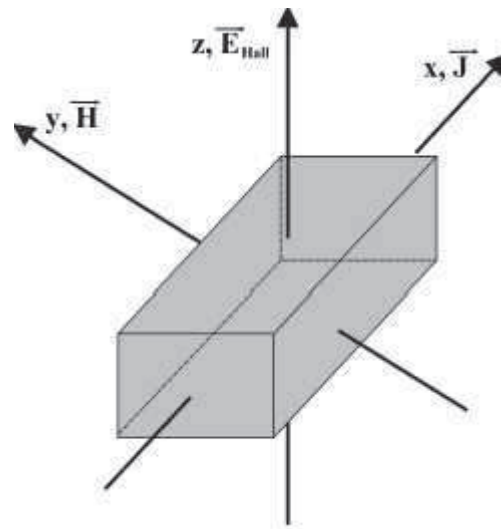
Magnetometry využívající Hallův jev, jsou možná nejvíce univerzální a nejpoužívanější na světě. Rozsah měření magnetického pole pomocí Hallovy sondy je od $0,4 \text{ Am}^{-1}$ až do $4 \cdot 10^6 \text{ Am}^{-1}$ s přesností pohybující se okolo 1 %. Aplikovat Hallův jev na měření magnetického pole není složité. Působí-li magnetické pole na nabitě částice, které jsou nosičem elektrického proudu zároveň, začne působit transversální Lorenzova síla, která je daná vztahem.

$$\vec{F} = \mu_0 e \vec{v} \times \vec{H}, \quad (11)$$

kde je e náboj elektronu, \vec{v} driftová rychlost elektronu a \vec{H} je intenzita magnetického pole. Tato síla je totožná intenzitou elektrického pole \vec{E}_{Hall} nazývaného Hallovo pole.

Následkem Hallova jevu vzniká Hallovo elektromotorické napětí U_{Hall} kolmé na plochu, která je určena směrem proudu a intenzitou magnetického pole \vec{H} . V případě, že prochází

materiálem konstantní proud, pro Hallovo napětí platí, že je lineárně závislé na velikosti magnetického pole.[21]



Obrázek 8 Orientace vektorů u Hallova jevu[21]

Zdali elektrický proud směřuje ve směru osy x a magnetické pole ve směru osy y přes polovodičovou destičku s rozměry l_x , l_y , l_z . Potom bude Hallovo napětí orientováno podél osy z. Když uvažíme n jako počet elektronů na jednotku objemu, pak proudovou hustotu můžeme vyjádřit ve tvaru

$$\vec{J} = ne\vec{v} \quad (12)$$

Jelikož intenzitu elektrického pole můžeme zapsat jako podíl napětí a vzdálenosti. Potom rovnice udává vztah mezi napětím měřeným na Hallově sondě a intenzitou magnetického pole

$$U_{Hall} = \mu_0 R_H l_z |\vec{J} \times \vec{H}| \quad (13)$$

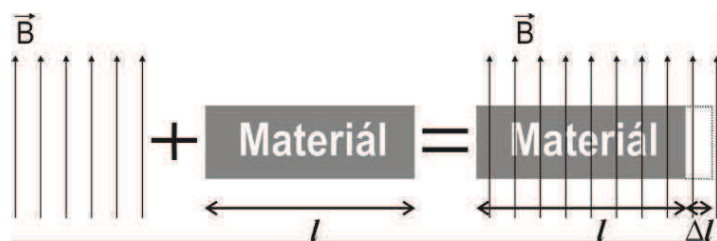
R_H je Hallova konstanta. Přesnou kalibrací napětí na hodnoty intenzity magnetického pole získáme magnetometr.

V současné době je technologicky možné Hallovy sondy vyrábět se velkou rozlišovací schopností, která je řádově menší než 10^{-6}m^2 . Pro konstrukci Halloových sond jsou používané polovodiče InAs, InSb, GaAs a Si. Na rozdíl od cívek u indukčních metod, které měří uzavřený magnetický tok a musí být kalibrovány pro jejich plochu. Hallova

sonda měří magnetické pole přímo. Nevýhodou při využívání Hallova jevu u magnetometrů je teplotní závislost jejich odezvy.[21]

2.4.2 Magnetometry využívající magnetostricke

Vlastnost materiálu, u kterého dochází ke změně tvaru působením magnetického pole, se nazývá magnetostricke. Tento jev můžeme popsat pomocí relativní změny délky zmagnetizovaného materiálu oproti nezmagnetizovanému materiálu. Ve většině případů je tento poměr malý, ale u feromagnetických materiálů se pohybuje řádově 10^{-6} . Tato změna je už však měřitelná, například pomocí tenzometrů. [21]



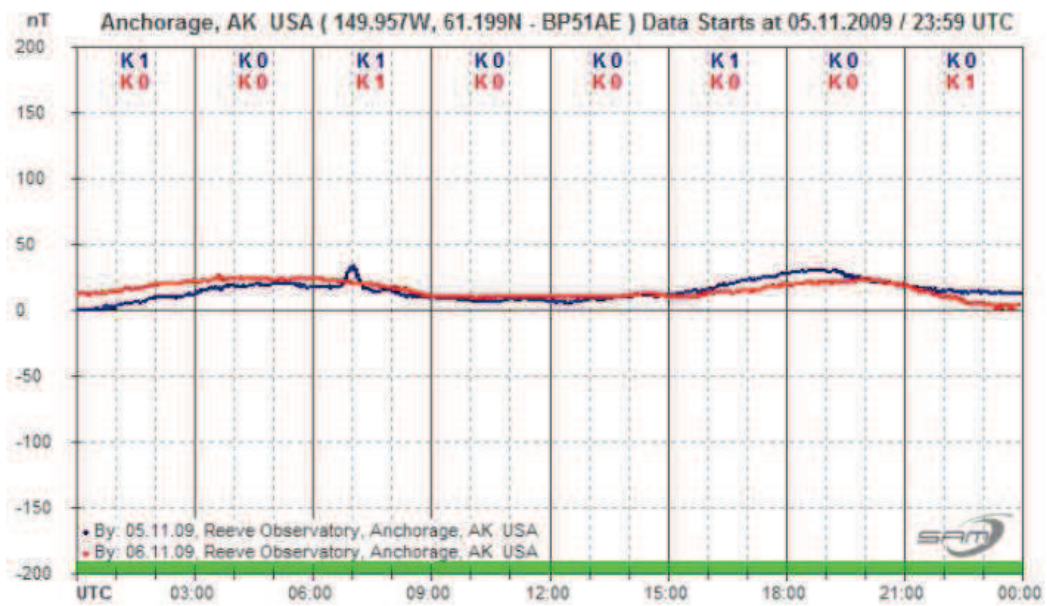
Obrázek 9 Zobrazení magnetostricke[21]

3 GEOMAGNETICKÉ POLE

Zemské magnetické pole se skládá z vnitřních a vnějších součástí. Vnitřní, nebo hlavní, magnetické pole je poměrně stabilní, pokud ho měříme z pohledu období dnů nebo měsíců, ale jeho změny jsou velmi významné při měření za období let a staletí. Před 150 lety bylo o 10% silnější než v současnosti. Přibližně jednou za 250 000 let dojde ke změně polarizace magnetického pole. Geomagnetické pole můžeme považovat za pole dipólové. V současné době je dipól odkloněn o 11° od zemské osy. Magnetické a zeměpisné póly nejsou shodné. Severní magnetický pól můžeme nalézt v arktickém souostroví Kanady ($l = -100^\circ$) a jižní magnetický pól v D'Urvilleově moři ($l = 140^\circ$) nedaleko Antarktidy. Pole Země obsahuje i externí komponenty, které představují až 10% celkového pole měřené na zemském povrchu. Vnitřním polem je myšleno generování dynamo efektu v jádru Země. Dynamo je zastaralý termín používaný pro rotující stroj, který vytváří stejnosměrný proud. V oblasti geomagnetismu se používá k popisu toho, co je považováno za rotaci zemského jádra vzhledem k plášti pro vytvoření soběstačného magnetického pole. Vnější pole můžeme považovat ze tří samostatných částí:

- magnetosférické stávající systémy na magnetopauze (hranice mezi magnetosférou a okolní meziplanetární prostředím nebo plazmou);
- magnetosférické proudy na povrchu, které oddělují dva výstupky magnetosféry;
- stávající systém nad rovníkovou oblastí Země (prstencový proud). Prstencový proud je způsoben nabitými částicemi ve slunečním větru.

Nabitě částice se pohybují spirálovitě kolem magnetických siločar mezi severní a jižní zeměpisnou šířkou. Vnější pole se mění denně řádově v několika desítkách nT a také dochází sezónním výkyvům. Jedná se o vnější pole, které je nejvíce ovlivněno sluneční aktivitou. [8][10]



Obrázek 10 Jednodenní výkyvy geomagnetického pole v listopadu 2009 v Anchorage Aljaška[10]

Sluneční vítr proudící nadzvukovou rychlostí od Slunce jsou elektricky nabitě elektrony a protony. Při naražení do magnetického pole Země, dochází k jejich stlačení, zahřívání a zpomalování. Tok částic nabírá podzvukovou rychlost, mění svůj směr pohybu a obíhá magnetosféru. Některé částice jsou v magnetickém poli zachyceny nebo mohou přímo proniknout do atmosféry. Můžeme pak pozorovat polární záři. Od kosmického záření chrání Zemi dva van Allenové pásy, které jsou součástí magnetosféry. V těchto pásech je vysoká koncentrace nabitých částic. Na straně přivrácené ke Slunci je magnetické pole stlačeno jeho délka činí 65 000 km. Na odvrácené straně je pole roztaženo do ohonu o velikosti 260 000 km. Výsledný prostor asymetrického a proměnlivého tvaru, který je určen siločarami magnetického pole Země a působením slunečního větru, se nazývá magnetosféra.[10]

3.1 Magnetické pole ve vesmíru

Země má magnetické pole přibližně dipólové o průměrné velikosti 10^{-5} T. Díky Zeemanovému jevu můžeme porovnat magnetická pole jiných vesmírných objektů.

Magnetické pole slunce je obtížně měřitelné, protože se nepadobá dipólovému charakteru jako u Země. Ve vysokých heliocentrických šířkách, kde je znatelné dipólové pole má řádovou hodnotu 10^{-4} T. V nízkých heliocentrických šířkách kde se vyskytuje multipólové pole o velikosti řádově 10^{-2} T. Silnější magnetické pole mají ještě sluneční skvrny. Uspořádání magnetického pole Slunce se mění každých deset až jedenáct let.

Stejně jako Země mají ostatní planety sluneční soustavy dipólový charakter. Některé však nejsou měřitelné. Merkur má na povrchu magnetické pole řádově 10^{-7} T, Jupiter má 10^{-4} T, Saturn 10^{-5} T. U planety Venuše je magnetické pole obtížně měřitelné. Na Marsu je velice malé, pohybující se v průměru přibližně 60 nT. Planeta Uran má sice také magnetické dipólové pole, ale velice neobvyklé. Oproti jiným planetám je mezi osou dipólu a rotační osou velký téměř pravý úhel.[8]

Planeta	Hmota planety [10^{24} kg]	Poloměr planety [km]	Poloměr jádra [km]	Perioda rotace [$\cdot 10^5$ s]	Moment magnetického dipólu [M_z]	Sklon dipólu k rotační ose [°]
Merkur	0,33	2 439	~1 800	76	$3,1 \cdot 10^{-4}$	2,3
Venuše	4,87	6 055	~3 000	210	$< 5 \cdot 10^{-5}$	-
Země	5,97	6 371	3 485	0,862	1	11,5
Mars	0,64	3 398	~1 700	0,886	$3 \cdot 10^{-4}$	15
Jupiter	1899	71 600	52 000	0,354	$1,8 \cdot 10^4$	11°
Saturn	568	60 000	~28 000	0,368	$0,5 \cdot 10^3$	$1,5 \pm 0,5$

Tabulka 2 Moment magnetických dipólů ve sluneční soustavě[8]

Moment magnetického dipólu je uveden v jednotkách zemského magnetického dipólu M_z

Magnetické pole není přítomno pouze na planetách, ale i na mnohých hvězdách. Tato pole jsou minimálně stejně silná jako u Slunce. Slabší pole se stávajícími metodami nedají u tak vzdálených objektů stanovit. [8]

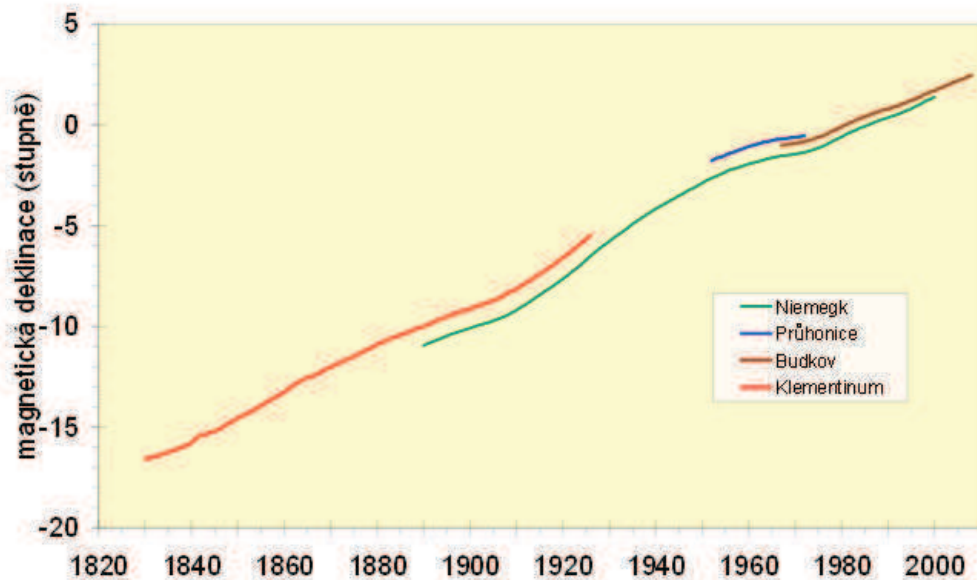
Přítomnost magnetického pole je tedy v celém vesmíru. V naší galaxii je velikost magnetického pole řádově 10^{-10} T. V jiných galaxiích bude tato velikost podobná nebo i vyšší. V mezihvězdném prostoru je o několik řádu nižší, než je tomu na některých planetách a hvězdách. [8]

3.2 Magnetická deklinace

Magnetická deklinace D je úhel mezi magnetickým a zeměpisným severním pólem Země. Jestliže se nachází magnetický poledník na východní straně od zeměpisného, je deklinace kladná. Je-li na západní straně, pak je záporná. Magnetická deklinace je odlišná na různých

místech Země. Také se mění v čase, protože se oba póly (magnetický a zeměpisný) mezi sebou pomalu pohybují. [11]

Pro rychlou orientaci můžeme deklinaci změřit pomocí kompasu nebo buzoly. V observatorním měření je k tomu určen magnetický teodolit. Teodolit je obecně přístroj pro měření horizontálních úhlů. Skládá se z horizontálního děleného kruhu a optického zařízení, na kterém přesně odečítáme úhly. Magnetický teodolit je navíc vybaven magnetickou střílkou, otáčející se okolo vertikální osy. Na střílku působí pouze geomagnetické pole. Odečítáme úhel mezi směrem střílky a geografickým severem. Na měřicím stanovišti je nastálo určen astronomicky geografický sever. Zaznamenaný pomocí charakteristického pevného předmětu. Např. špička kostelní věže.[8]



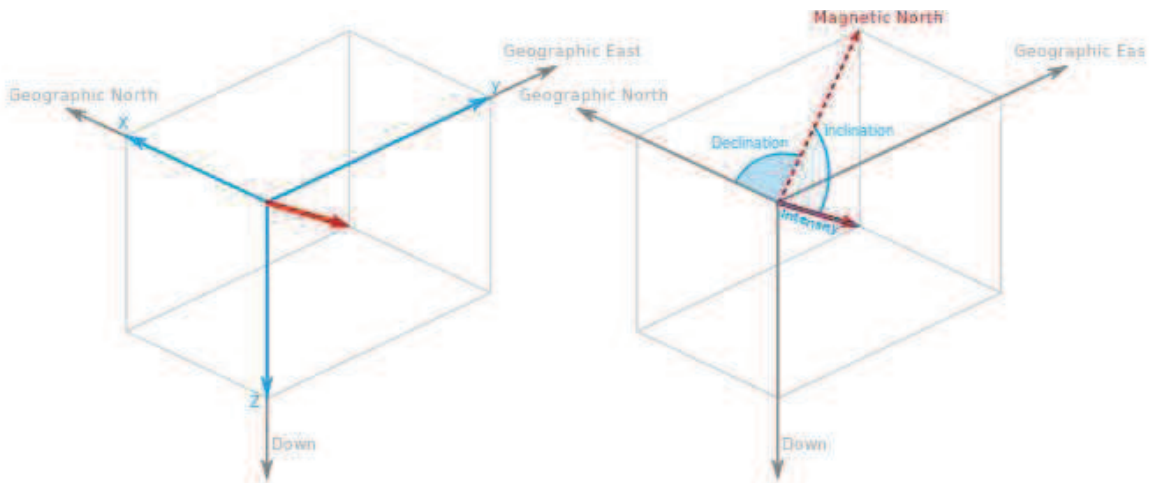
Obrázek 11 Průběh magnetické deklinace středoevropských observatoří v letech 1830 – 2008[18]

Křivky jsou velmi blízko u sebe, protože všechny čtyři stanice jsou umístěné v blízkosti stejného poledníku. Z měření je možno zaznamenat trvalou změnu jedním směrem. Velikost této změny není v průběhu období zcela stejná. V České republice se pravidelné měření magnetické deklinace započalo v pražském Klementinu, ale z důvodu zvýšení intenzity poruch a rostoucí elektrifikace zejména tramvajová dopravy, která velmi ruší měření. Bylo sledování zastaveno. Jako nové stanoviště byly zvoleny Průhonice na okraji Prahy, kde probíhalo měření až do roku 1972. V současné době probíhá měření v obci Budkov v okrese Prachatice.[18]

3.3 Magnetická inklinace

Magnetická inklinace I znázorňuje úhel svírající tečnou rovinu a magnetickou siločáru. Je-li magnetická siločára pod tečnou rovinou, pak je inklinace kladná. Naopak míří-li nad tečnou rovinu je inklinace záporná. Pomocí inklinace můžeme spočítat intenzitu magnetického pole. Největší intenzita magnetického pole je na magnetických pólech.[8]

Jeden z nejstarších přístrojů k měření inklinace je inklinatorium. Skládá se ze střelky umístěné tak, že se může otáčet okolo horizontální osy na vertikální rovině. Aby na střelku měla vliv celá vertikální složka, musí se jednat o rovinu lokálního magnetického poledníku. Magnetka musí být umístěna na osu otáčení přesně ve středu těžiště, vyloučíme tím vliv zemské tíže. Z těchto důvodů je přesnost tohoto přístroje nedostatečná. Určitý vliv na přesnost má i tření. Další přístroj pro měření inklinace se používá zemský induktor. Pracuje na principu elektromagnetické indukce. Složený z indukční cívky, která rotuje kolem osy. Uvedeme-li rotační osu cívky do směru totální intenzity magnetického pole Země, indukovaný proud v cívce zanikne a inklinaci můžeme odečítat přímo na vertikálním kruhu s úhlovou stupnicí.[8][12]



Obrázek 12 Znázornění deklinace a inklinace[12]

3.4 Základní parametry magnetického pole Země

Mezi základní parametry magnetické pole Země v určitém místě patří celková velikost samotného pole, velikost samotných složek celkové velikosti, magnetická inklinace a deklinace. Hodnoty těchto základních parametrů ve Zlíně s nadmořskou výškou 230 m a souřadnicemi $49^{\circ} 13' 59''$ s. š., $17^{\circ} 40' 1''$ v. d. jsou podle NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) k roku 2013 následující.[7]

Celková velikost	Horizontální složka	Vertikální složka	Inklinace	Deklinace
[μT]	[μT]	[μT]	[$^{\circ}$]	[$^{\circ}$]
48,699	20,239	44,294	65,44	4,0

Tabulka 3 Základní parametry magnetického pole Země ve Zlíně rok 2013[14]

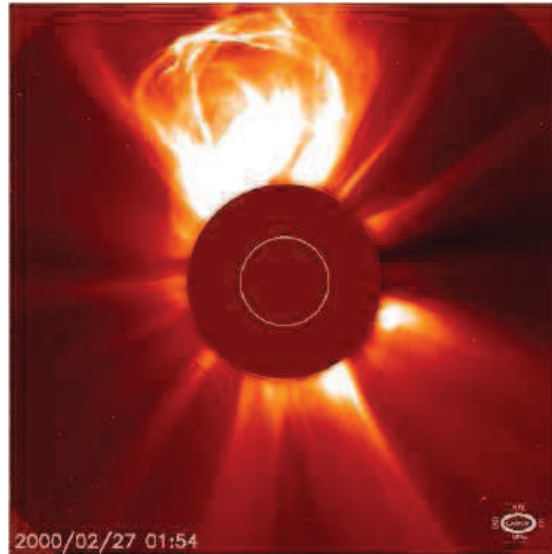
Z pohledu dlouhodobé časové změny je, zaznamenává průběh těchto základních parametrů. Jejich změna souvisí se změnou polohy magnetických a zemských pólů. V tabulce 4 je zobrazena změna základních parametrů magnetického pole Země ve Zlíně od roku 1950 do roku 2010 [7]

Rok	Celková velikost	Horizontální složka	Vertikální složka	Inklinace	Deklinace
	[μT]	[μT]	[μT]	[$^{\circ}$]	[$^{\circ}$]
1950	46,890	19,850	42,481	64,96	-0,85
1960	47,187	19,948	42,764	64,99	-0,01
1970	47,458	20,084	42,999	64,96	0,46
1980	47,789	20,198	43,310	65,00	1,1
1990	47,993	20,147	43,559	65,18	1,85
2000	48,262	20,158	43,850	65,31	2,61
2010	48,581	20,222	44,173	65,40	3,59

Tabulka 4 Časová změna základních parametrů magnetického pole ve Zlíně[14]

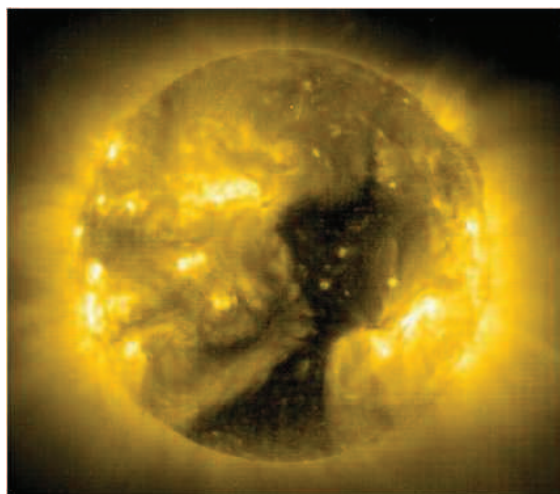
3.5 Geomagnetické bouře

Geomagnetické bouře nastanou, když je obvyklé období rychlého kolísání magnetického pole. Obecně platí, že existují dvě hlavní příčiny. První příčinou je občasný výron koronální hmoty (CME), což je silný emisní nárůst nabitých částic s následným zvýšením rychlosti a hustoty slunečního větru. Koronální výron hmoty musí být směrem k Zemi a rušit tím magnetické pole. Když nárůst zasáhne zemskou magnetosféru, obvykle to bývá 3-5 dní po sluneční události, je magnetické pole narušeno a osciluje. To pak generuje elektrické proudy v zemské ionosféře a v blízkosti zemského prostředí. Elektrické proudy následně generují další variace magnetického pole.[10]



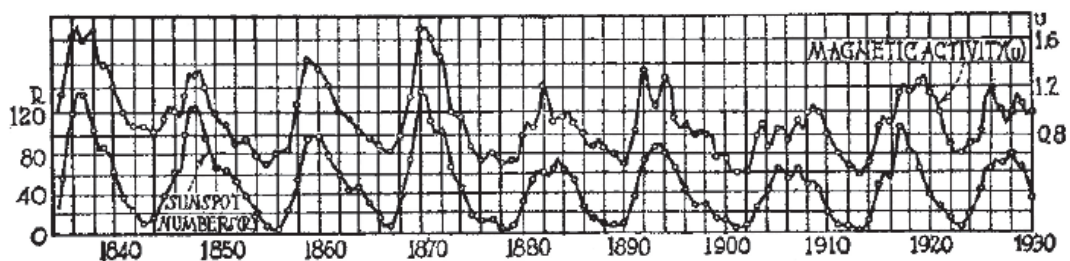
Obrázek 13 Koronální výron hmoty[10]

Druhou příčinou jsou ochlazení velkých oblastí sluneční koróny, což znamená, že se magnetické sluneční siločáry rozpínají mimo planetární střed. Mohou se spojit magnetickým polem Země. Tento proces nazýváme magnetické přepojení. Magnetické části se mohou přesunout podél magnetických siločar a vstoupit do magnetosféry Země. Tento proud způsobuje změnu geomagnetického pole. Magnetické přepojení je probíhající proces a jeho účinky jsou závislé na plazmovém tlaku, směru magnetického pole a dalších faktorů. Někdy se CME a přímá vazba vyskytují současně, pak to vede k velké geomagnetické bouři. Na obrázku 14 označují tmavá místa řidší a chladnější plazmu sluneční koróny.[10]



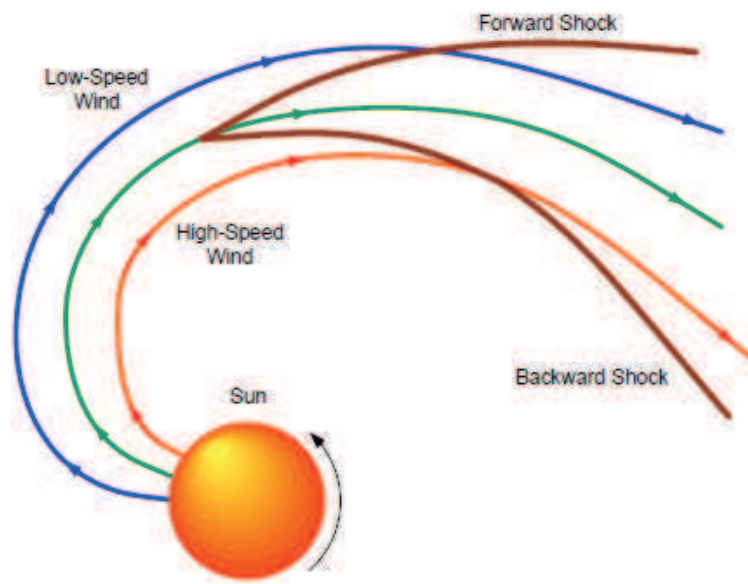
Obrázek 14 Magnetické přepojení [10]

Sluneční skvrny naznačují sluneční aktivitu, které mohou mít vliv na geomagnetické pole. Zatímco samotné sluneční skvrny nezpůsobují geomagnetické bouře. Existuje přímá vazba mezi počtem slunečních skvrn a geomagnetickou aktivitou. Cykly slunečních skvrn jsou číslovány na základě libovolného výchozího bodu. Samotné cykly existovaly pravděpodobně od vzniku Slunce, nebyly ale známy počty až do roku 1700. Na konci roku 2008 skončil 23. cyklus. Polární pozorovatelé už dlouho zaznamenávají lesk a četnost polárních září, vztahující se k počtu slunečních skvrn. Graf na obrázku 15 nám ukazuje, jak úzce jsou geomagnetické změny (horní křivka a pravá osa) spojeny s počtem slunečních skvrn (spodní křivka a levá osa). Geomagnetická aktivita je měřena dnes už zastaralým U-indexem, vykazuje odchylky desítek nT. [10]



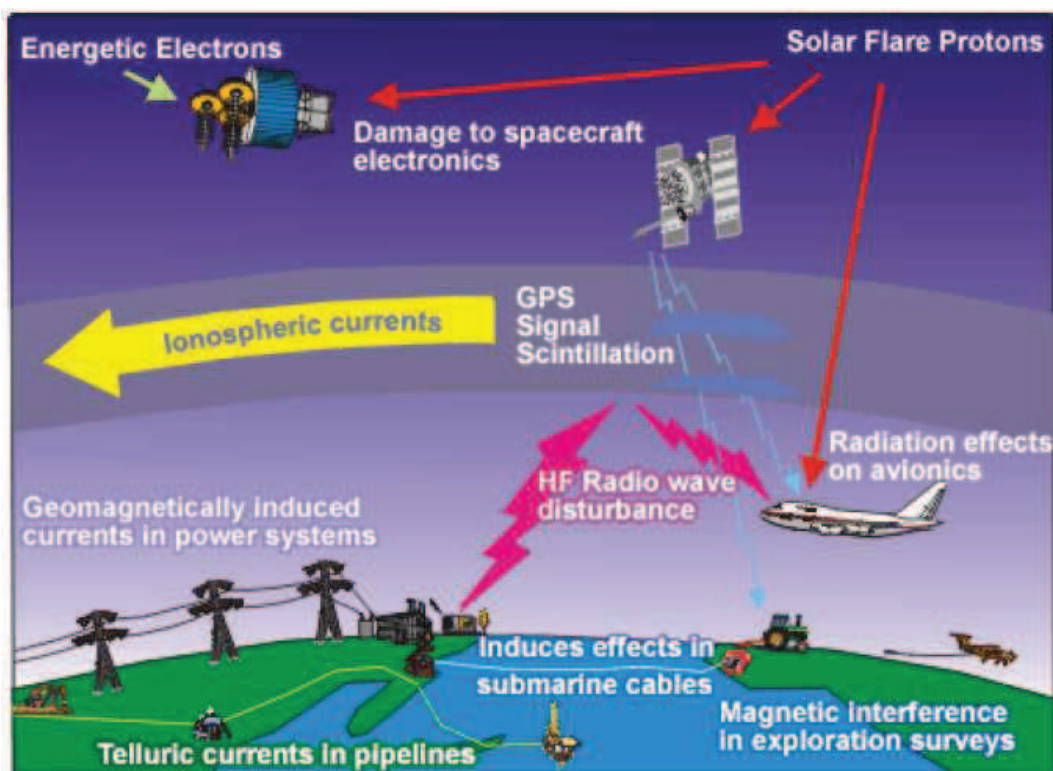
Obrázek 15 Vazby mezi počtem slunečních skvrn a změny geomagnetického pole [10]

Amatérští radioastronomové, kteří studují a sledují solární rušení, a kteří také monitorují geomagnetické pole, mohou srovnávat svá data. Nicméně vzhledem k různému zpoždění od okamžiku solární události k jeho účinku na Zemi. Vazba mezi jednotlivými událostmi velmi obtížná zejména, když je Slunce aktivní. Doba mezi sluneční událostí a jejím vlivem na geomagnetické pole závisí na rychlosti slunečního větru. To podléhá na mnoha faktorech spojených s cyklem slunečních skvrn. Při sestupné a minimální fázi slunečního cyklu je sluneční vítr ovládan koronální dírou s vysokou rychlostí vzduchu v rozmezí 500–800 km/s. Sluneční vítr má také nízké rychlosti okolo 300 km/s, spojené s rovníkovými světelným pásem. Celková průměrná rychlost je 470km/s. Vytváří se pak střídavé proudy ve slunečním proudění. Pohybují se ven ve spirále díky rotaci Slunce. Proudění cestují daleko od Slunce. Rychlé proudy předbíhají pomalé a vytváří oblasti zvýšené hustoty. Když se tyto proudy setkají u Země, mohou vyvolat geomagnetické bouře, které se periodicky opakují. [10]



Obrázek 16 Rotace slunečních proudů [10]

3.5.1 Účinky geomagnetických bouří



Obrázek 17 Vliv sluneční aktivity a souvisejících geomagnetických bouří [10]

3.5.1.1 *Komunikace*

Účinky sluneční aktivity a geomagnetické bouře jsou velmi škodlivé. Mnoho komunikačních systémů využívá ionosféry k odrazení radiových signálů na dlouhé vzdálenosti. Ionosférické bouře mohou ovlivnit radiovou komunikaci na všech zeměpisných šířkách. Některé rádiové frekvence jsou absorbovány a jiné se odrazeny, což vede ke kolísání signálu. Televizní a komerční rozhlasové stanice jsou málo ovlivněny sluneční aktivitou. Komunikace země – vzduch, lodí na moři, krátkovlnné vysílání a amatérské rádio (většinou pod 3 MHz), je často narušena. Provozovatelé VF pásem se spoléhají na sluneční a geomagnetické upozornění.[19]

Některé vojenské detekční systémy nebo systémy včasného varování jsou rovněž ovlivněny sluneční aktivitou. Over-The-Horizon radar, což je zařízení ze schopnosti detekovat cíle i na velmi dlouhé vzdálenosti, odrazí signál mimo ionosféru a sleduje start letadel a raket dlouhé vzdálenosti. Během geomagnetických bouří může být tento systém výrazně narušen rádiovým rušením. Některé systémy detekce ponorek používají magnetické podpisy jako jeden vstup do svých lokalizačních systémů. Geomagnetické bouře mohou maskovat a narušit tyto signály. Letecké úřady běžně přijímají upozornění na sluneční radiové bouře, tak aby mohli rozpoznat případné problémy v komunikaci. Když jsou letadla a pozemní stanice zarovnaný se Sluncem, může dojít k rušení letecké kontroly radiových frekvencí. Geomagnetické bouře ovlivňují také telefonní linky dálkových kabelů, včetně podmořských vedení. [19]

3.5.1.2 *Navigační systémy*

Navigační systémy např. GPS, LORAN a dnes už nepoužívaný OMEGA jsou nepříznivě ovlivněny sluneční aktivitou, která narušuje jejich funkčnost. Systém OMEGA se skládal z osmi vysílačů rozmístěných po celém světě. Z těchto vysílačů používaly letadla a lodě signály velmi nízké frekvence pro určení polohy. Během slunečních událostí a geomagnetických bouří dal systém nepřesné informace o poloze, až o několik kilometrů. Pokud přišlo upozornění o geomagnetické bouři mohlo se přejít na záložní systém. GPS signály jsou ovlivněny, když sluneční aktivita způsobuje náhlé změny v hustotě ionosféry. To má následek oslňování signálů. Scintilace satelitních signálů během ionosférické poruchy je zkoumán v HAARP (Vysokofrekvenční aktivní aurorální výzkum pro zlepšení komunikačních a navigačních systémů).[19]

3.5.1.3 Geologické průzkumy

Zemské magnetické pole je využíváno geology k určení podzemní skalní struktury. Z velké části je hledána ropa, zemní plyn nebo ložiska nerostných surovin. Tyto suroviny mohou být detekovány pouze v případě klidného magnetického pole. Jinou možností je použití magnetoteurickou techniku, která se provádí při probíhající geomagnetické bouři. Silné výkyvy v zemi stálých podzemních elektrických proudů umožní vnímat podzemní látky nebo minerální sktruktury. Proto se využívá geomagnetické výstrahy a předpovědi pro naplánování této činnosti.[19]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

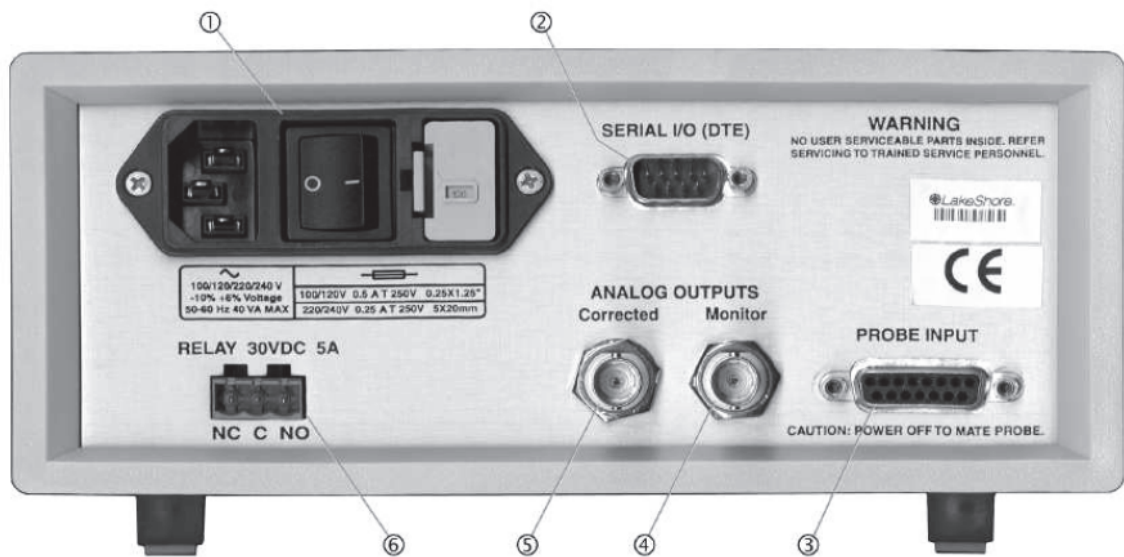
4 POPIS MĚŘICÍCH ZAŘÍZENÍ

4.1 LakeShore 421 Gaussmeter



Obrázek 18 LakeShore 421 Gaussmeter přední panel[19]

- Max reset – nulování měřených hodnot
- Max hold – maximální naměřená hodnota
- Zero probe - kalibrace měřicího přístroje
- Range – nastavení rozsahu měření
- Alarm – nastavení signalizace alarmem
- AD/DC – Měření stejnosměrných/střídavých polí
- Gauss/Tesla – výběr jednotky měření
- Interface – nastavení rozhraní
- Relative – zachycení relativní hodnoty, nastavení jasu displeje
- Enter – tlačítko pro potvrzení



Obrázek 19 LakeShore 421 Gaussmeter zadní panel[19]

1. Napájecí síťový konektor, vypínač
2. Sériové rozhraní RS232
3. Vstup sondy (D konektor 15 pin)
4. Monitorovací analogový výstup (BNC konektor)
5. Korigovaný analogový výstup (BNC konektor)
6. Relé svorkovnice

4.2 LakeShore příčná sonda



	L	T	W	A	Active area	Stem material	Frequency range	Usable full scale ranges	Corrected accuracy (% rdg)	Operating temp range	Temp coefficient (max) zero	Temp coefficient (max) calibration
MMT-6304-VH	4 in ±0.125 in	0.061 in max	0.180 in ±0.005 in	0.150 in ±0.050 in	0.040 in dia (approx)	Aluminum	DC	30 G, 300 G, 3 kG, 30 kG	±0.25% to 30 kG	0 °C to +75 °C	±0.09 G/°C	-0.04%/°C
MNT-4E04-VH	4 in ±0.125 in	0.045 in max	0.150 in ±0.005 in			Rigid glass epoxy	DC and 10 Hz to 400 Hz	300 G, 3 kG, 30 kG	±0.15% to 30 kG			
MMT-6304-VG	4 in ±0.125 in	0.061 in max	0.180 in ±0.005 in			Aluminum	DC	300 G, 3 kG, 30 kG	±0.15% to 30 kG			
MNT-4E04-VG	4 in ±0.125 in	0.045 in max	0.150 in ±0.005 in			Rigid glass epoxy	DC and 10 Hz to 400 Hz	300 G, 3 kG, 30 kG	±0.15% to 30 kG			

Obrázek 20 Lakeshore příčná sonda[19]

5 UŽIVATELSKÝ PROGRAM

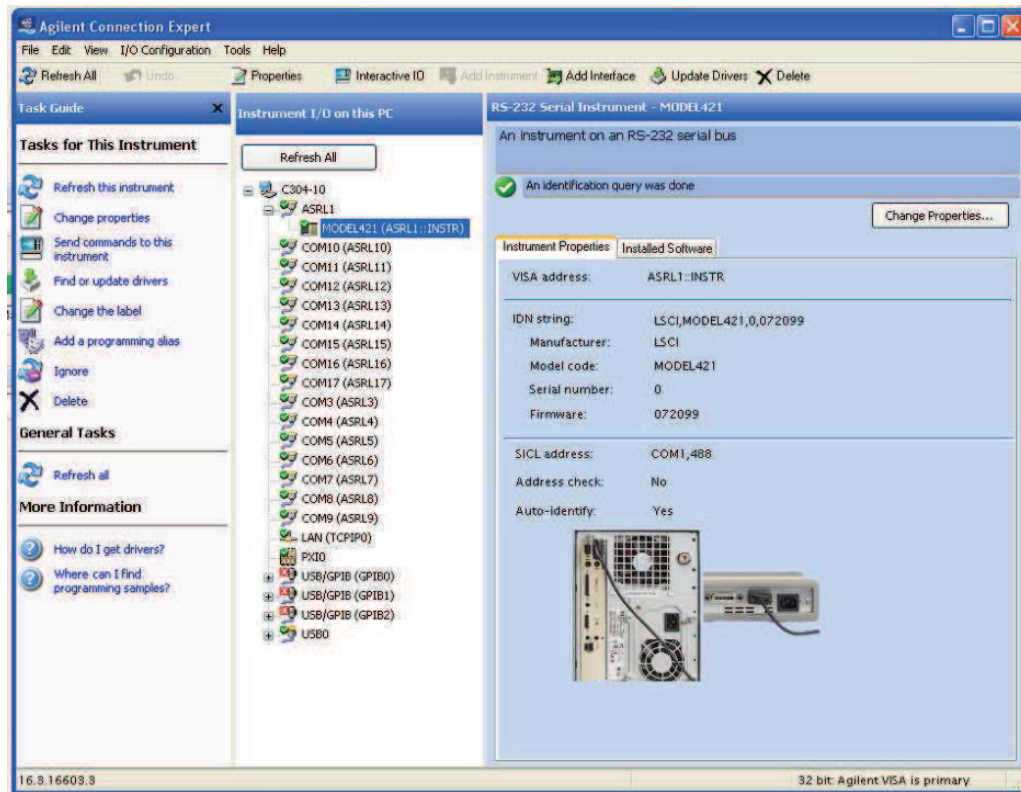
Pro sběr dat z přístroje LakeShore 421 Gaussmetr bylo nutno vytvořit program, který naměřené hodnoty dokáže průběžně ukládat do zvoleného souboru. Proto bylo vybráno vývojové prostředí Agilent Vee Pro 9.3.

5.1 Programové prostředí VEE Pro

Programové prostředí VEE Pro je navrženo firmou Agilent pro rychlou tvorbu automatizovaných pracovišť. Programování se podobá programovacímu prostředí LaBView. Pro komunikaci s měřicími přístroji používá VEE Pro sběrnice RS-232, LAN, GPIB a USB. Pomocí knihovny VISA, která je součástí balíčku Agilent IO Libraries Suite, se koná veškerá komunikace. Tento balíček je přiložen ke všem produktům Agilent, které mají nějaký komunikační port. Díky knihovnam VISA je umožněno velmi pohodlně ovládat měřicí přístroje i z jiných programových prostředí např. C++, ve kterém se používá hlavičkový soubor visa.h.[20]

5.1.1 Agilent Connection Expert

Pro usnadnění orientace v připojených zařízeních slouží program Agilent Connection Expert. Tento program nám přehledně zobrazuje připojené měřicí zařízení i s jejich identifikačními řetězci. Pro správnou komunikaci musí mít každá zařízení svou identifikační adresu, která může mít hodnotu od 0 do cca 30. [20]



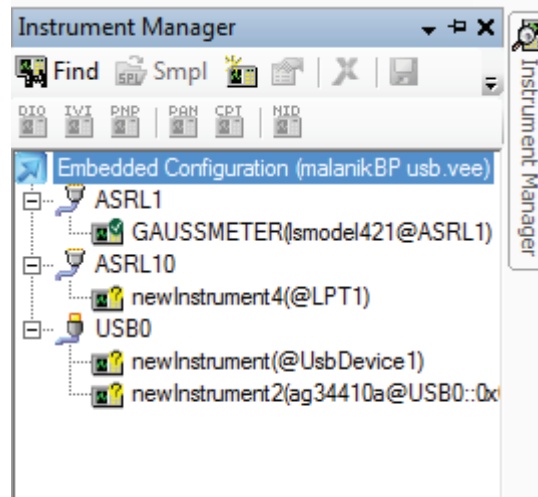
Obrázek 21 Agilent Connection Expert

Ve specifikaci měřicího přístroje LakeShore 421 Gaussmeter je uvedeno nastavení komunikace pomocí sérového rozhraní RS-232.

Typ konektoru	9-pin D-style plug
Zapojení konektoru	DTE
Úroveň napětí	EIA RS-232C Specified
Přenosová vzdálenost	Maximum 50 stop
Časový formát	Asynchronní
Převodový režim	Poloviční duplex
Přenosová rychlost	300, 1200, 9600
Handshake	Softwarové časování
Charakters Bits	1 Start, 7 Data, 1 Parity, Stop
Parity	Odd
Zakončení příkazu	CR(0DH) LF(0AH)
Command Rate	Maximálně 20 příkazů za sekundu

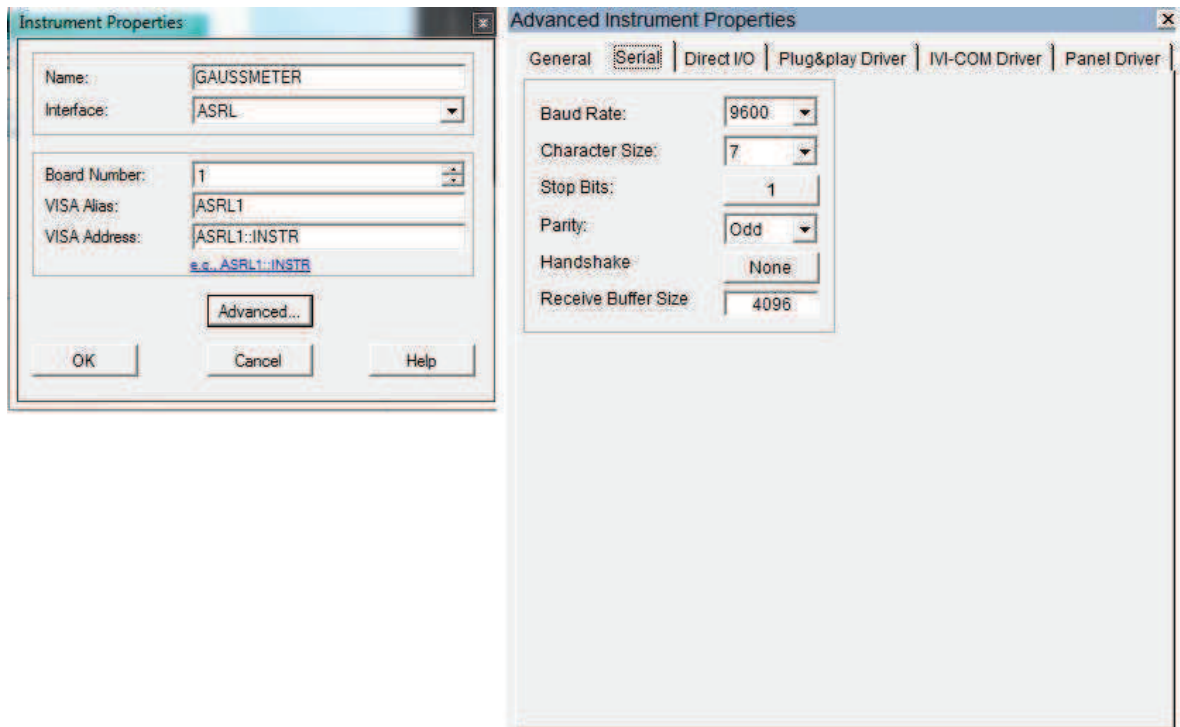
Tabulka 5 Specifikace sérového rozhraní LakeShore 421 Gaussmeter[19]

Tyto specifikace je nutno před samotným komunikováním s měřicím přístrojem nastavit. Nastavení se realizuje pomocí nabídkového okna Instrument Manager. Zde je nutno zvolit vlastnosti příslušného zařízení, v našem případě Gausmetru.



Obrázek 22 Instrument Manager

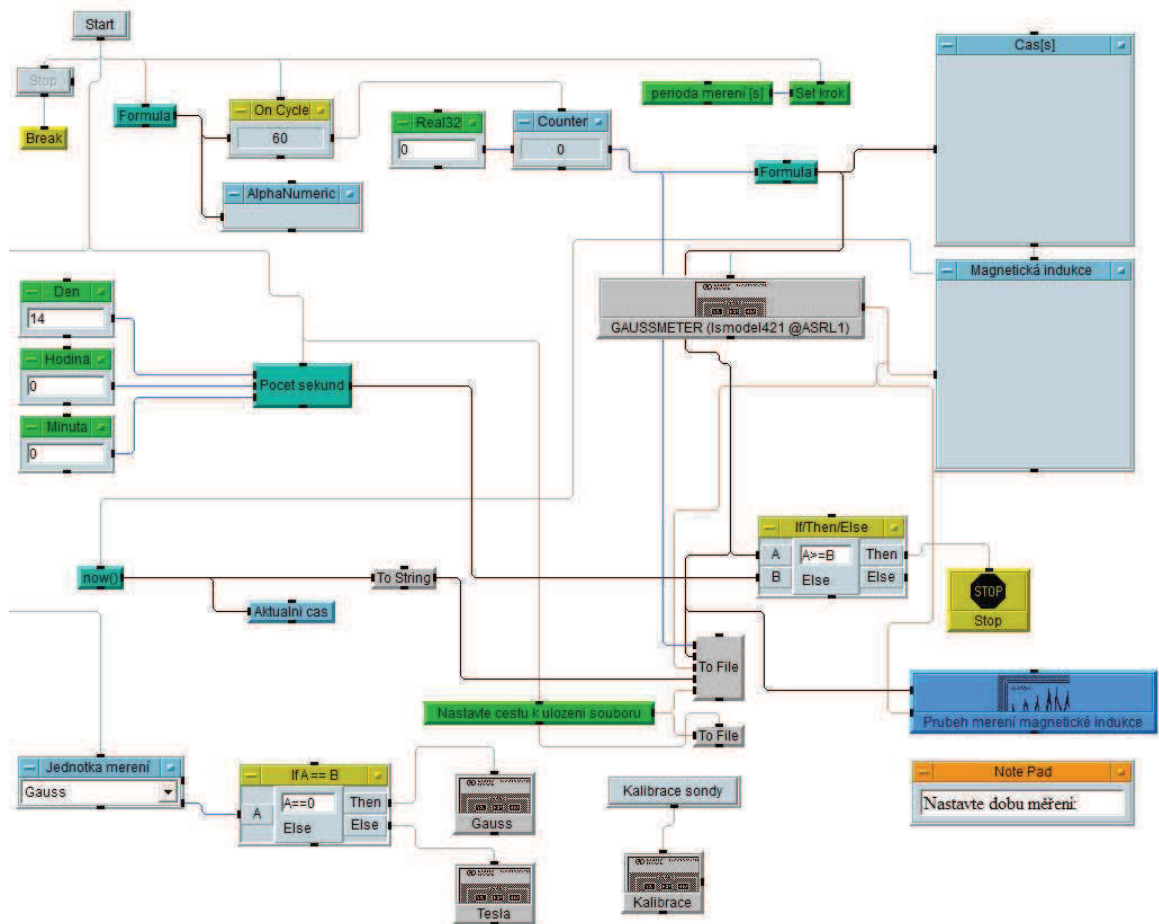
V okně Instrument Properties jsou základní vlastnosti objektu jako je jméno, rozhraní a adresa. V pokročilých vlastnostech v záložce Serial se dostáváme k nakonfigurování samotné komunikace po sériové lince. Položky vyplníme podle Tabulky 5. Jakmile nastavíme všechny potřebné hodnoty, máme připravenou komunikaci s měřicím přístrojem.



Obrázek 23 Pokročilé vlastnosti nástroje

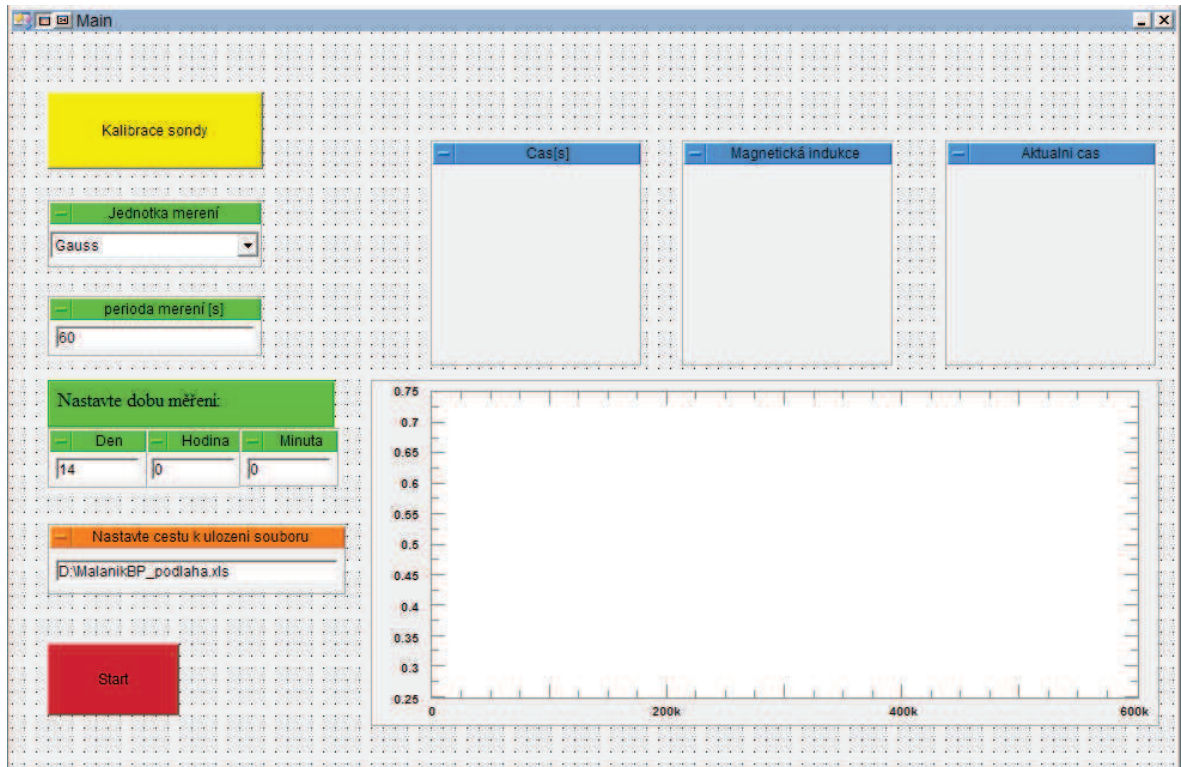
5.2 Popis programu

Program je navržen tak, že po spuštění tlačítkem Start se opakovaně dotazuje měřicího přístroje ve formě transakce (WRITE TEXT "FIELD?" REAL64 STD:2 SING: "+/-" EOL). Přečte a vrátí hodnotu právě zobrazenou na displeji. Ukončení měření je aktivováno dosažením shody hodnot skutečné délky měření a nastavenou dobou požadovaného měření. Porovnání je provedeno podmínkou v objektu If/Then/Else. K této hlavní části programu jsou přidány další objekty, které dotváří kompletní program. Je to ukládání naměřených hodnot do souboru pomocí objektu To File. Transakce (WRITE TEXT pocet, "\t", t, "\t", cteni, "\t", cas) v objektu To File nám ve výstupním souboru vytváří hlavičku sloupců. Výběr jednotky měření je zajištěn volbou transakce (WRITE TEXT "Unit G") pro jednotku Gauss nebo (WRITE TEXT "Unit T") pro jednotku Tesla. Kalibrace sondy funguje nezávisle na celkovém programu. Pro přesnější měření by se měla provádět před jeho spuštěním. Transakce (WRITE TEXT "ZCAL" EOL) zajišťuje její funkčnost. Dále je program doplněn objektem X vs Y Plot, což je graf znázorňující naměřené hodnoty.



5.3 Uživatelské prostředí programu

Pro zjednodušení obslužnosti programu byly některé objekty připnuty do uživatelského panelu. To usnadňuje použití i přes menší znalost programovacího prostředí VEE Pro. Před samotným spuštěním programu tlačítkem Start provedeme kalibraci měřicí sondy. Abychom nemuseli použít ovládání přímo na měřicím přístroji, kde se spustí po stisknutí tlačítka Zero Probe, byla do programu zavedena funkce „Kalibrace sondy“. Po jejíž stisknutí kalibrace se spustí. Potom vybereme jednotku měření. Máme na výběr mezi jednotkou Gauss a Tesla. Dalším krokem je nastavení periody měření v sekundách. Dále zvolíme délku dobu měření a cestu souboru k průběžnému ukládání výsledků. Po provedení předchozích úkonů se může spustit program tlačítkem Start. Měřené hodnoty jsou zobrazeny v příslušných oknech a jejich průběh je zobrazen pomocí grafu. Po uplynutí nastavené doby měření se program sám automaticky ukončí.



Obrázek 24 Uživatelské prostředí programu

Výsledky měření se průběžně automaticky ukládají do excelového souboru pod názvem, který jsme na počátku měření nastavili. Výstupní soubor obsahuje stejné hodnoty, jako jsou zobrazeny na uživatelském panelu. Jedná se o čas[s] od počátku měření, magnetická indukce (dle zvolené jednotky) a datum s aktuálním časem příslušného měření. Ukázkou části výstupního souboru vidíme na následujícím obrázku.

	A	B	C	D
1	pocet	cas [s]	Mag.Induk	cas mereni
2	1	0	+000.51	30/May/2014 11:12:15
3	2	10	+000.51	30/May/2014 11:12:24
4	3	20	+000.49	30/May/2014 11:12:34
5	4	30	+000.48	30/May/2014 11:12:44
6	5	40	+000.46	30/May/2014 11:12:54
7	6	50	+000.44	30/May/2014 11:13:04
8	7	60	+000.43	30/May/2014 11:13:14
9	8	70	+000.42	30/May/2014 11:13:24
10	9	80	+000.41	30/May/2014 11:13:34
11	10	90	+000.40	30/May/2014 11:13:44
12	11	100	+000.39	30/May/2014 11:13:54
13	12	110	+000.40	30/May/2014 11:14:04

Obrázek 25 Výstup naměřených hodnot

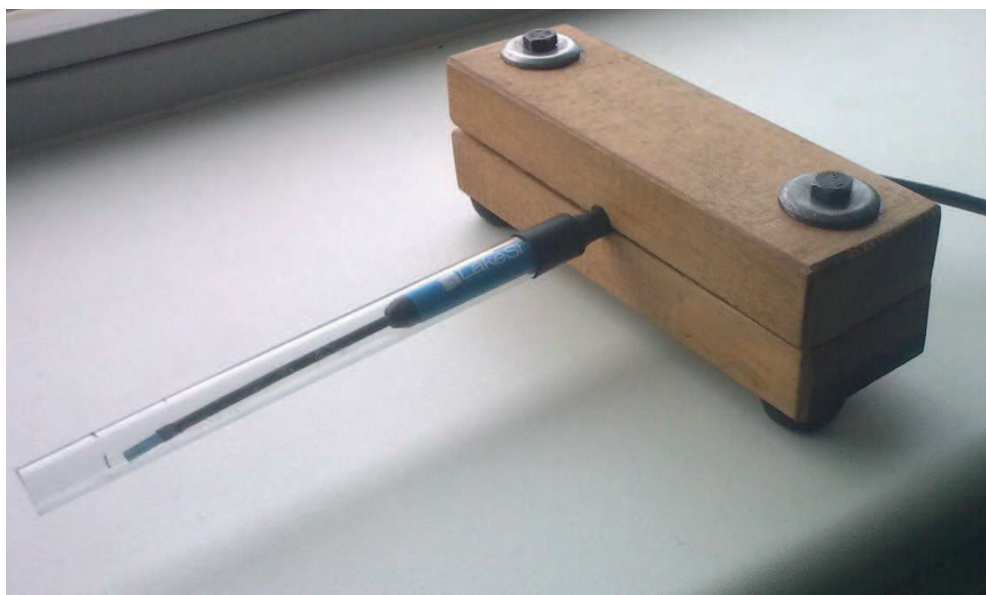
6 MĚŘENÍ MAGNETICKÉHO POLE VE ZLÍNĚ

V předchozí kapitole byla popsána programová část měření. Nyní se zaměříme přímo na postup měření. Měření bylo provedeno celkem třikrát. Před každým jednotlivým měřením byla provedena kalibrace měřicího přístroje se sondou pomocí kalibrační komory tvořící nulové magnetické pole (LakeShore 4060 Zero Gauss Chamber).



Obrázek 26 LakeShore 4060 Zero Gauss Chamber[19]

Měřicí sonda byla umístěna do předem vyrobeného držáku, který zajišťoval stabilní polohu po celou dobu jednotlivých měření.



Obrázek 27 Držák měřicí sondy

Rozdíly v měření se odlišovali umístěním měřicí sondy. Pro první a druhé měření bylo zvoleno prostředí laboratorní místnosti C304 v areálu budovy UTB U5. Sonda pro první měření byla umístěna na parapetu okna orientovaného na sever. V případě druhého měření byla sonda umístěna ve stejné laboratoři přímo na podlaze. Místo posledního měření bylo

provedeno severně od areálu UTB U5 ve vzdálenosti přibližně 4 kilometrů (GPS 49°15'58.150"N, 17°38'16.513"E). Na tomto místě bylo nutno pro napájení měřicí sestavy využití nezávislého zdroje proudu (Přenosná jednofázová elektrocentrále Honda EU10i).



Obrázek 28 Honda EU10i

Postup měření se ve všech třech případech téměř shoduje.

Prvním krokem bylo sestavení měřicí sestavy dle schématu zapojení a spuštění měřicího přístroje. Následovalo nastavení komunikace měřicího přístroje s programem (tahle část je popsána v kapitole 5.1.1 Agilent Connection Expert). Dle manuálu výrobce se sonda nechala přibližně 5 minut. Kalibrace přístroje byla provedena vsunutím sondy do kalibrační komory a stisknutím tlačítka kalibrace.

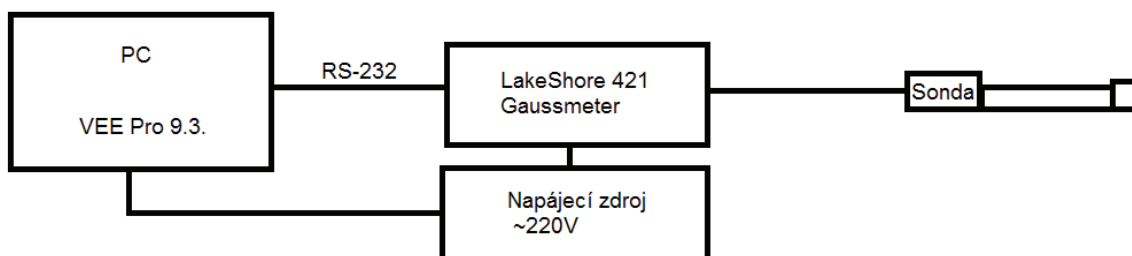
Druhým krokem byla zvolena v uživatelském panelu programu hodnota periody měření. V případě měření provedených v laboratoři byla nastavena na hodnotu 10 minut, ve venkovním měření byla perioda nastavena na 10 sekund. Poté byla zvolena cílová cesta s názvem souboru, do kterého se ukládají data.

Posledním úkonem bylo spuštění samotného měřicího cyklu pomocí tlačítka Start. Ve vnitřních prostorách bylo měřeno po dobu sedmi dnů. Při venkovním měření nebylo

možno tuto dobu technických důvodů zopakovat, proto se celé měření zkrátilo na dvě hodiny.

6.1 Schéma zapojení

Měřicí sestava se skládá s přístroje LakeShore 421 Gaussmeter a sondy propojené s počítačem, na kterém byl spuštěn program VEE Pro 9.3 pro automatický sběr dat. Při měření ve venkovních prostorách je síťové napájení nahrazeno jednofázovým generátorem.



Obrázek 29 Blokové schéma zapojení

6.2 Výsledky měření

Pro velkou četnost naměřených výsledků jsou hodnoty prezentovány v grafickém znázornění. Pro přehlednost údajů je použit spojnicový graf.

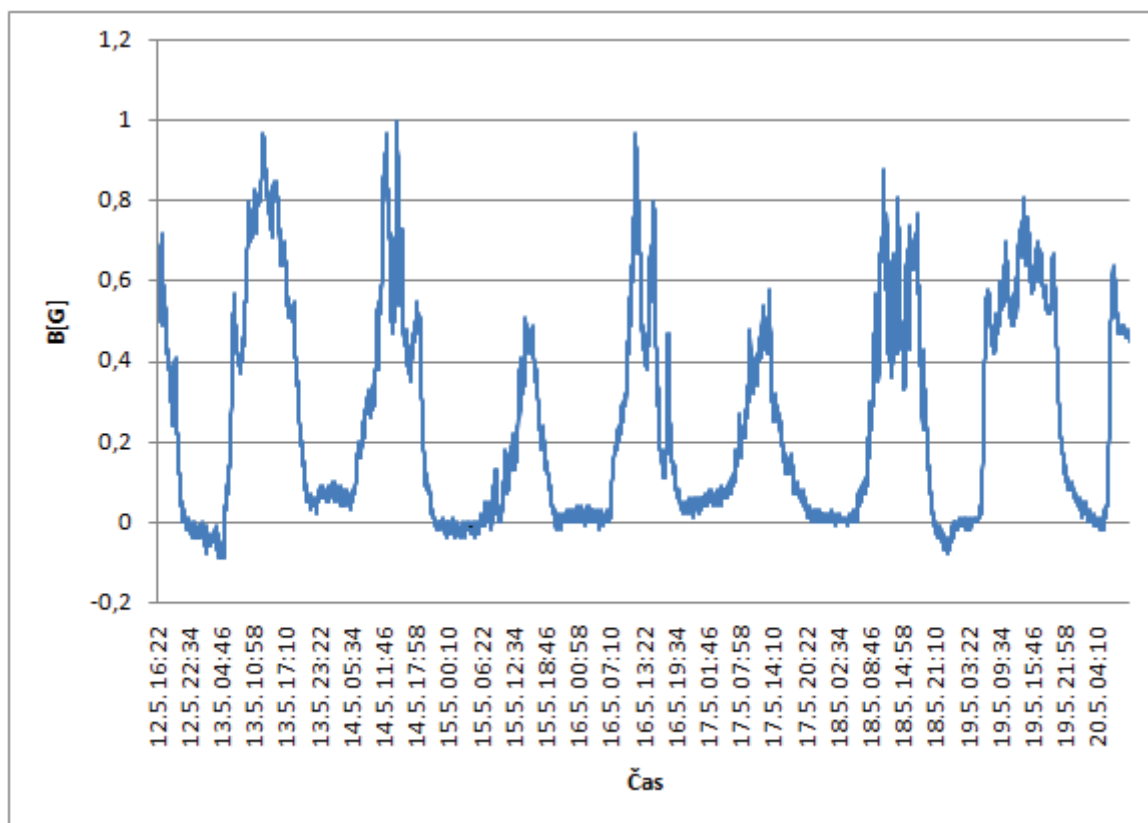
6.2.1 Měření č. 1 – okenní parapet

Umístění měřicí sondy na okenním parapetu je zobrazeno na obr. 30.



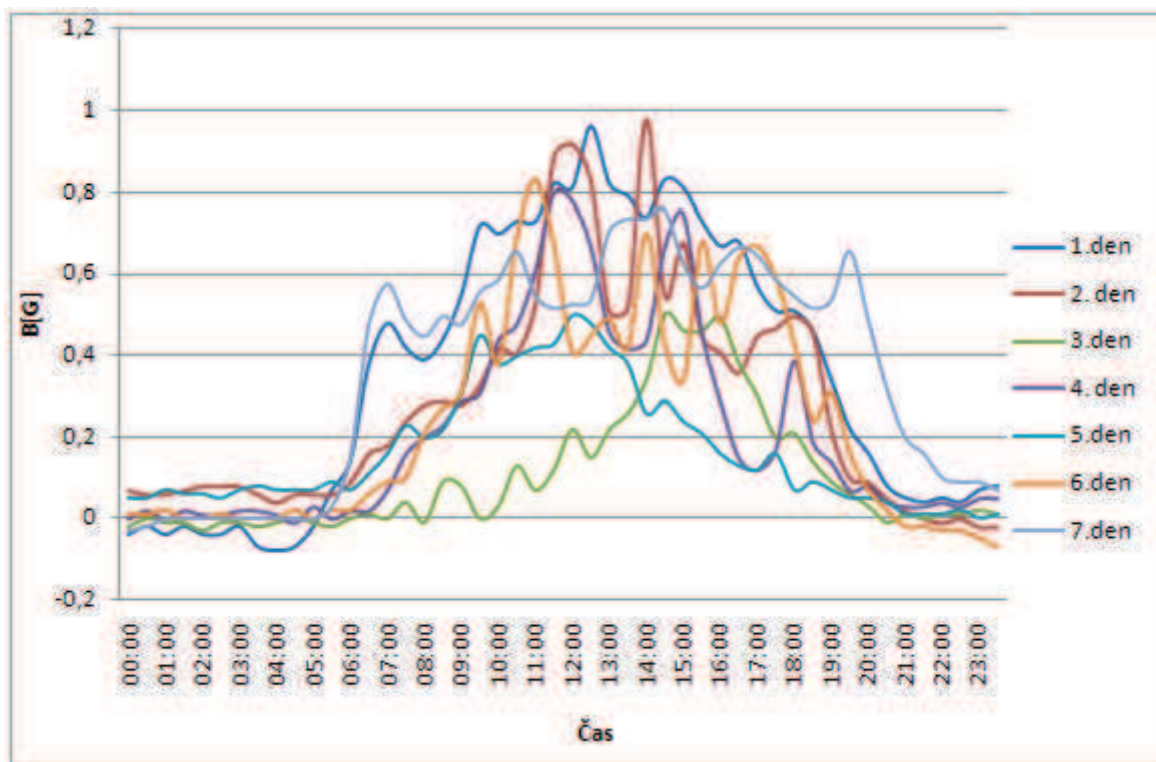
Obrázek 30 Umístění měřicí sondy – měření č. 1

Následující graf zobrazuje průběh naměřených hodnot po dobu sedmi dnů.



Obrázek 31 Graf celkového průběhu měření č. 1 (okno)

Pro porovnání průběhu denních změn magnetického pole byly hodnoty rozděleny do sedmi částí (dnů). Každý den je zobrazen jinou barvou a začíná vždy v 00:00 hodin a končí ve 24:00 hodin.



Obrázek 32 Graf průběhu denních změn - měření č.1 (okno)

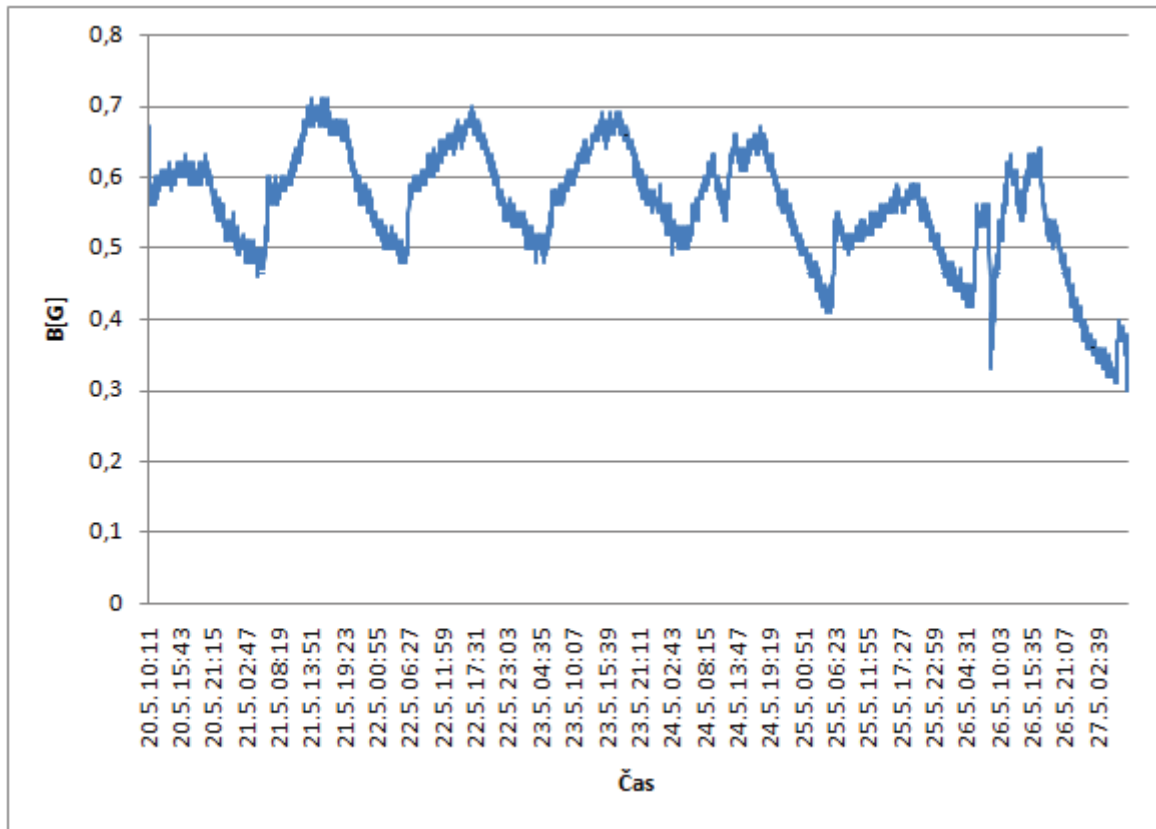
6.2.2 Měření č. 2 - podlaha

Umístění měřicí sondy na podlahu laboratoře vidíme na obr. 33.



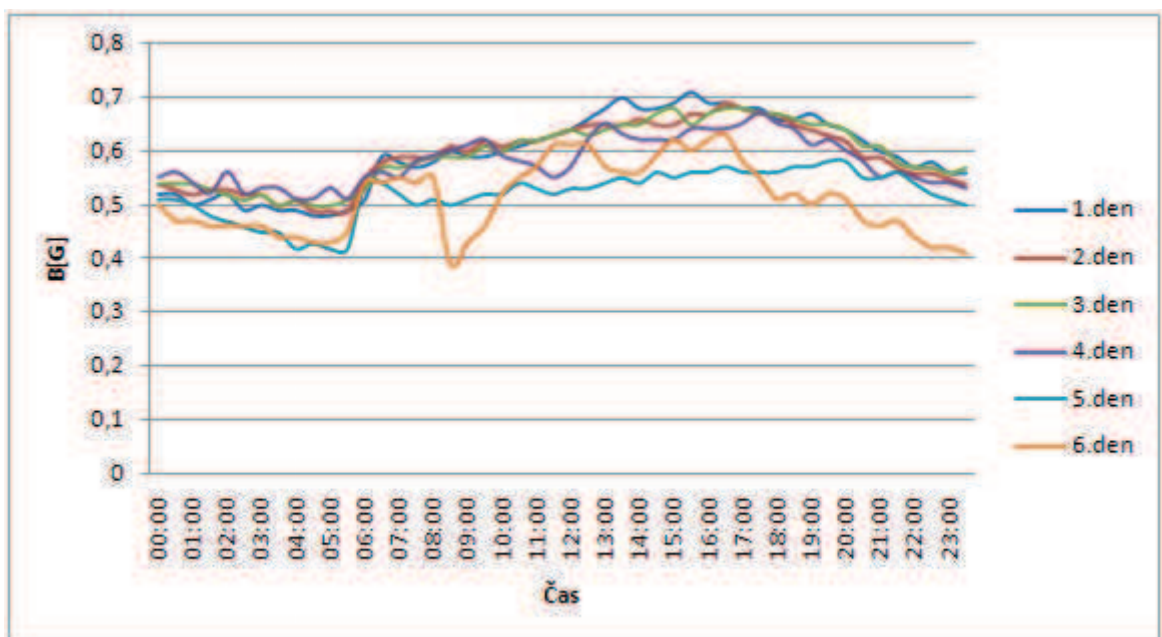
Obrázek 33 umístění měřicí sondy - měření č. 2

Graf zobrazuje průběh naměřených hodnot po dobu sedmi dnu.



Obrázek 34 Graf celkového průběhu měření č. 2 (podlaha)

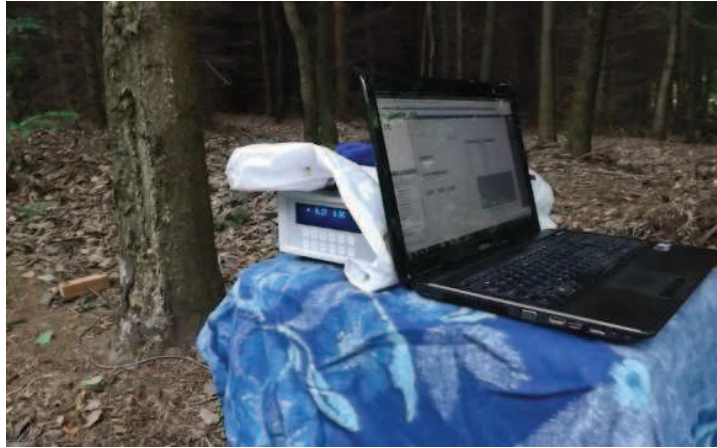
Stejně jako u měření č.1 jsou výsledky měření rozděleny do 6 částí(dnů)



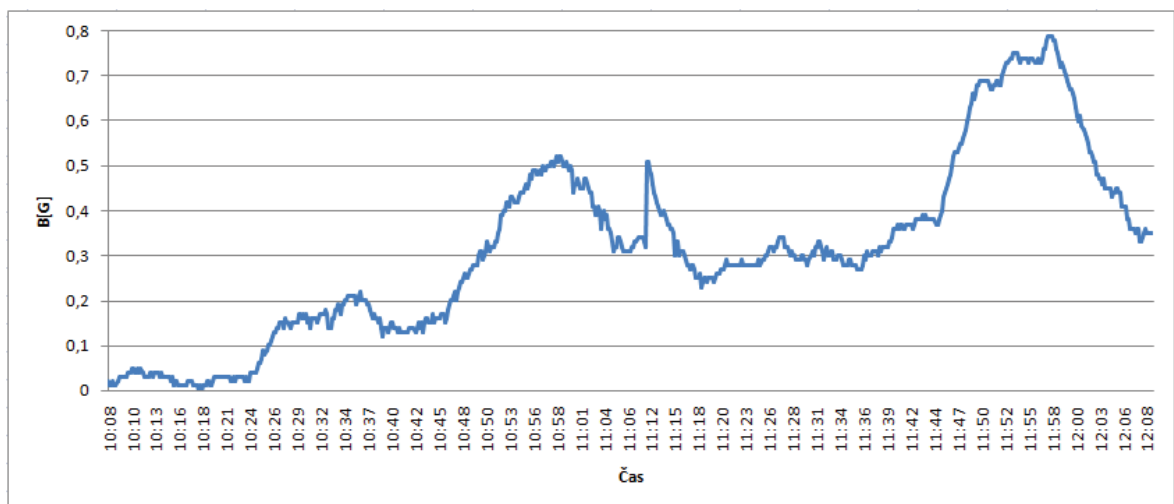
Obrázek 35 Graf průběhu denních změn - měření č.2 (podlaha)

6.2.3 Měření č. 3 – venkovní

Umístění měřicí sondy při venkovním měření je vidět na obr.36



Obrázek 36 Umístění měřicí sondy - měření č. 3



Obrázek 37 Graf celkového průběhu měření č. 3 (venkovní)

6.3 Diskuze výsledků

Měření bylo provedeno na třech různých místech. Z toho dvě měření byly v budově UTB U5 v laboratoři C304 s odlišnou polohou měřicí sondy. Třetí měření bylo uskutečněno ve zalesněném terénu v okolí Zlína.

V prvních dvou případech bylo měření dlouhodobé (více jak 6 dní). Poslední měření bylo z technických důvodů zkráceno pouze na dvě hodiny. V místě měření nebylo možno připojit přístroje na veřejnou rozvodnou síť. Pro napájení bylo využito externího zdroje. V místě měření nebylo možno zajistit zabezpečení měřicích přístrojů proti odcizení.

Při prvním měření byla sonda umístěna na okně. Hodnoty magnetické indukce byly odečítány každých deset minut. Naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí $-0,09 \text{ G} \div 1 \text{ G}$ ($-0,009 \text{ mT} \div 0,1 \text{ mT}$). Z grafu je patrný největší výkyv hodnot v denních hodinách.

Druhé měření proběhlo obdobně jako předchozí měření s rozdílem umístění sondy, která byla na podlaze laboratoře. Naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí $0,3 \text{ G} \div 0,71 \text{ G}$ ($0,03 \text{ mT} \div 0,071 \text{ mT}$).

Třetí měření bylo z výše uvedených technických důvodů výrazně kratší, oproti předcházejícím měření. Hodnoty magnetické indukce byly v tomto případě odečítány každých deset sekund. Naměřené hodnoty se v tomto případě pohybovaly v rozmezí $0 \text{ G} \div 0,79 \text{ G}$ ($0 \text{ mT} \div 0,079 \text{ mT}$).

Naměřené hodnoty prvních dvou měření se od sebe výrazně lišily. Důvodem mohla být volba umístění sondy v blízkosti zařízení nebo elektrického vedení vyzařující vlastní magnetické pole (elektrické rozvody v elektroinstalačních lištách jsou umístěny přímo pod okenním parapetem, přítomnost feromagnetických materiálů v konstrukci budovy a vybavení laboratoře jako jsou např. rámy stolů).

Třetí měření bylo provedeno za účelem eliminovat vliv ručení jiných magnetických polí. Tento stav však z výsledků měření není zřejmý, protože naměřené hodnoty také kolísaly v podobném rozmezí jako v laboratoři. Příčiny kolísání hodnot se těžko zdůvodňují. Můžeme se domnívat, že výsledky byly ovlivněny rozvodnou VVN sítí, která je ve vzdálenosti cca 1000 metrů nebo přítomnost neznámých předmětů pod povrchem terénu v blízkosti měření. Pro objektivní porovnání všech tří měření by bylo potřeba provést třetí měření ve stejném časovém rozsahu. V našem případě to nebylo možno provést.

ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem se zabýval problematikou měření magnetické pole Země. V teoretické části jsem charakterizoval základní veličiny popisující magnetické pole a metody jeho měření. Po seznámení s magnetickým polem Země jsem v krátkosti jeho vlastnosti porovnával s některými planetami v naší sluneční soustavě.

V praktické části jsem se seznámil s programovým prostředím Agilent Vee Pro a jeho možnosti připojení s měřicím přístrojem LakeShore 421 Gaussmeter, které jsem použil pro automatické měření. Volba vhodného programového prostředí se potvrdila již v průběhu tvorby programu pro měření, kde jsem nezaregistroval žádnou překážku, která by bránila jeho úspěšnému dokončení. Z dostupných technických prostředků jsem vytvořil automatizované pracoviště pro měření magnetického pole Země.

Magnetické pole Země jsem měřil jednou metodou. Vlastní měření proběhlo na třech stanovištích. Měření byla časově náročná. Doba jednotlivého měření trvala sedm dní. Výsledky naměřených hodnot jsem zpracoval do grafické podoby. Na jednotlivé měření jsem se zde díval jak z dlouhodobého, tak i krátkodobého časového horizontu. Naměřené hodnoty jsem mezi sebou porovnal a zdůvodnil v diskuzi výsledků. Závěrem bakalářské práce jsem zpracoval protokol měření laboratorní úlohy do předmětu Instrumentace a měření. Tento protokol je doložen v příloze.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] STRÍTELSKÝ, Zdeněk. *Systém pro automatické řízení magnetického pole*. Zlín, 2004. Bakalářská práce. Utb. Vedoucí práce Martin Procházka.
- [2] HUBENÁK, Josef. *Elektrina a magnetismus: skriptum pro základní kurs fyziky*. 1. vyd. Hradec Králové: Gaudeamus, 2002. ISBN 8070410892.
- [3] FRADEN, Jacob. *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. 4th ed. New York: Springer, 2010. ISBN 9781441964656.
- [4] FEYNMAN, Richard Phillips, Robert B LEIGHTON a Matthew SANDS. *Feynmanove přednášky z fyziky*. Bratislava: Alfa, 1988, 572 s.
- [5] NEMECEK, Pavel. *Nejistoty měření*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008, 96 s. ISBN 978-80-02-02089-9.
- [6] KREJČÍŘÍK, David. *Počítačové řízení experimentu pro úlohu měření magnetického pole Země*. Zlín, 2008. Bakalářská práce. Utb. Vedoucí práce Ing. Milan Navrátil.
- [7] ŠIMBERSKÝ, Michal. *Měření magnetického pole* [online]. Brno, 2012 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/17380/Simbersky_Mereni%20magnetického%20pole.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Ing. Jiří Fialka.
- [8] JANÁČKOVÁ, Alena. *Geomagnetické pole*. Praha: Univerzita Karlova, 75 s. Dostupné z: <http://geo.mff.cuni.cz/vyuka/Janackova-Geomagneticke-pole.pdf>
- [9] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. české vyd., 2. dotisk. Překlad Jan Obdržálek, Bohumila Lencová, Petr Dub. V Brně: Prometheus, 2006, vii, 1034-1198, [30]. ISBN 80-214-1868-0.

INTERNETOVÉ ZDROJE

- [10] WHITHAM, D. Reeve. *Geomagnetism Tutorial*. Anchorage, 2010, 35 s. Dostupné z: <http://www.reeve.com/Documents/SAM/GeomagnetismTutorial.pdf>
- [11] Magnetická deklinace. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetick%C3%A1_deklinace
- [12] Zemský induktor. In: *Cojeco* [online]. 2000 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id_desc=108505&title=zemsk%FD%20induktor&s_lang=2
- [13] Geofyzikální charakteristiky Země. In: *Zeměpis* [online]. 2010 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.zemepis.com/geofyzika.php>
- [14] Magnetic Field Calculators. In: *Ational Oceanic and Atmospheric Administration* [online]. 2010 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>
- [15] Magnetická intenzita. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Intenzita_magnetick%C3%A9ho_pole
- [16] Nestacionární pole. In: *Samouk* [online]. 2010 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.samouk.cz/moodle/mod/presenter/view.php?open=1&id=492&chapterid=6444>
- [17] *Permanentní magnety: Co je potřeba vědět o magnetech* [online]. 2008, 44 s. [cit. 23.4.2014]. Dostupné z: http://www.sinomag.cz/sinomag.cz/data/sinomag/downloads/Permanentni_magnety.pdf
- [18] *Historie magnetických měření v Čechách a dlouhodobé změny složek geomagnetického pole* [online]. Úpice: Hvězdárna v Úpici, 2009 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/upice2009/67.pdf>

- [19] Geomagnetic storm. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Geomagnetic_storm#Geomagnetic_storm_effects
- [19] *User's Manual Model 421 Gaussmeter*. 2004. Dostupné z: http://www.lakeshore.com/ObsoleteAndResearchDocs/421_Manual.pdf
- [20] *Seznámení s grafickým programovým prostředím Agilent VEE a měření A-V charakteristik*. 2010. Dostupné z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/~drinovsky/?download=MREM_2014_L_VEE_00.pdf.
- [21] *Fyzikální princip měření magnetického pole & SQUID & MPMS XL magnetometr*. Olomouc, 2009. Dostupné z: <http://atmilab.upol.cz/texty/squid.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Význam
H	$A.m^{-1}$	intenzita magnetického pole
μ_0	$H.m^{-1}$	permeabilita vakua
μ_r	-	relativní permeabilita
R	Ω	odpor
U_{em}	V	elektromotorické napětí
Φ	Wb	magnetický indukční tok
B	T	magnetická indukce
CME		výron koronální hmoty
GPS		Globální polohovací systém

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Intenzita magnetického pole [2]	12
Obrázek 2 Magnetická indukce [9].....	12
Obrázek 3 Homogenní pole [9]	13
Obrázek 4 Nehomogenní pole [9].....	13
Obrázek 5 Schéma VSM[21].....	18
Obrázek 6 Feromagnetická sonda[21]	19
Obrázek 7 Princip metody analytické váhy[21]	20
Obrázek 8 Orientace vektorů u Hallova jevu[21].....	21
Obrázek 9 Zobrazení magnetostrikce[21].....	22
Obrázek 10 Jednodenní výkyvy geomagnetického pole v listopadu 2009 v Anchorage Aljaška[10].....	24
Obrázek 11 Průběh magnetické deklinace středoevropských observatoří v letech 1830 – 2008[18].....	26
Obrázek 12 Znázornění deklinace a inklinace[12]	27
Obrázek 13 Koronální výron hmoty[10]	29
Obrázek 14 Magnetické přepojení [10]	29
Obrázek 15 Vazby mezi počtem slunečních skvrn a změny geomagnetického pole [10]...	30
Obrázek 16 Rotace slunečních proudů [10].....	31
Obrázek 17 Vliv sluneční aktivity a souvisejících geomagnetických bouří [10]	31
Obrázek 18 LakfeShore 421 Gaussmeter přední panel[19].....	35
Obrázek 19 LakeShore 421 Gaussmeter zadní panel[19].....	36
Obrázek 20 Lakeshore příčná sonda[19]	36
Obrázek 21 Agilent Connection Expert.....	38

Obrázek 22 Instrument Manager	39
Obrázek 23 Pokročilé vlastnosti nástroje.....	40
Obrázek 24 Uživatelské prostředí programu	42
Obrázek 25 Výstup naměřených hodnot.....	42
Obrázek 26 LakeShore 4060 Zero Gauss Chamber[19].....	43
Obrázek 27 Držák měřicí sondy	43
Obrázek 28 Honda EU10i.....	44
Obrázek 29 Blokové schéma zapojení.....	45
Obrázek 30 Umístění měřicí sondy – měření č. 1.....	45
Obrázek 31 Graf celkového průběhu měření č. 1 (okno)	46
Obrázek 32 Graf průběhu denních změn - měření č.1 (okno)	47
Obrázek 33 umístění měřicí sondy - měření č. 2	47
Obrázek 34 Graf celkového průběhu měření č. 2 (podlaha).....	48
Obrázek 35 Graf průběhu denních změn - měření č.2 (podlaha).....	48
Obrázek 36 Umístění měřicí sondy - měření č. 3	49
Obrázek 37 Graf celkového průběhu měření č. 3 (venkovní).....	49

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 relativní permeabilita materiálů[17]	14
Tabulka 2 Moment magnetických dipólů ve sluneční soustavě[8].....	25
Tabulka 3 Základní parametry magnetického pole Země ve Zlíně rok 2013[14]	28
Tabulka 4 Časová změna základních parametrů magnetického pole ve Zlíně[14]	28
Tabulka 5 Specifikace sériového rozhraní LakeShore 421 Gaussmeter[19]	38

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Vzorový protokol laboratorní úlohy

PŘÍLOHA P I: VZOROVÝ PROTOKOL LABAROTARNÍ ÚLOHY

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky			
Ústav elektroniky a měření			
Jméno a příjmení		Ročník / Skupina	
Předmět	Instrumentace a měření	Datum měření	
		Datum odevzdání	
Název úlohy	Měření magnetické indukce v laboratoři C304	Hodnocení	

Obsah

1. ÚKOL MĚŘENÍ.....	1
2. EXPERIMENT.....	2
2.1. Použité přístroje a pomůcky.....	2
2.2. Naměřená a vypočtená data.....	2
2. ZÁVĚR.....	3
3. SEZNAM OBRAZKŮ.....	3

1.ÚKOL MĚŘENÍ

Sestavte program pro měření magnetické indukce v programu Agilent Vee Pro 9.3.

Program bude komunikovat s měřicím přístrojem. V programu bude možno nastavit periodu měření, dobu měření. Výsledky měření se budou automaticky ukládat do souboru.

Nastavte periodu na 30 sekund a dobu měření na 5 minut. Měření proved'te na dvou místech.

Z výsledků měření spočítejte aritmetický průměr jednotlivých hodnot a také nejistotu měření.

V závěru protokolu porovnejte naměřené výsledky v jednotlivých měřeních.

2.EXPERIMENT

2.1.Použité přístroje a pomůcky

LakeShore 421 Gaussmeter

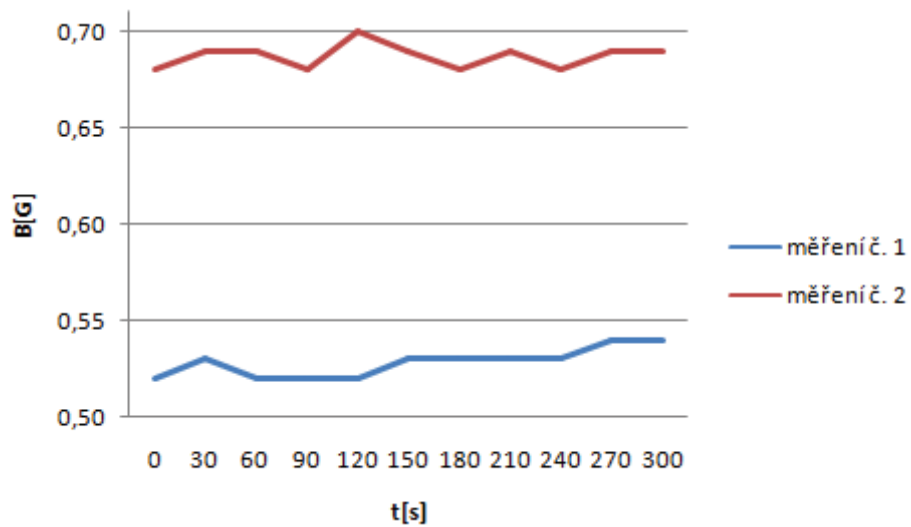
2.2.Naměřená a vypočtená data

Číslo měření	Čas[s]	B[G]
1	0	0,52
2	30	0,53
3	60	0,52
4	90	0,52
5	120	0,52
6	150	0,53
7	180	0,53
8	210	0,53
9	240	0,53
10	270	0,54
11	300	0,54
Průměrná hodnota		0,5281
Směrodatná odchylka		0,0071

tabulka 1 naměřená a vypočtená data měření č. 1

Číslo měření	t[s]	B[G]
1	0	0,68
2	30	0,69
3	60	0,69
4	90	0,68
5	120	0,70
6	150	0,69
7	180	0,68
8	210	0,69
9	240	0,68
10	270	0,69
11	300	0,69
Průměrná hodnota		0,6872
Směrodatná odchylka		0,0061

tabulka 2 naměřená a vypočtená data měření č. 2



Obrázek 2 Průběh magnetické indukce

3.ZÁVĚR

Laboratorní úloha tvořila z velké části sestavit funkční program pro měření. Tvorba programu zabrala proto nejvíce času při vypracování. Ověření funkčnosti programu bylo provedeno měřením. Z výsledků byla stanovena hodnota magnetické indukce. Naměřené hodnoty v jednotlivých místech se liší, protože zde působí rozdílné rušení z okolních feromagnetických materiálů.