

AKREDITIRANI LABORATORIJ ZA GOSTOTO MAGNETNEGA PRETOKA

AN ACCREDITED MAGNETIC MEASUREMENTS LABORATORY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA

Dušan Fefer, Gregor Geršak

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za procesno merilno tehniko,
Laboratorij za magnetna merjenja, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
dusan.fefer@fe.uni-lj.si

Prejem rokopisa - received: 2002-11-11; sprejem za objavo - accepted for publication: 2003-01-14

Laboratorij za magnetna merjenja (LMM) Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani je kalibracijski laboratorij, akreditiran za merjenje gostote magnetnega pretoka pri članici EA nemški Deutscher Kalibrierdienst (DKD) in pri Slovenski akreditaciji (SA). Nosi naziv DKD-kalibracijski laboratorij DKD-K-28301 in SA-laboratorij L-022. Prikazali bomo merilno opremo, s katero merimo in generiramo referenčna enosmerna in izmenična magnetna polja in zagotavljamo merilno sledljivost do nacionalnih oziroma mednarodnih etalonov.

Ključne besede: metrologija, gostota magnetnega pretoka, teslameter, akreditacija, protonski magnetometer, NMR

Since December 2000 the Laboratory for Magnetic Measurements (LMM), University of Ljubljana, has been accredited by the German DKD, and since January 2001 also by the Slovene SA. The calibrations are traceable to the primary PTB laboratory 2.24.

The LMM is the Slovene national laboratory issuing calibration certificates for AC and DC magnetometers and ensuring measurement traceability with its measurement equipment to national and international standards for magnetic density measurements.

Key words: metrology, magnetic flux density, teslameter, accreditation, proton magnetometer, NMR

1 UVOD

Metrologija je osnovni element tehnološke infrastrukture vsakega gospodarstva. Dosedanji siloviti tehnološki razvoj v svetu je pokazal, da se vrhunska tehnologija lahko razvija le toliko, kolikor se lahko razvija vrhunska merilna tehnika oziroma celotna metrologija. Nove tehnologije lahko uvajamo in razvijamo le, če imamo ustrezno razvito merilno tehniko oziroma ustrezno metrološko organiziranost za izvedbo novih tehnoloških postopkov.

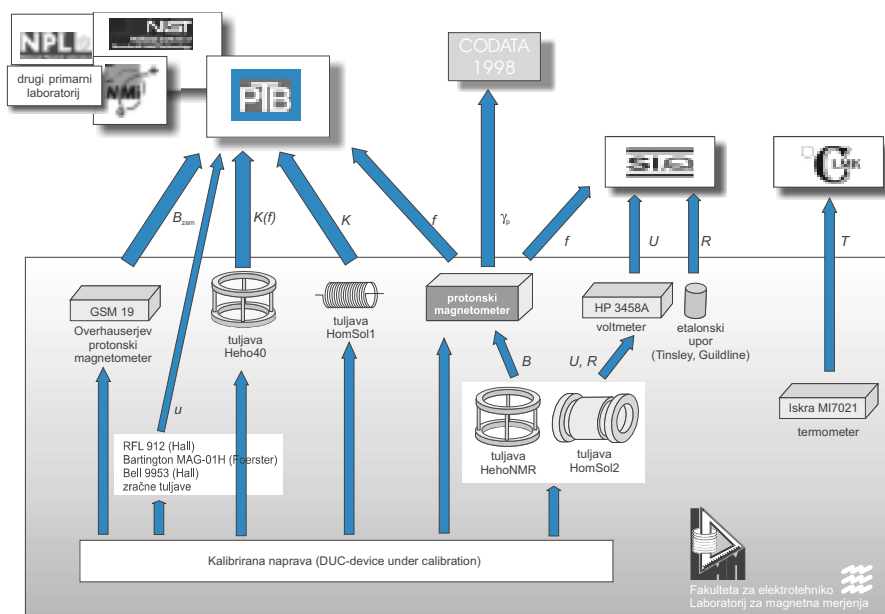
Gospodarski pomen merilne tehnike oziroma celotne metrologije izvira iz njene vloge nadzora in vodenja procesov - avtomatizacija, robotizacija, računalniška kontrola, nadzor okolja, preverjanje in zagotavljanje kvalitete, preskušanje množične proizvodnje in sistemov - pri uvajanju zahtevnejših tehnologij.

Vedno večja potreba po kvaliteti proizvodov, ki je eden od pomembnih pogojev za njihovo konkurenčnost, prinaša s seboj zahtevo po kontroli te kvalitete. Proizvodi so kvečjemu lahko tako dobri kot instrumenti, s katerimi merimo njihove parametre, le-ti pa zopet ne morejo biti boljši od etalonov, s katerimi jih umerjamo.

Etalon je definiran kot "opredmetena mera, merilni instrument, referenčni material ali merilni sistem, katerega namen je, da definira, realizira, ohranja ali reproducira neko enoto ali eno ali več vrednosti veličine, tako da služi kot referenca" ¹. Glavni značilnosti etalona

sta, da mora realizirati določeno fizikalno veličino v čim bolj širokem območju in da mora biti časovno in krajevno neodvisen.

Poznamo tri različne tipe etalonov za gostoto magnetnega pretoka. Stalni (permanentni) magneti so krajevno neodvisni, a časovno nestabilni in imajo le v eni sami točki referenčno vrednost gostote magnetnega pretoka. Drugi tip etalonov so tuljave (**slike 4, 5, 7**). Te so časovno bolj neodvisne od stalnih magnetov, imajo široko merilno območje in so krajevno neodvisne. Tretji tip etalonov so teslametri (**sliki 3 in 6**). Značilno zanje je, da je njihovo merilno območje zelo široko, vendar ne pomenijo direktne realizacije gostote magnetnega pretoka. Ker gostoto le merijo, za celoten etalonski sistem poleg njih vedno potrebujemo tudi sistem za generiranje magnetnega polja. Navadno so kot sistemi za generiranje uporabljene zračne tuljave. Imajo fizično lahko dostopno notranjost, v katero lahko pri kalibracijskem postopku postavimo sondo kalibriranega instrumenta. V Laboratoriju za magnetna merjenja imamo vse tri tipe etalonov. Z raziskavami na področju precizijskega merjenja enosmernih in izmeničnih gostot magnetnega pretoka nizkih amplitud se v svetu ukvarja več laboratorijev. Poleg ameriškega NISTa, korejskih, japonskih in ruskih laboratorijev so na tem področju dejavni še v nemškem PTB, britanskem NPL, nizozemskem NMi, češkem CMI, francoskem BNM-LCIE itd.



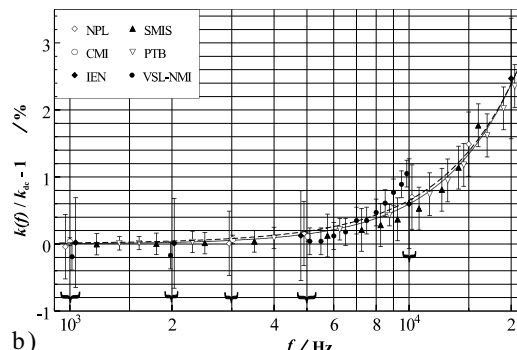
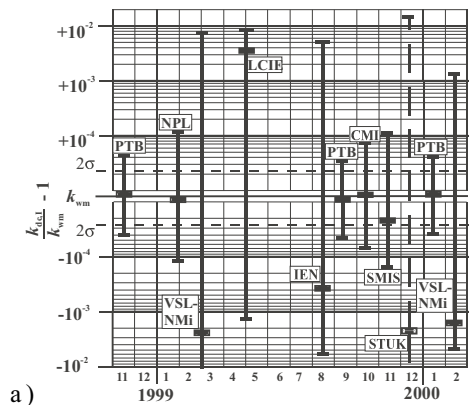
Slika 1: Prikaz sledljivosti etalonov in merilne opreme LMM na višje nivoje metrološke piramide
Figure 1: Traceability scheme for LMM standards and measuring equipment

V letu 2000 je bila Laboratoriju za magnetna merjenja (LMM) Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani podeljena akreditacija za merjenje veličine gostote magnetnega pretoka od akreditacijskih teles DKD (Deutsche Kalibrierdienst) in SA (Slovenska akreditacija). S tem se je LMM pridružil drugim šestim akreditiranim evropskim laboratorijem, ki poslujejo v skladu s standardom EN 45000. Od leta 2002 posluje LMM v skladu s standardom ISO/IEC 17025. Laboratorij za magnetna merjenja je s tem postal na sledljivostni piramidi najvišji slovenski laboratorij za gostoto magnetnega pretoka, ki hrani etalone z najmanjšo merilno negotovostjo v danem merilnem območju, ki so direktno sledljivi na nemški primarni laboratorij (slika 1). LMM sodeluje z ostalimi evropskimi laboratoriji v okviru medlaboratorijskih primerjav (slika 2).

2 ETALON ZA ENOSMERNO GOSTOTO MAGNETNEGA PRETOKA

Na področju merjenja majhnih gostot enosmerne magnetnega pretoka se uporablja kar nekaj različnih metod (Hallov senzor, Foersterjeva sonda, resonančne metode,...). Največje točnosti dosegamo z metodami, ki izkoriščajo princip jedrske magnetne resonance (NMR).

Primarni etalon gostote enosmerne magnetnega pretoka je tisti, ki definira veličino gostote magnetnega pretoka in za katerega je značilna vrhunska merilna negotovost. Delovanje protonskih magnetometrov temelji na fizikalnem principu jedrske magnetne resonance (NMR - Nuclear Magnetic Resonance). Vzorec, ki je jedro induktivnosti električnega resonančnega kroga protonskega magnetometra, vsebuje protone. Te lahko obravnavamo kot magnetne dipole. V termičnem ravn-



Slika 2: Mednarodno sodelovanje LMM 4.5,6,7 - rezultati ovrednotenja posredniškega etalona (Garrett tuljave) pri projektu Euromet 446. Laboratorij za magnetna merjenja (LMM) je označen s kratico SMIS (Standards and Metrology Institute of Slovenia). Merilni rezultat LMM je popolnoma primerljiv s primarnimi laboratoriji. Slika a) prikazuje enosmerne razmere, b) pa izmenične.
Figure 2: International cooperation of the LMM 4.5,6,7 - results of the transfer-standard evaluation in the scope of the project Euromet no. 446. The results of the Laboratory for Magnetic Measurements (marked as SMIS) are even comparable to the primary laboratories. a) DC coil-constant, b) AC coil-constant.

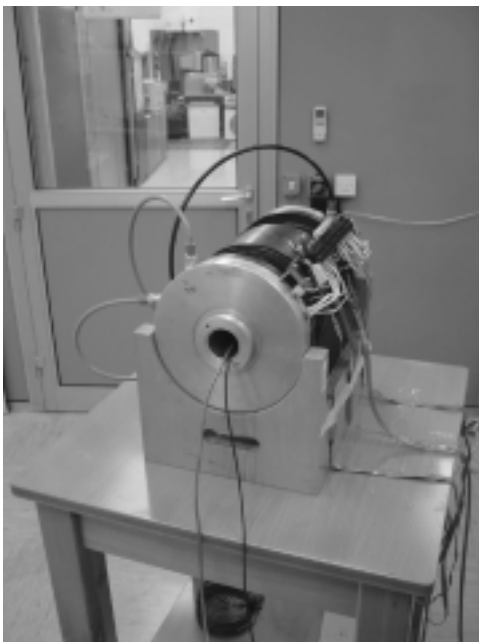


Slika 3: GSM-19v protonski magnetometer za merjenje zemeljskega magnetnega polja

Figure 3: GSM-19v proton magnetometer for earth magnetic-field measurements

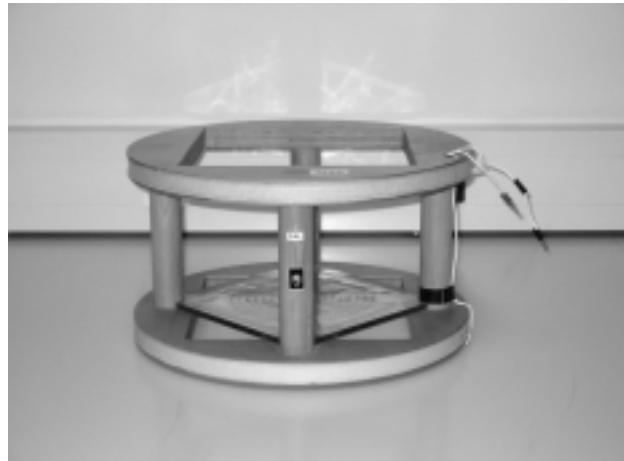
vesju brez zunanjih magnetnih polj so magnetni dipoli naključno porazdeljeni po prostoru in precesirajo v naključnih smereh. Do pojava protonske magnetne resonance pride, ko vzorec izpostavimo zunanjemu enosmernemu magnetnemu polju B_0 . Nekateri protoni se postavijo v smer tega polja, nekateri v nasprotno smer. V novi smeri magnetni dipoli precesirajo. Teorija NMR pravi, da je frekvenca precesiranja okoli nove smeri odvisna izključno od narave vzorca in od gostote magnetnega pretoka B_0 . Krožno frekvenco precesiranja imenujemo tudi Larmorjeva krožna frekvenca ω_L . Velja:

$$\omega_L = \gamma \times B_0 \quad (1)$$



Slika 4: Etalonski solenoid za enosmerna polja (do 200 mT)

Figure 4: Standard DC solenoid (up to 200 mT)



Slika 5: Etalonska Helmholtzova tuljava za izmenična polja

Figure 5: Standard Helmholtz coil (AC fields)

kjer je γ giromagnetno razmerje, B_0 pa gostota merjenega magnetnega pretoka ^{2,3}.

V Laboratoriju za magnetna merjenja uporabljamo absorpcijski protonski magnetometer za merjenje šibkih polj pod 50 mT, ki je bil izgrajen v sodelovanju s PTB. Relativna negotovost magnetometra je odvisna od gostote merjenega polja in je značilno 10 μ T/T.

Ker se v Laboratoriju za magnetna merjenja ukvarjamo predvsem z merjenjem majhnih gostot magnetnega pretoka, smo se omejili na preučevanje sistemov za generiranje magnetnega polja majhnih vrednosti (do 150 mT) z etalonskimi zračnimi tuljavami (sliki 4, 5).

3 ETALON ZA IZMENIČNO GOSTOTO MAGNETNEGA PRETOKA

Na področju precizijskega merjenja in generiranja izmeničnih magnetnih polj imamo v laboratoriju kot etalon na voljo Helmholtzovo tuljavo, katere frekvenčno odvisna konstanta ima negotovost, ki je reda 10^{-3} , sledljivo na PTB. Z namenom, da bi pokrili čim večje merilno področje in s tem zadostili potrebam industrije ter drugih raziskovalnih ustanov, v LMM razvijamo nove merilne postopke, s katerimi želimo ne samo razširiti merilna področja, ampak tudi zmanjšati merilno negotovost obstoječih postopkov.

Za kalibracijo teslametra za merjenje izmenične gostote magnetnega pretoka potrebujemo izmenično referenčno magnetno polje. Zato uporabljamo zračno tuljavo, ki je osnovno sredstvo za generiranje določene gostote magnetnega pretoka. Navadno je referenčna izmenična gostota magnetnega pretoka v tuljavi določena računsko, in sicer po enačbi:

$$B_{AC} = k(f) \times i \quad (2)$$

Pri tem je $k(f)$ frekvenčno odvisna konstanta tuljave in i izmenični tok, s katerim tuljavo napajamo. Konstanta tuljave je najpomembnejša lastnost tuljave, odvisna pa je

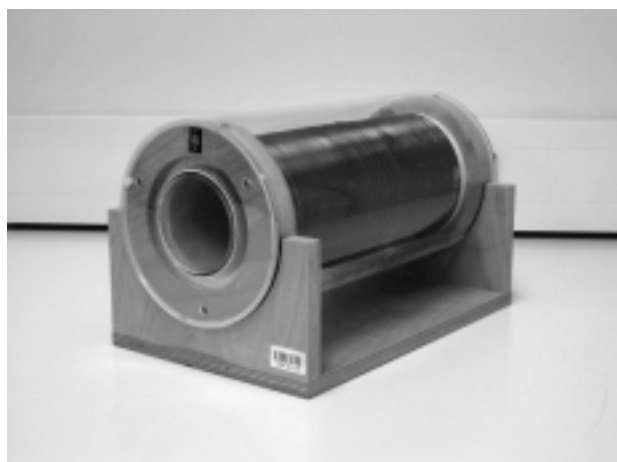


Slika 6: Protonski magnetometer s sondami
Figure 6: Proton magnetometer with probes

od geometrijskih dimenzij in je zaradi tega krajevno in časovno zelo stabilna (če ni izpostavljena obremenilnim dejavnikom okolice, kot so: velike temperaturne razlike, vibracije, velika nihanja relativne zračne vlage...).

4 SKLEP

Sedaj je v Sloveniji le en akreditiran laboratorij za meritve gostote magnetnega pretoka. Potrebe po tovrstni dejavnosti v Sloveniji obstajajo v industriji oz. proizvodnji feritnih in magnetnih materialov, motorjev in generatorjev. Meritve šibkih magnetnih polj so potrebne v medicini (terapevtska dejavnost, raziskave škodljivih vplivov magnetnih polj), pri geofizikalnih meritvah, raziskavah v arheologiji in geomagnetiki ter za vojaške namene. Z naraščajočim številom podjetij z vzpostavljenim sistemom kakovosti, ki jim je bil podeljen certifikat serije ISO 9000 in ki potrebujejo redno certificiranje svojih merilnih inštrumentov, se povečuje tudi potreba po storitvah akreditiranega laboratorija. Bistvenega pomena je predvsem cenovna konkurenčnost domačega laboratorija pred tujimi institucijami. Velikost akreditiranega območja se z novim znanjem in tehnologijami neprestano veča, in ena od glavnih usmeritev Laboratorija za magnetna merjenja (LMM) je prav gotovo zagotavljanje akreditiranih meritev na področju merjenja enosmerne in izmenične gostote magnetnega pretoka v merilnem območju, ki ga zahtevajo uporabniki. Poleg tega je merjenje magnetnih



Slika 7: Etalonska solenoidna tuljava
Figure 7: Standard solenoid air coil

polj tudi zakonsko podprto v skladu z Odredbo o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (december 1996), s katero je Republika Slovenija tudi določila mejne vrednosti jakosti elektromagnetnih polj v okolju. V skladu s težnjo Republike Slovenije po integraciji v Evropsko unijo je tudi vzdrževanje etalona za gostoto magnetnega pretoka v LMM v okviru slovenske etalonske baze ena izmed pomembnih dejavnosti našega laboratorija.

5 LITERATURA

- ¹ Mednarodni slovar osnovnih in splošnih izrazov s področja meroslovja, Urad za standardizacijo in meroslovje, Ljubljana, 1999
- ² K. Weyand, An NMR Marginal Oscillator for Measuring Magnetic Fields Below 50 mT, IEEE Trans. Instrum. Measur., 38 (1989) 410-414
- ³ H. Zijstra, Experimental Methods in Magnetism, Part 2, Amsterdam, North-Holland Publishing Company, 1967
- ⁴ Peter J. Mohr, Barry N. Taylor, CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 1998, NIST, Gaithersburg, MD 20899-8401
- ⁵ K. Weyand, Intercomparison of magnetic flux density by means of field coil transfer standard, J. Hunter, L. Johnson, Conference on Precision Electromagnetic Measurements, Digest, Sydney, 2000, 246
- ⁶ K. Weyand, Maintenance and Dissemination of the Magnetic Field Unit at PTB, IEEE Trans. Instrum. Measur., 50 (2001) 470-473
- ⁷ Gregor Geršak, Janez Humar, Dušan Fefer, Calibration of a reference field coil by means of the NMR magnetometer and induction coils, Elektroteh. vestn., 68 (2001) 5, 294-299