

ОБРАЗАЦ ЗА ПРИЈАВУ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

У складу са одредбама *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитавном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије («Службени гласник РС», бр. 38/2008) достављам следеће податке.

Обавезни подаци:

Аутор/аутори решења:

Анамарија Јухас, Миодраг Милутинов, Дејана Херцег,
Мирослав Прша, Неда Пекарић-Нађ

Назив техничког решења:

Уређај за генерисање хомогеног магнетског поља контролисаног интензитета за потребе биомагнетских експеримената

Категорија техничког решења (према одредбама *Правилника* садржаним у НАПОМЕНИ*):

M85 - Прототип

За кога је решење рађено и у оквиру ког пројекта МНТР

Решење је урађено за Градску управу за заштиту животне средине града Новог Сада.
У оквиру пројекта TR18043: Прорачун, визуелизација и мониторинг електромагнетских поља.

Ко решење користи тј. ко је прихватио –примењује решење

Техничко решење користи Завод за експерименталну онкологију на Институту за онкологију Војводине у Сремској Каменици, Управник Завода за експерименталну онкологију др Гордана Богдановић.

Година када је решење урађено:

2010

Како су резултати верификовани (од стране кога тела)

Верификација резултата је извршена од стране:

- Комисије за Техничка решења Департамента за Енергетику, електронику и телекомуникације, Факултета техничких наука у Новом Саду,
- Научно-наставног већа Факултета техничких наука у Новом Саду,
- Овлашћеног лица корисника.

На који начин се резултати користе

Реализовано Техничко решење представља извор за генерисање магнетског поља контролисаног интензитета, који је предвиђен за постављање у инкубатор. Користи се у биомагнетским експериментима у којима се ткива или ћелијске културе излажу хомогеном магнетском пољу контролисаног интензитета. Својства прототипа су документована, написано је упутство за коришћење прототипа и одговорно лице је обучено за постављање, укључење и контролу рада прототипа.

Област на коју се техничко решење односи

Енергетика, унапређење квалитета животне средине, мерење магнетског поља, електромагнетска компатибилност.

Проблем који се техничким решењем решава

Техничко решење служи за *in vitro* експерименте који испитују могући утицај магнетског поља индустријске фреквенције на ткива и ћелије. Поља индустријске фреквенције (50 Hz) најчешћа су у људском окружењу. Техничко решење је развијено управо за ову фреквенцију.

Стање решености тог проблема у свету

Последњих година појавио се велики број студија које испитују да ли постоји потенцијални ризик излагања људи електромагнетском пољу.

У свету и у Европској унији постоји низ различитих реализација уређаја за изучавање утицаја магнетског поља индустријске фреквенције на биолошка ткива. Историјски, Хелмхолцови калемови или пар квадратних завојака су били коришћени за генерисање познате вредности приближно хомогеног магнетског поља у релативно малој запремини. Због потребе за већим запреминама приближно хомогеног поља у биолошким експериментима, број група завојака се повећао. Постојећа решења у литератури обухватају системе намотаја са по две, три, четири и пет група завојака [3], [4]. Постоје и решења у којима су намотаји за генерисање поља постављени у кутију од титанијума (нпр. [5]), али таква решења су скупа.

Сва потенцијална решења зависе од димензија инкубатора, и пре свега од односа дужине, ширине и висине страница комора инкубатора. Универзално решење не постоји када се користе намотаји без оклопа, јер осим што су различитих димензија, коморе инкубатора су израђене од различитих врста материјала.

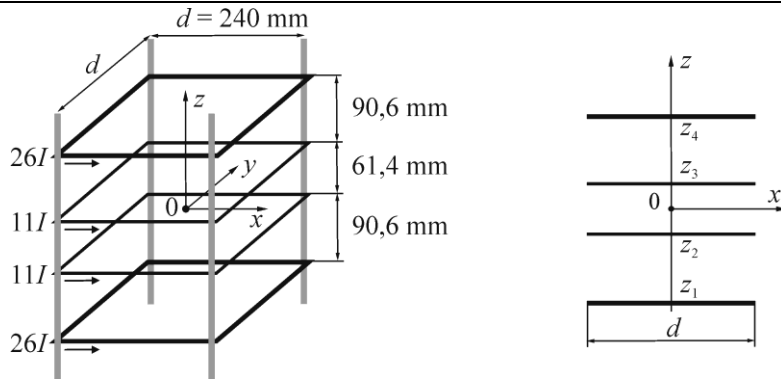
За потребе биоманетских експеримената услови излагања узорака морају бити контролисани и прецизно дефинисани, јер само у том случају експерименти се могу поновити. За прецизан опис карактеристика магнетског поља којем се излаже биолошки материјал, морају се урадити опсежна мерења са прецизном мерном опремом.

Објашњење суштине техничког решења и детаљан опис са карактеристикама, укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже

Uvod

Техничко решење представља прототип система за генерисање хомогеног магнетског поља учестаности 50Hz. Систем за генерисање поља мора да се постави у комору инкубатора, чије су димензије 30cm×30cm×35cm. Како је систем намотаја део апаратуре за извођење биоманетских експеримената, неопходно је да магнетско поље буде познатог интензитета. Систем намотаја смештен у инкубатор треба да обезбеди вредности поља од 40μT, што је референтни гранични ниво за становништво на 50Hz у Републици Србији [1] и 100μT, што је референтни гранични ниво за становништво на 50Hz на основу Препоруке Европске Уније [2].

Realizovan sistem namotaja, prikazan na Sl. 1., u velikoj meri odgovara Merritt-ovom sistemu sa 4 namotaja [3], [4] za vrednost $d = 240\text{mm}$. Svi namotaji su istih dimenzija, ali se razlikuju po broju zavojaka. Dva spoljašnja namotaja imaju po 26 zavojaka, a dva unutrašnja po 11 zavojaka. Sistem namotaja je postavljen na ram od drveta, bez ijednog metalnog elementa.



Sl. 1. Dimenzije Merritt-ovog sistema sa 4 namotaja za $d = 240$ mm.

Pozicije namotaja, u odnosu na prikazan koordinatni sistem, date su u Tab. 1.

Tab. 1. Pozicije namotaja u Merritt-ovom sistemu sa 4 namotaja za $d = 240$ mm.

Merritt, $d = 240$ mm	broj zavoja
$z_1 = -z_4 = -0,5055d = -121,32$ mm	$N_1 = N_4 = 26$
$z_2 = -z_3 = -0,1281d = -30,744$ mm	$N_2 = N_3 = 11$

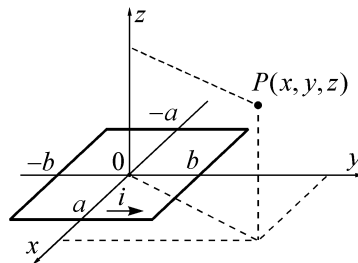
Vektor magnetske indukcije je prvo određen analitički, a zatim i simulacijom korišćenjem metode konačnih elemenata i programskog paketa COMSOL Multiphysics [6]. Na osnovu proračuna projektovan je i realizovan izvor za generisanje magnetskog polja, koji obuhvata sistem namotaja i napajanje. Rezultati proračuna su upoređeni sa vrednostima koje su dobijene merenjem. Karakteristike izvora magnetskog polja su identifikovane i opisane.

Teorijski proračun

U vazduhu, u odsustvu provodnika i magnetskih materijala, vektor magnetske indukcije u proizvoljnoj tački prostora može da se odredi primenom Bio-Savarovog zakona. Za jedan pravougaoni zavojak, čije su dužine stranica $2a$ i $2b$, kao na slici Sl. 2, komponente vektora magnetske indukcije u tački $P(x, y, z)$ jednake su [7]

$$B_x = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \sum_{k=1}^4 \frac{(-1)^{k+1} z}{r_k (r_k + d_k)}, \quad B_y = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \sum_{k=1}^4 \frac{(-1)^{k+1} z}{r_k (r_k + c_k)}, \quad B_z = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \sum_{k=1}^4 (-1)^k \left(\frac{c_k}{r_k (r_k + d_k)} + \frac{d_k}{r_k (r_k + c_k)} \right), \quad (1)$$

gde su $c_1 = c_4 = x + a$, $c_2 = c_3 = x - a$, $d_1 = d_2 = y + b$, $d_3 = d_4 = y - b$ i $r_i = \sqrt{c_i^2 + d_i^2 + z^2}$.



Sl. 2. Geometrija pravougaonog zavoja.

Izraz za vektor magnetske indukcije u slučaju više namotaja dobija se korišćenjem teoreme superpozicije, i zamenom z sa $(z - z_i)$, gde z_i određuje poziciju i -tog namotaja. Za realizovan sistem namotaja je $a = b = d/2 = 120$ mm.

S obzirom da je struja u svim namotajima u fazi, vektor magnetske indukcije je linijski polarizovan vektor. Namotaji su motani u istom smeru i povezani redno, tako da su efektivne vrednosti z -komponente vektora magnetske indukcije svih zavoja u tačkama duž ose sistema (z -ose) istog smera i efektivna vrednost z -komponente vektora magnetske indukcije celog sistema namotaja može da se izračuna korišćenjem izraza

$$B_z(z) = \frac{\mu_0 I 2\sqrt{2}}{\pi d} \sum_{i=1}^4 \frac{N_i}{(1 + 4(z - z_i)^2 / d^2) \sqrt{1 + 2(z - z_i)^2 / d^2}}. \quad (2)$$

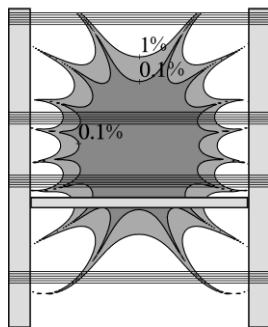
Intenzitet vektora magnetske indukcije u centru sistema, označen sa B_0 , ima samo z – komponentu. Za $d = 240\text{ mm}$, veza između B_0 i jačine struje u namotajima glasi

$$B_0 [\mu\text{T}] = 194,4 I [\text{A}]. \quad (3)$$

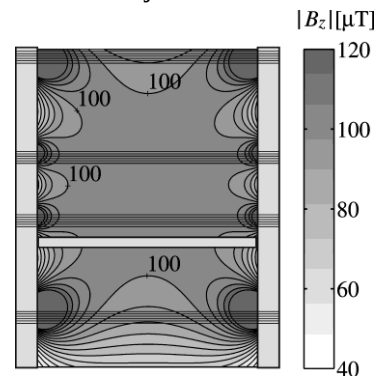
Osim kontrolisanog intenziteta polja, zahtev korisnika se odnosio i na veličinu zone homogenosti. Homogenost polja, u , unutar sistema, može da se definiše kao

$$u = |B_z - B_0| / B_0. \quad (4)$$

Sa Sl. 3 može da se uoči oblast u središnjem delu sistema, u kojoj je intenzitet magnetskog polja konstantan. Konturne linije pokazuju odstupanja polja u odnosu na homogeno polje od 0,1% i 1%, definisana izrazom (4). Sl. 4 prikazuje efektivnu vrednost z – komponente vektora magnetske indukcije u ravni koja prolazi kroz centar sistema i upravna je na namotaje.



Sl. 3. Konturne linije prikazuju odstupanja polja u odnosu na homogeno polje od 0,1% i 1%.



Sl. 4. Efektivna vrednost B_z u ravni koja prolazi kroz centar sistema, $I = 0,52\text{ A}$.

Rezultati FEM simulacija

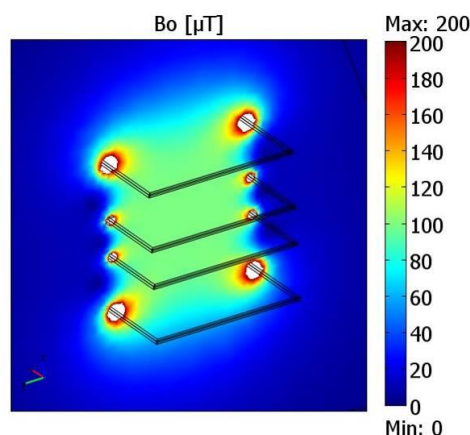
Vektor magnetske indukcije za sistem namotaja sa Sl. 1 određen je i korišćenjem metode konačnih elemenata i programskog paketa COMSOL Multiphysics [6].

Veza između vektora magnetske indukcije, $\vec{B}$, i magnetskog vektor potencijala, $\vec{A}$, data je izrazom $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$. Kompleksni magnetski vektor potencijal, $\vec{A}$, zadovoljava jednačinu

$$(j\omega\sigma - \omega^2\varepsilon)\vec{A} + \nabla \times (\mu\nabla \times \vec{A}) = \vec{J}, \quad (5)$$

gde su μ permeabilnost, ε permitivnost, σ specifična provodnost materijala u kome se uspostavlja magnetsko polje, a $\vec{J}$ kompleksni vektor spoljašnje gustine struje.

Određivanje magnetskog vektor potencijala u programskom paketu COMSOL se sastoji iz nekoliko koraka: crtanje geometrije sistema, definisanje početnih i graničnih uslova, pravljenje mreže i rešavanje sistema jednačina dobijenih primenom FEM. U našem slučaju, korišćen je AC/DC Modul "Quasi-statics magnetic field" sa graničnim uslovom "Magnetic insulation", opisanim izrazom $\vec{n} \times \vec{A} = 0$. Rezultati dobijeni korišćenjem FEM su prikazani na Sl. 5. FEM simulacijom izračunato je da je $B_0 = 97,04\mu\text{T}$ za $I = 0,52\text{ A}$.

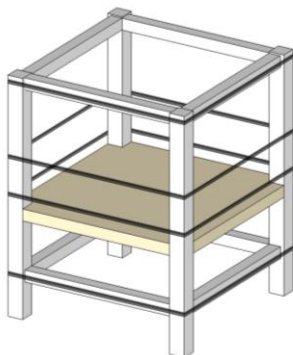


Sl. 5. Efektivna vrednost z -komponente vektora magnetske indukcije u ravni koja prolazi kroz centar sistema i upravna je na namotaje, $I = 0,52\text{ A}$, računato u COMSOL Multiphysics.

Realizacija sistema namotaja i napajanja

Realizacija sistema namotaja je izvedena u skladu sa teorijski izračunatim vrednostima, koji su izvedeni pod pretpostavkom da se sistem nalazi u vazduhu, u odsustvu provodnih tela.

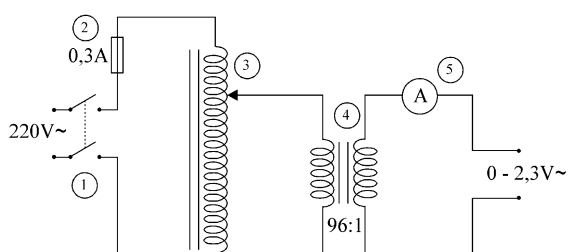
Na Sl. 6 su prikazane skica i fotografija drvenog rama sa postoljem i sistemom namotaja. Svi spojevi su ostvareni lepljenjem. Postolje je, takođe, napravljeno od drveta uz mogućnost jednostavnog postavljanja i uklanjanja po potrebi. Na postolju su napravljeni otvori koji omogućavaju bolju cirkulaciju vazduha. S obzirom da maksimalan intenzitet vektora magnetske indukcije u centru sistema treba da bude $100\mu\text{T}$ i više, za namotaje je odabrana izolovana bakarna žica prečnika 1mm.



Sl. 6. Skica i fotografija drvenog rama sa postoljem i sistemom namotaja.

Na Sl. 7 su prikazani električna šema i fotografija uređaja za napajanje. Uređaj za napajanje je realizovan kao generator vremenski promenljivog napona industrijske frekvencije, efektivne vrednosti 0-2,3V. Osnovni delovi uređaja su auto-transformator, transformator i ampermetar. Uloga auto-transformatora je regulacija napona u opsegu 0-220V. Uloga transformatora je da smanji napon i da na izlazu uređaja za napajanje obezbedi kontinualnu promenu napona u opsegu 0-2,3V. Ampermetar vrši merenje efektivne vrednosti jačine struje. Osim osnovnih delova, uređaj poseduje prekidač i osigurač koji služe za siguran i bezbedan rad uređaja.

Na prednjoj strani uređaja za napajanje nalaze se dugme auto-transformatora za regulaciju napona, ampermetar, mrežni prekidač, i priključci za povezivanje sistema namotaja. Na zadnjoj strani uređaja nalaze se osigurač i priključak na gradsku mrežu napona 220V~. Dimenzije uređaja su 230mm×230mm×120mm.



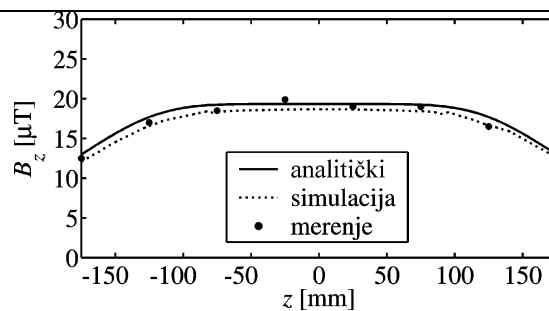
Sl. 7. Uređaj za napajanje: 1. mrežni prekidač, 2. osigurač, 3. auto-transformator, 4. transformator, 5. ampermetar.

Merenja vektora magnetske indukcije

Nakon realizacije sistema namotaja izvršena su merenja magnetskog polja unutar sistema namotaja u vazduhu i inkubatoru. Merenja su urađena u više navrata: 03. 02. 2010. god., 09. 02. 2010. god., 10. 02. 2010. god., 18. 02. 2010. god. i 29. 03. 2010. god. Merenja vektora magnetske indukcije mogu da se podele u tri grupe:

- Prva grupa: merenja kada se sistem namotaja nalazi u vazduhu.
- Druga grupa: merenja vektora magnetske indukcije u praznom inkubatoru.
- Treća grupa: merenja kada se sistem namotaja nalazi u inkubatoru.

Na Sl. 8 prikazano je poređenje efektivnih vrednosti z -komponente vektora magnetske indukcije duž ose (z -ose) sistema namotaja kada se sistem nalazi u vazduhu dobijenih analitički, simulacijom i merenjem. Rezultati pokazuju dobro slaganje proračunatih i izmerenih vrednosti.

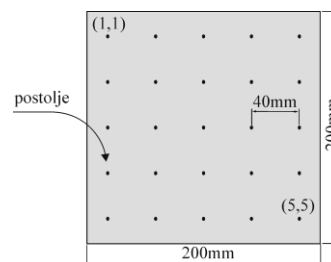


Sl. 8. Promena efektivna vrednosti B_z - duž ose (z-ose) sistema namotaja, $I=100\text{mA}$.

U Tab. 2 su prikazane izmerene efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije u ravni koja je paralelna ravni namotaja i nalazi se malo ispod centra namotaja (ravan postolja). Merenje je izvršeno u 25 tačaka. Rastojanje susednih tačaka iznosilo je 40mm, a krajnje tačke se nalaze na rastojanju 20mm od ivice postolja. Za merenje polja u ravni postolja i duž ose namotaja korišćen Gausmetar Bell 640 [9]. Rezultati u Tab. 2 pokazuju da je na postolju, u okolini centra namotaja, efektivna vrednost z -komponente vektora magnetske indukcije približno konstantna.

Tab. 2. Efektivna vrednost z -komponente vektora magnetske indukcije u ravni koja je paralelna ravni namotaja i nalazi se malo ispod centra namotaja, $I=100\text{mA}$.

$B_z [\mu\text{T}]$	1	2	3	4	5
1	19,0	19,0	18,5	18,5	19,0
2	19,0	18,5	18,5	18,5	19,0
3	19,0	18,5	18,5	19,0	19,0
4	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
5	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0



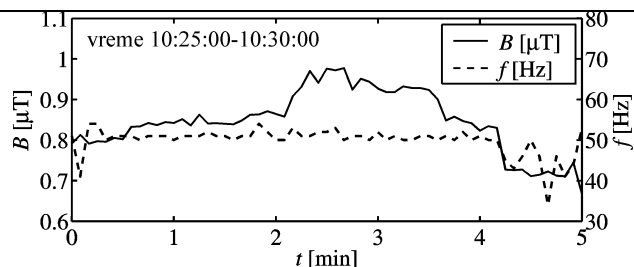
Na Sl. 9 prikazano je merenje vektora magnetske indukcije unutar sistema namotaja, kada se sistem nalazi u vazduhu, korišćenjem mernog sistema EFA-300.



Sl. 9. Merenje vektora magnetske indukcije korišćenjem mernog sistema EFA-300.

Merenjem je potvrđena linearna veza između jačine struje kroz namotaje i intenziteta vektora magnetske indukcije. Srednja vrednost količnika B_{mereno}/I iznosi 197,6 što se dobro slaže sa teorijskom vrednošću $B_0/I = 194,4$, kada se sistem namotaja nalazi u vazduhu.

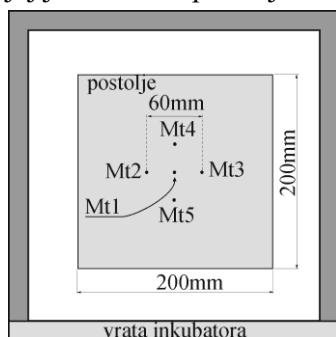
Podaci o inkubatoru, kao što su materijal od kog je načinjen, položaj grejača i elektronike, ne postoje. Zbog toga je bilo potrebno izvršiti merenja vektora magnetske indukcije u praznom inkubatoru. Na ovu važnu činjenicu, ukazuje i rad [10] iz 2009. god. Iako su u [10] zabeležene i veoma visoke vrednosti vektora magnetske indukcije u praznim inkubatorima (u pojedinim trenucima preko $10\mu\text{T}$), u većini inkubatora vrednosti nisu prelazile $3\mu\text{T}$. U tom smislu, rezultati naših merenja u kojima su vrednosti bile $0,2 - 2,4\mu\text{T}$, ukazuju da su vrednosti polja unutar praznog inkubatora na Institutu u Sremskoj Kamenici tipične. Uočena promena polja u praznom inkubatoru utiče na stepen homogenosti polja kada se namotaji postave u inkubator.



Sl. 10. Širokopojasno merenje, 5Hz do 2kHz vektora magnetske indukcije u centru praznog inkubatora, mereno 18. 02. 2010.

Merenje intenziteta vektora magnetske indukcije u centru praznog inkubatora izvršeno je u nekoliko navrata. Meren je spektar, urađeno je širokopojasno merenje, mereni su harmonici, kao i promena efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije tokom vremena. Na Sl. 10 je prikazan jedan primer rezultata širokopojasnog merenja. Najveća vrednost izmerena u toku ovog merenja, koja je trajala 5 minuta, bila je manja od $1\mu\text{T}$. Merenja ukazuju da je učestanost dominantne komponente vektora magnetske indukcije u praznom inkubatoru oko 50Hz.

Merenja polja unutar sistema namotaja, kada se sistem nalazi u inkubatoru, urađena su u dva navrata, 10. 02. i 29. 03. 2010. god. na Institutu za onkologiju u Sremskoj Kamenici. Merenja su izvršena u pet mernih tačaka u ravni koja je paralelna ravni postolja: Mt1-u centru sistema, Mt2-3cm levo od centra (gledano u inkubator), Mt3-3cm desno od centra, Mt4-3cm iza centra (dalje od vrata inkubatora) i Mt5-3cm ispred centra (bliže vratima inkubatora). Položaj mernih tačaka ilustrovan je na Sl. 11, na kojoj je označen i položaj vrata inkubatora.



Sl. 11. Merne tačke u ravni paralelnoj ravni postolja.

Na Sl. 12 je prikazano ispitivanje vektora magnetske indukcije unutar sistema namotaja sa Gausmetrom Bell 640. Efektivna vrednost jačine struje u kolu merena je ampermetrom.



Sl. 12. Merenje vektora magnetske indukcije u sistemu namotaja korišćenjem Gausmetra Bell 640,

U Tab. 3 su prikazani rezultati merenja vektora magnetske indukcije unutar sistema namotaja, kada se sistem nalazi u inkubatoru, pri jačini struje $I = 0,5\text{A}$ kroz namotaje. Za ova merenja je korišćen Gausmetar Bell 640 i merena je z -komponenta u ravni postolja u pet gore navedenih mernih tačaka. Samo je merna tačka Mt2 bila dostupna kroz otvor na vrhu inkubatora. Merenja u ostalim tačkama su urađena sa otvorenim vratima inkubatora.

Tab. 3. Rezultati merenja efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije unutar sistema, u mernim tačkama Mt1-Mt5 za $I=0,5A$, mereno Gausmetrom Bell 640, 10. 02. 2010.

	Mt1	Mt2	Mt3	Mt4	Mt5
$B_z [\mu T]$	74,0	74,0	74,5	71,0	77,5

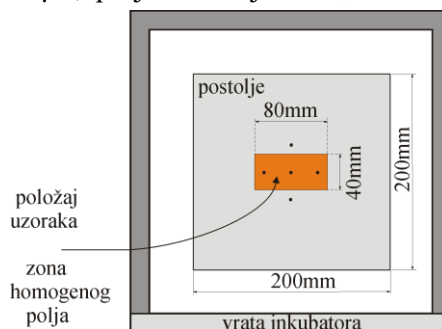
Ista merenja su ponovljena sa mernim sistemom EFA-300. U ovom slučaju merenja su urađena sa zatvorenim vratima inkubatora. Merena je z – komponente vektora magnetske indukcije u centru sistema namotaja u trajanju od 5 minuta, pri jačini struje od 0,7A. Tab. 4 sažeto prikazuje rezultate tih merenja; date su srednja, maksimalna i minimalna vrednost, kao i standardna devijacija za svaku mernu tačku.

Tab. 4. Rezultati merenja efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije unutar sistema, u mernim tačkama Mt1-Mt5 za $I=0,7A$, mereno mernim sistemom EFA-300, 29. 03. 2010.

B_z	Mt1	Mt2	Mt3	Mt4	Mt5
sr. vrednost	99,6 μT	99,0 μT	98,4 μT	95,9 μT	104,9 μT
maks. vrednost	99,9 μT	99,5 μT	98,7 μT	96,3 μT	105,2 μT
min. vrednost	99,1 μT	98,1 μT	97,9 μT	95,3 μT	104,2 μT
standardna dev.	182,7 nT	214,8 nT	177,6 nT	186,8 nT	188,1 nT

Iz Tab. 3 i Tab. 4, može da se uoči da su efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije po 3cm levo i desno od centra (Mt2 i Mt3) približno jednake efektivnoj vrednosti vektora magnetske indukcije u samom centru namotaja. Za preostale dve merne tačke (Mt4 i Mt5) može da se uoči da je polje u Mt4 (iza) manje od onog u centru, dok je polje u Mt5 (ispred) veće od onog u centru. Razlika intenziteta vektora magnetske indukcije u mernim tačkama Mt5 i Mt4 iznosi 10% intenziteta u centru sistema. Nesimetrija u efektivnoj vrednosti vektora magnetske indukcije iza i ispred centra sistema namotaja, posledica je nesimetrije samog inkubatora. Inkubator u svojoj unutrašnjosti ima pet strana (levo desno, gore dole, i nazad) koje su izrađene od jedne vrste materijala, i vrata koja su izrađena od druge vrste materijala. Rezultati merenja ukazuju na to da se uticaji ove dve vrste materijala na magnetsko polje bitno razlikuju.

Promena intenziteta vektora magnetske indukcije duž ose sistema namotaja ispitivana je Gausmetrom Bell 640. Pri tome su vrata inkubatora morala ostati otvorena, jer u suprotnom ove tačke nisu dostupne za merenje. U rasponu između dva centralna namotaja, duž ose sistema, zabeležene vrednosti su bile u rasponu 72 – 74 μT , pri jačini struje $I = 0,5A$.



Sl. 13. Zona zadovoljavajuće homogenosti u ravni koja se nalazi 3cm iznad ravni postolja.

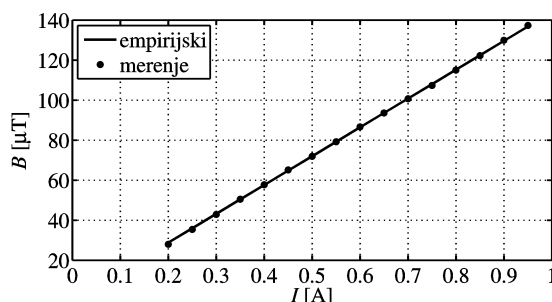
Ako se kao zona zadovoljavajuće homogenosti definiše prostor u kome intenzitet vektora magnetske indukcije ne varira više od 10% u odnosu na vrednost u tački Mt1 (u centru), zona zadovoljavajuće homogenosti obuhvata oblast označenu na Sl. 13. Zona je dovoljne veličine za postavljanje posuda sa uzorcima, čije su dimenzije 8cm×4cm×2cm. Posude treba postaviti što bliže centru sistema, pri čemu najduža stranica treba da stoji paralelno vratima. Osim toga, visina zone zadovoljavajuće homogenosti omogućava postavljanje najviše tri posude jednu na drugu.

Merenjem je utvrđena zavisnost efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije u centru sistema namotaja od efektivne vrednosti jačine struje u namotajima, kada se sistem nalazi u inkubatoru. Jačina struje je menjana u intervalu od 0,2A do 0,95A, sa korakom od 0,05A. Za svaku vrednost jačine struje, izvršeno je merenje efektivne vrednosti vektora magnetske indukcije u trajanju

od jedne minute. Na osnovu merenja, izvedena je empirijska formula

$$B = 144I, \quad (6)$$

gde je B efektivna vrednost vektora magnetske indukcije izražena u $[\mu\text{T}]$, a I efektivna vrednost jačine struje izražena u $[\text{A}]$. Iz izraza (6) može da se odredi efektivna vrednost vektora magnetske indukcije u centru sistema namotaja za očitane efektivne vrednosti jačine struje u namotajima. Na Sl. 14 je prikazan grafik zavisnosti B od I . Punom linijom je prikazana empirijska veza, a tačkama rezultati merenja.



Sl. 14. Efektivna vrednost vektora magnetske indukcije u centru sistema namotaja, kada se sistem nalazi u inkubatoru, u funkciji jačine struje u namotajima.

Zaključak

Tehničko rešenje predstavlja prototip sistema za generisanje homogenog magnetskog polja učestanosti 50Hz. Zbog polja koje postoji u praznom inkubatoru, minimalan intenzitet vektora magnetske indukcije pogodan za eksperimente iznosi $30\mu\text{T}$, što je preko deset puta više od najveće izmerene vrednosti u praznom inkubatoru. Najveća vrednosti intenziteta vektora magnetske indukcije unutar sistema namotaja, koja može da se dobije sa relizovanim uređajem za napajanje, iznosi $130\mu\text{T}$.

Merenjem je ustanovljena zavisnost intenziteta vektora magnetske indukcije u centru sistema namotaja, kada se sistem nalazi u inkubatoru, od jačine struje u namotajima. Zona zadovoljavajuće homogenosti polja (10%) dovoljne je veličine za postavljanje tri posude sa uzorcima dimenzija $8\text{cm} \times 4\text{cm} \times 2\text{cm}$. Pravac polja je vertikalna. Pomoću ovog tehničkog rešenja, za potrebe biomagnetskih eksperimenata, intenzitet vektora magnetske indukcije u inkubatoru na Institutu u Sremskoj Kamenici može se kontrolisano menjati u rasponu $40\mu\text{T} - 100\mu\text{T}$.

Reference

- [1] Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima, "Sl. glasnik RS" br. 104/2009, dec. 2009.
- [2] "Council Recommendation on the Limitation of Exposure of General Public to Electromagnetic Fields (0 to 300GHz)," Official Journal of the European Communities, 1999, L199/59.
- [3] J. L. Kirschvink, "Uniform magnetic fields and double-wrapped coil systems: Improved techniques for the design of bioelectromagnetic experiments", Bioelectromagnetics, Vol. 13, 1992, pp. 401-411.
- [4] R. Merritt, C. Purcell, G. Stroink, "Uniform magnetic field produced by three, four, and five square coils", Review of Scientific Instruments, Vol. 54, 1983, pp. 879-882.
- [5] J. Schuderer, W. Oesch, N. Felber, D. Spat, N. Kuster, "InVitro Exposure Apparatus for ELF Magnetic Fields," Bioelectromagnetics vol. 25, pp. 582-591, 2004.
- [6] COMSOL MULTIPHYSICS, CLS 3.5 documentation, 2008.
- [7] D. Herceg, A. Juhas, M. Milutinov, "A design of a four square coil system for a biomagnetic experiment," Facta, Series: Electronics and Energetics, vol. 22, no. 3, pp. 285-292, Dec., 2009.
- [8] Narda Safety Test Solutions, "EFA-200, EFA-300 Field Analyzers", <http://www.narda-sts.de>.
- [9] F. W. Bell, Inc, Gaussmeter model 640, Operating and maintenance manual, mart 1988.
- [10] K. H. Mild, J. Wilen, M. Mattsson, M. Simko, "Background ELF magnetic field in incubators: A factor of importance in cell culture work," Cell Biology International, vol. 33, pp. 755-757, 2009.

Како је реализован и где се примењује, односно које су могућности примене

Помоћу овог Техничког решења може се контролисано мењати интензитет вектора магнетске индукције у инкубатору. Услови излагања узорака магнетском пољу за потребе *in vitro* експеримената су идентификовани и описани. Реализовано Техничко решење има идентификовану зону хомогености са варијацијом интензитета испод 10% у односу на централну тачку инкубатора.

Описано Техничко решење користи се на Институту за онкологију у Сремској Каменици.

Могућа примена прототипа је и у калибрацији сензора за магнетско поље.

(Документација коју кандидати поднесу може садржати 5-10 страница, укључујући илустрације и техничке цртеже.)

Подносилац пријаве



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА



ДЕПАРТАМЕНТ ЗА
ЕНЕРГЕТИКУ
ЕЛЕКТРОНИКУ И
ТЕЛЕКОМУНИКАЦИЈЕ

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Телефон: 021 450-032, 021 485 2558, Факс: 021 4750 572
Рачуноводство: 021 6350 101, 021 485 2557, ПИБ: SR100724720
Жиро рачун: 870-1710666-12, www.deet.ftn.uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 022-22/396

Ваш број:

Датум: 1. децембар 2010. год.

На захтев проф. др Неде Пекарић-Нађ и Извештаја Комисије за техничка решења
Департамента за енергетику, електронику и телекомуникације број 7/10 од 1. децембра
2010. године, издаје се

УВЕРЕЊЕ О ПРИЗНАЊУ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Техничко решење:

Уређај за генерисање хомогеног магнетског поља контролисаног интензитета за потребе биомагнетских експеримената

аутори:

Анамарија Јухас, Миодраг Милутинов, Дејана Херцег, Мирослав Прша; Неда Пекарић-Нађ

испуњава све услове да буде признато као **прототип**, у складу са документом *Стандарди за изборе у звања, докторске дисертације и менторе докторских дисертација (део који се односи на број радова са SCI листе), и стандарди за техничка решења.*

Кратак опис техничког решења:

Уређај за генерисање хомогеног магнетског поља контролисаног интензитета за потребе биомагнетских експеримената је предвиђен да буде постављен у инкубатор и да служи за *in vitro* експерименте којима се испитује могућ утицај магнетског поља индустријских фреквенција на ткива и ћелије. Интензитет вектора магнетске индукције, у простору $8\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 2\text{ cm}$, може да се мења у границама од $40\text{ }\mu\text{T}$ до $100\text{ }\mu\text{T}$. Уређај се налази у употреби у Заводу за експерименталну онкологију на Институту за онкологију Војводине у Сремској Каменици.

Руководилац ДЕЕТ

проф. др Вељко Малбаша



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА



ДЕПАРТАМАН ЗА
ЕНЕРГЕТИКУ
ЕЛЕКТРОНИКУ И
ТЕЛЕКОМУНИКАЦИЈЕ

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Телефон: 021 450-032, 021 485 2558, Факс: 021 4750 572
Рачуноводство: 021 6350 101, 021 485 2557, ПИБ: SR100724720
Жиро рачун: 870-1710666-12, www.deet.ftn.uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАДЖМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 022-22/396
Ваш број:
Датум: 1. децембар 2010. год.

На захтев проф. др Неде Пекарић-Нађ и Извештаја Комисије за техничка решења
Департамана за енергетику, електронику и телекомуникације број 7/10 од 1. децембра
2010. године, издаје се

УВЕРЕЊЕ О ПРИЗНАЊУ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Техничко решење:

Уређај за генерисање хомогеног магнетског поља контролисаног интензитета за потребе биомагнетских експеримената

аутори:

Анамарија Јухас, Миодраг Милутинов, Дејана Херцег, Мирослав Прша; Неда Пекарић-Нађ

испуњава све услове да буде признато као **прототип**, у складу са документом *Стандарди за изборе у звања, докторске дисертације и менторе докторских дисертација (део који се односи на број радова са SCI листе)*, и стандарди за техничка решења.

Кратак опис техничког решења:

Уређај за генерисање хомогеног магнетског поља контролисаног интензитета за потребе биомагнетских експеримената је предвиђен да буде постављен у инкубатор и да служи за *in vitro* експерименте којима се испитује могућ утицај магнетског поља индустријских фреквенција на ткива и ћелије. Интензитет вектора магнетске индукције, у простору $8\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 2\text{ cm}$, може да се мења у границама од $40\text{ }\mu\text{T}$ до $100\text{ }\mu\text{T}$.
Уређај се налази у употреби у Заводу за експерименталну онкологију на Институту за онкологију Војводине у Сремској Каменици.

Руководилац ДЕЕТ

проф. др Вељко Малбаша

МИШЉЕЊЕ О ТЕХНИЧКОМ РЕШЕЊУ

Уређај за генерисање хомогеног магнетског поља контролисаног интензитета за потребе биомагнетских експеримената

Аутори,
Анамарија Јухас, Миодраг Милутинов, Дејана Херцег,
Мирослав Прша, Неда Пекарић-Нађ

На основу приложене документације, мишљења сам да израђени

Уређај за генерисање хомогеног магнетског поља контролисаног интензитета за потребе биомагнетских експеримената

Може да се сврста у техничко и развојно решење као

М85 – ПРОТОТИП

Последњих година појавио се велики број студија које испитују да ли постоји потенцијални ризик излагања људи електромагнетском пољу. Поља индустријске фреквенције (50 Hz) најчешћа су у људском окружењу. Техничко решење је развијено управо за ову фреквенцију. Техничко решење служи за *in vitro* студије које испитују могући утицај магнетског поља на ткива и ћелије.

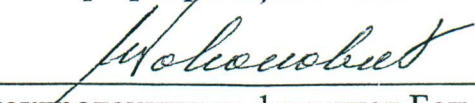
Интеграцијом Меритових калемова у постојећи инкубатор реализован је прототип новог уређаја. Уз помоћ мерења најмодернијом опремом прецизно су дефинисани услови излагања експерименталних узорака магнетском пољу. Део Техничког решења односи се и на мапирање и идентификацију магнетског поља унутар празног инкубатора, који су важни, с обзиром на повремену рад грејача. Техничко решење омогућило је мапирање запреминске расподеле поља у простору у унутрашњости инкубатора, који је начињен од непознатог материјала. На тај начин остварена је уштеда јер није било потребно набављати нови инкубатор. Реализовано Техничко решење има идентификовану зону задовољавајуће хомогености са варијацијом интензитета испод 10% у односу на централну тачку инкубатора.

Помоћу овог техничког решења може се контролисано мењати интензитет вектора магнетске индукције у инкубатору. Услови излагања узорака магнетском пољу за потребе *in vitro* студија су идентификовани и описани.

Бања Лука ,

28. 08. 2010. год.

Проф. др Мило Гаћановић


Електротехнички факултет Бања Лука

МИШЉЕЊЕ О ТЕХНИЧКОМ РЕШЕЊУ

Уређај за генерисање хомогеног магнетског поља контролисаног интензитета за потребе биомагнетских експеримената

Аутори,
Анамарија Јухас, Миодраг Милутинов, Дејана Херцег,
Мирослав Прша, Неда Пекарић-Нађ

На основу приложене документације, мишљења сам да израђени

Уређај за генерисање хомогеног магнетског поља контролисаног интензитета за потребе биомагнетских експеримената

Може да се сврста у Техничко и развојно решење као

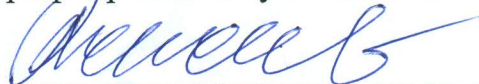
M85 – ПРОТОТИП

У Извештају о Техничком решењу је приказан уређај за генерисање хомогеног магнетског поља за биолошке експерименте, са дозвољеним одступањима интензитета испод 10% у зони од интереса. На тржишту Србије не постоји могућност куповине извора хомогеног магнетског поља. У оквиру овог Техничког решења реализован је извор хомогеног магнетског поља захтеваног интензитета и захтеваних димензија. Димензије извора су диктиране димензијама инкубатора за ткива и налазе се унутар коцке ивице 0.3м. Захтевани интензитети вектора магнетске индукције који треба да се остваре извором диктирани су међународним (100 μT) и националним стандардима (40 μT) за границе излагања људи нејонизујућим зрачењима. Постојећа решења у литератури обухватају системе намотаја са по две, три, четири и пет група завојака. Ово Техничко решење је базирано на Меритовим калемовима са четири групе завојака, што представља добро и једноставно решење. Меритови калемови су пројектовани тако да дају хомогено поље у ваздуху, а затим су уграђени унутар инкубатора. У оквиру Техничког решења ново поље је квантификовано и мапирано. Дефинисана је нова зона хомогеног поља за конкретан инкубатор. Мерењем уз помоћ врхунских инструмената је установљена зависност интензитета вектора магнетске индукције од интензитета струје. Тако се помоћу овог Техничког решења може комфортно контролисати и мењати интензитет вектора магнетске индукције у инкубатору, за потребе различитих биомагнетских експеримената.

У Нишу,

05. 09. 2010.год.

Проф. др Славољуб Алексић



Електронски факултет Ниш

**Изјава корисника техничког решења - Уређај за генерисање
хомогеног магнетског поља контролисаног интензитета
за потребе биоманетских експеримената**

Градска управа за заштиту животне средине града Новог Сада је наручилац Техничког решења под називом "Уређај за генерисање хомогеног магнетског поља контролисаног интензитета за потребе биоманетских експеримената" чији су аутори Анамарија Јухас, Миодраг Милутнов, Дејана Херцег, Мирослав Прша и Неда Пекарић-Нађ.

Техничко решење је реализовано и користи се за *in vitro* експерименте у Заводу за експерименталну онкологију на Институту за онкологију Војводине у Сремској Каменици.

Нови Сад,

13.09.2010. год.



др Александра Јовановић-Галовић

Начелник Градске управе за заштиту
животне средине града Новог Сада

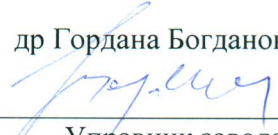
**Изјава корисника техничког решења - Уређај за генерисање
хомогеног магнетског поља контролисаног интензитета
за потребе биоманетских експеримената**

Завод за експерименталну онкологију на Институту за онкологију Војводине у Сремској Каменици користи Техничко решење под називом "Уређај за генерисање хомогеног магнетског поља контролисаног интензитета за потребе биоманетских експеримената" чији су аутори Анамарија Јухас, Миодраг Милутнов, Дејана Херцег, Мирослав Прша и Неда Пекарић-Нађ. Техничко решење се користи за *in vitro* студије које испитују могући утицај магнетског поља индустријске фреквенције (50Hz) на нормалне и туморске ћелије у култури.

Сремска Каменица,

13.09.2010. год.

др Гордана Богдановић


Управник завода за
експерименталну онкологију