



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta zdravotnických studií ■

Ověření intenzity a dynamiky 3D magnetického pole na vybraném magnetoterapeutickém přístroji

Bakalářská práce

Studijní program: B3944 – Biomedicínská technika
Studijní obor: 3901R032 – Biomedicínská technika
Autor práce: **Lucie Čermáková**
Vedoucí práce: prof. Ing. Aleš Richter, CSc.





3D magnetic field intensity and dynamics verification of selected magnetic therapy device

Bachelor thesis

Study programme: B3944 – Biomedical Technology
Study branch: 3901R032 – Biomedical Technology
Author: **Lucie Čermáková**
Supervisor: prof. Ing. Aleš Richter, CSc.



Tento list nahradte
originálem zadání.

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Anotace

Magnetoterapie je fyzikální terapie využívající nízkofrekvenční pulzní magnetické pole. Cílem práce je popsat a následně ověřit vlastnosti magnetického pole různých aplikátorů magnetoterapeutického přístroje.

Klíčová slova: magnetoterapeutický přístroj, nízkofrekvenční pulzní magnetické pole, magnetoterapie, aplikátory

Annotation

Magnetotherapy is a type of physical therapy using low-frequency pulse magnetic field. The aim of the thesis is to describe and subsequently verify magnetic field properties of three selected applicators of the magnetic therapy device.

Keywords: magnetic therapy device, extremely low-frequency magnetic field, magnetotherapy, applicators

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce panu prof. Ing. Aleši Richterovi, CSc. za jeho věcné připomínky a rady, neméně pak za trpělivost při spolupráci. Dále děkuji Ing. Miroslavu Novákovi, Ph.D za pomoc s realizací měření a vysvětlení některých technických souvislostí k problematice.

Obsah

Seznam použitých symbolů	11
Seznam použitých zkratk	12
I Úvod.....	13
II Teoretická část	14
2. Magnetické pole ve vztahu k biofyzice	14
2.1. Historie magnetoterapie.....	14
2.2. Elektromagnetické pole	14
2.3. Veličiny a vztahy	16
2.4. Elektromagnetické vlastnosti živých organismů, tkání a tělních tekutin	18
2.5. Vliv magnetického pole na živé organismy	19
2.6. Přehled využití magnetického pole v diagnostice	22
2.7. Nízkofrekvenční pulzní magnetoterapie.....	23
III Výzkumná část.....	27
3. Pulzní magnetoterapeutický přístroj	27
3.1. Cíle	27
3.2. Metodika výzkumu	27
3.3. Verifikace magnetického pole vybraných typů aplikátorů.....	41
3.4. Analýza.....	43
IV Diskuze	46
V Návrh doporučení pro praxi.....	48
VI Závěr	49
Seznam použité literatury	50
Seznam použitých obrázků	52
Seznam příloh	53

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Význam symbolu a jednotky
Q	[C]	elektrický náboj [coulomb]
I	[A]	elektrický proud [ampér]
U	[V]	elektrické napětí [volt]
u_i	[V]	elektromotorické napětí [volt]
B	[T]	magnetická indukce [tesla]
E	[V·m ⁻¹]	elektrická intenzita [volt/metr]
J	[A·m ²]	proudová hustota [ampér/metr čtverečný]
H	[A·m]	magnetická intenzita
Γ	[S·m ⁻³]	vodivost [siemens/metr]
ε	[F·m ⁻¹]	permitivita [farad/metr]
Φ	[Wb]	magnetický tok [weber]
μ		magnetická permeabilita
W	[J·m ⁻³]	hustota absorbované energie [joule/metr krychlový]
W	[J]	celková hustota absorbované energie [joule]
P	[W]	výkon [watt]
F	[Hz]	frekvence [hertz]
T	[s]	čas [sekunda]
L	[m]	délka [metr]
V	[m·s ⁻¹]	rychlost [metr/sekunda]
N		počet závitů
%		procento
μ		mikro
°C		Celsův stupeň
M		mili
M		mega

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
EMP	elektromagnetické pole
MP	magnetické pole
EP	elektrické pole
DNA	kyselina deoxyribonukleová
NPMP	nízkofrekvenční pulzní magnetické pole
WHO	Světová zdravotnická organizace
MRI	magnetická rezonance
MEG	magnetoencefalografie
SQUID	supravodivý kvantový magnetometr
MCG	magnetokardiografie
MMG	magnetomyografie
EEG	elektroencefalografie
UZ	ultrazvuk
PET	pozitronová emisní tomografie
Fe ₃ O ₄	oxid železno-železitý (magnetit)
LED	light-emitting diode – světelná dioda
TBC	tuberkulóza
ISCHS	ischemická choroba srdeční
Ca ²⁺	vápenaté ionty
RF	radiofrekvenční
DMO	dětská mozková obrna
ČLK	česká lékařská komora
CSV	hodnoty oddělené čárkami
FM	Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
TUL	Technická univerzita v Liberci

I Úvod

Využití magnetického pole k terapeutickým účelům je stále předmětem zkoumání, které přináší nové pohledy. Problematika rozděluje lékaře a biofyziky na dvě skupiny. Ta první se magnetoterapie zastává hlavně pro její příznivé účinky, které subjektivně pociťují samotní pacienti. Druhá skupina považuje magnetoterapii za metodu alternativní medicíny, která připisuje magnetickému poli terapeutické účinky, ale ty jsou ve stávajících podmínkách užívání obtížné prokázat. Z tohoto důvodu pak podle skeptiků magnetoterapie nemá na poli moderní medicíny své místo, protože spíše než terapeutickým zázrakem se jedná o dílo marketingu, které se těší z placebo efektu.

Cílem práce je představit magnetoterapeutický přístroj využívaný pro magnetoterapii a ověřit vlastnosti pole z něj vycházejícího. Pro pochopení problému práce představí elektromagnetické pole s jeho složkami, interakci elektromagnetického pole s lidským organismem, jeho užití v medicíně a současný stav magnetoterapie.

Na problematiku budeme nahlížet především z technicko-fyzikálního pohledu. Simplifikované pokusy a jejich měření osvědčí teoretické znalosti a pomohou dokreslit problematiku reálné situace. Aplikační dopad práce, tedy otázku, zda tento druh terapie je účinný, či nikoliv, přesahuje rámec bakalářské práce.

II Teoretická část

2. Magnetické pole ve vztahu k biofyzice

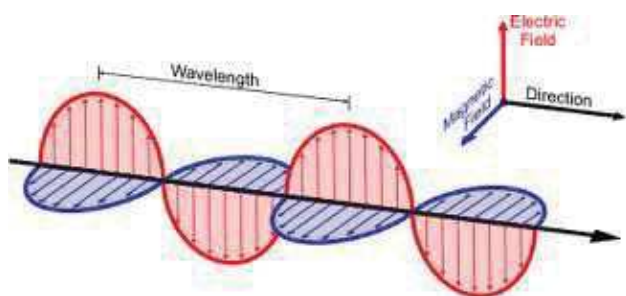
2.1. Historie magnetoterapie

Využití magnetů k léčbě sahá historicky až do období 460–377 př. n. l., kdy Hippokrates, nejslavnější lékař starověku, přikládal na bolestivá místa magnetovec (Fe_3O_4). Jak dokládají zmínky z roku 200 př. n. l., účinky magnetické rudy znali i staří Číňané. Léčebný účinek magnetů měla pocítit i britská královna Alžběta I., když se lékař a fyzik Sir William Gilbert snažil zmírnit její artritidu.

V ČR se začala magnetoterapie dostávat do povědomí lékařů především od 80. let minulého století, a to díky MUDr. Jiřímu Chvojkovi a MUDr. Jiřímu Jeřábkovi. Jako léčebná metoda byla uznána v roce 1989.

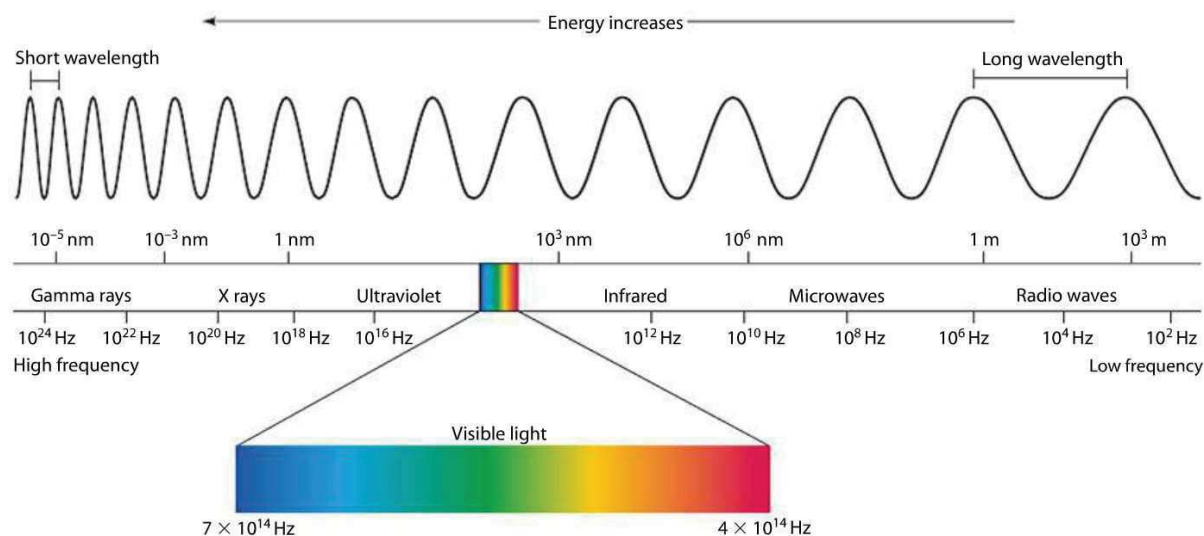
2.2. Elektromagnetické pole

EMP je složeno ze dvou složek – elektrické a magnetické. Jednotlivé složky od sebe nelze jednoznačně oddělovat. Pohybem elektrického pole vzniká pole magnetické a naopak. EMP je vektorové pole, rozložené v prostoru, v čase stále stejné – stacionární nebo v čase se měnící – nestacionární (dynamické). Z toho důvodu jsou veličiny popisující EMP obecně funkcemi času a tří geometrických souřadnic. EMP je charakterizováno vektory intenzity elektrického pole \mathbf{E} (x, y, z, t) a intenzity magnetického pole \mathbf{H} (x, y, z, t), které jsou blíže popsány v kapitole 2.3. Vektory intenzit jsou na sebe navzájem kolmé. Obr. 2.1 zobrazuje MP modře, EP červeně a směr průchodu pole černě. V případě, že o vlastnostech pole rozhoduje vektor intenzity \mathbf{E} , hovoříme o elektrickém poli. V opačném případě, kdy vlastnosti pole určuje vektor intenzity \mathbf{H} , hovoříme o poli magnetickém.



Obrázek 2.1 Elektrická a magnetické složka elektromagnetické pole (1)

EMP má vlnově korpuskulární charakter – chová se jako vlnění i jako hmotná částice. EMP je nositelem energie, má hmotnost a hybnost. Jako záření je vyjádřeno vlnovou délkou, frekvencí f , magnetickou a elektrickou intenzitou. Celé spektrum se dělí na ionizující a neionizující záření. Ionizující záření má okamžité destruktivní dopady na DNA. Délka vlny je přibližná s velikostí mikroskopické hmoty, ionizující záření tak nabourává chemické vazby hmoty. Ve vztahu k biofyzice nás zajímá především frekvence (nebo vlnová délka). Podle frekvence má EMP vliv na tkáň. Pokud postupujeme od nejnižší frekvence k nejvyšší, jsou účinky nízkých frekvencí na buněčné úrovni (RF vlny), vyšší mají tepelné hloubkové účinky (mikrovlny), dále tepelné povrchové účinky (oblast optiky) a účinky na atomární úrovni (rentgenové a gama záření). Ohledně magnetoterapie nás na obrázku 2.2 zajímá oblast vpravo – EMP s nízkými frekvencemi.



Obrázek 2.2 Elektromagnetické spektrum (2)

2.3. Veličiny a vztahy

Pro pochopení fyzikálního vlivu EMP na biologickou tkáň je potřeba si ujasnit základní veličiny a vztahy, kterými EMP popisujeme a pracujeme s ním. Pro přehlednost si veličiny a vztahy rozdělíme do čtyř kategorií – vektory, skaláry, materiálové konstanty a rovnice.

a) Vektory

Magnetická indukce B [T]

Charakterizuje magnetické pole a zároveň určuje silový účinek pole jako počet siločar procházejících jednotkovou plochou (1 m²). (1) (3) Výpočet B zobrazuje rovnice 1.1. Indikace silového účinku je hodnotícím parametrem při využití NPMP k terapii.

$$\vec{B} = \frac{F_M}{Q \cdot v \cdot \sin \alpha} [T] \quad (1.1)$$

Jednotku magnetické indukce nazýváme tesla. V praxi pracujeme především s jednotkami v mT. Vektorovou čarou magnetické indukce nazýváme magnetickou indukční čarou.

Intenzita elektrického pole E [V/m]

Charakterizuje elektrické pole, co se týče jeho směru a velikost. Je definována jako síla F působící na jednotkový náboj Q (vztah 1.2). (1) Jednotka pro intenzitu elektrického pole je V·m⁻¹. V lékařství vektor intenzity elektrického pole hodnotí účinky nízkofrekvenčních rádiových vln a stejnosměrných polí.

$$\vec{E} = \frac{F}{Q} [V \cdot m^{-1}] \quad (1.2)$$

Intenzita magnetického pole H [A/m]

Popisuje míru silových účinků magnetického pole. Je přímo úměrná protékajícímu proudu a nepřímo úměrná vzdálenosti od vodiče. Zahrnuje pouze vliv volných elektrických proudů. Vypočítáme ji ze vztahu 1.3.

$$\vec{H} = \frac{\mu}{B} [A \cdot m^{-1}] \quad (1.3)$$

Hustota elektrického proudu J [A/m²]

Popisuje rozložení elektrického proudu I s průřezu vodiče S . Má stejný směr jako směr pohybu kladného náboje Q^+ . Z biofyzikálního hlediska vektor proudové hustoty slouží jako parametr pro hodnocení účinků magnetoterapie.

b) Skaláry

Magnetický indukční tok Φ [Wb]

Charakterizuje velikost magnetické indukce protékající plochou.

Hustota absorbované energie w_t [J/m³]

Lokální parametr pro energetické ztráty v konkrétní tkáni.

Celkové množství absorbované energie W_m [J]

Celkové množství energie během magnetoterapie v daném objemu tkáně.

Špičkový výkon $P_{m \max}$

Maximální okamžitá hodnota výkonu v daném čase a objemu tkáně.

c) Materiálové konstanty

Vodivost tkáně γ_t [S/m]

Materiálová konstanta, která popisuje schopnost vedení elektrického proudu. Čím je konstanta větší, tím lépe proud vede. Má zásadní vliv na chování a rozložení MP v tkáni.

Magnetická permeabilita tkáně μ_t

Charakterizuje magnetické vlastnosti prostředí – tkáně, popisuje prostupnost.

Permitivita ϵ_t [F/m]

Charakterizuje elektrické vlastnosti prostředí – v našem případě vlastnosti tkáně.

d) Rovnice

Lorenzova síla

Silové účinky elektromagnetického pole působí na soustavu se popisují. Projevem Lorenzovy síly je buď pohyb, nebo stav určitého napětí v soustavě.

$$F = Q \cdot (E + v \cdot B) \quad (1.4)$$

Faradayův zákon elektromagnetické indukce

Indukované elektromotorické napětí u_i je dáno vztahem 1.5. Z toho vzorce se vyjádříma magnetický indukční tok 1.6

$$u_i = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.5)$$

$$\Phi = -\left(\frac{1}{N} \int u_i dt\right) \quad (1.6)$$

Výsledný vzorec jsme aplikovali na naměřené hodnoty. Hodnoty magnetického indučního toku jsme použili pro výpočet magnetické indukce ze vztahu 1.6 a dostadili do vztahu pro energetickou bilanci 1.7 a ten následně do vztahu 1.8 pro proudovou hustotu:

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (1.6)$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot r \cdot B \quad (1.7)$$

$$J = \gamma_t \cdot E \quad (1.8)$$

2.4. Elektromagnetické vlastnosti živých organismů, tkání a tělních tekutin

Jakákoliv hmota se skládá z atomů, které se dále dělí na elektrony, protony a neutrony. Elektrony, protony a neutrony mají spinové číslo – spin. Spin můžeme chápat jako rotaci částice kolem své osy. Spin udává částici magnetické pole.

Živá hmota má vlastnosti hmoty neživé, ale na vnější podněty reaguje rozdílně, navíc odlišně na nižší a vyšší úrovni. Rozdíly mezi živou a neživou hmotou jsou dány třemi hlavními charakteristickými rysy. Teoretické vyjádření živé látky je daleko složitější; závislost účinků na příčině je nelineární, a to i pro malé rozsahy měřených veličin. Dále živá hmota disponuje hysterezí a dalšími jevy, kterými jsou např. adaptace nebo trénink. Třetím rysem je nestálost všech vlastností – přirozený, daný vývojem, a vyvolaný vnějším činitelem. Řešení účinku polí se provádí na molekulární úrovni. Organismus je z hlediska elektromagnetického pole složitá heterogenní soustava. Buňky a mezibuněčné tekutiny tvořící tkáně mají rozdílné vlastnosti.

Tabulka 3.1 – Minimální, maximální a průměrná vodivost vybraných tkání s počtem jejich studií při působení frekvencí do 1 MHz (12)

	Počet studií	Vodivost [S/m]		
		Min	Max	Průměr
Krev	19	0,430	0,950	0,660
Stěny krevních cév	1	0,230	0,230	0,230
Kost spongiózní	3	0,002	0,006	0,004
Kost lamelární	3	0,036	0,172	0,082
Meniskus	1	1,010	1,010	1,010
Kůže	2	0,090	0,250	0,170
Podkožní tuk	8	0,024	0,170	0,057
Sval	18	0,020	0,670	0,355
Nervy	8	0,064	1,200	0,265

2.5. Vliv magnetického pole na živé organismy

Magnetické pole dělíme podle protékajícího proudu na statické, střídavé a pulzní, jejich účinky jsou popsány v podkapitolách. Další dělení je dle rozložení magnetického pole, a to na homogenní a nehomogenní. Uvědomění si, že magnetické pole nás obklopuje, i když třeba jen v malé míře, není zcela obvyklé. Na rozdíl třeba od vnímání zvuku či světla nemáme pro čítí magnetického pole žádné receptory. Z tabulky 2.5. vidíme, že magnetické pole Země je v porovnání s permanentními magnety nebo magnetickým polem uvnitř magnetické rezonance velmi slabé. Nicméně i takto malé pole je pro život na zemi klíčové. Vytvořit magnetické pole s intenzitou několika řádů, do kterého lze vložit lidské tělo, je energeticky, technicky a finančně velmi náročné. V praxi se využívá velkých elektromagnetů, které musí být chlazeny tekutým heliem. V opačném případě jsme schopni vzduchovými cívkami vytvářet pole slabá.

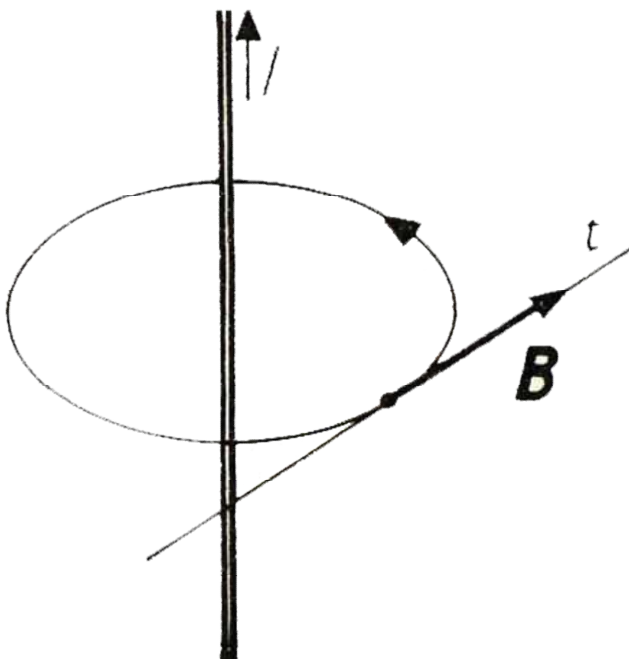
Tabulka 3.2 – Přehled magnetických polí a jejich hodnot indukce

Druh MP	Indukce [mT]
Země	0,003-0,005
Povrch permanentní magnetky na nástěnce	30–70
MRI	až 7 000 000

Stále se rozmáhající využití EMP v bezdrátovém rozvoji může leckoho přivést k myšlenkám o potenciaálním zdravotním riziku ohledně přemíry využití EMP. Běžně jsou kolem nás pole s frekvencí 50 Hz, typicky dosahující hodnot 0,02–0,4 μT . V blízkosti kabelu rozvodu elektrického vedení v bytech a domech výjimečně dosáhne hodnoty 10 μT . O něco silnější pole produkují některé elektrospotřebiče, ale ani ty nedosáhnou na referenční. Také transformátory umístěné nejčastěji uvnitř budov splňují limity – 100 μT , navíc jsou uloženy v železném jádru, skrz které se ven dostane jen zanedbatelná část. EMP ve většině veřejných a nám dostupných míst má hodnoty intenzity řádově nižší, než jsou referenční hodnoty, proto jsou jakékoli obavy o naše zdraví nadbytečné.

2.5.1. Stacionární pole

Zdrojem stacionárního pole jsou permanentní magnety či stejnosměrné proudy. Na rozdíl od pole statického, ve kterém jsou náboje v klidu, má stacionární pole náboje v rovnoměrném pohybu. Vektor intenzity B nezávisí na čase. Pro určení směru vektoru B použijeme pravidlo pravé ruky: pravou rukou uchopíme vodič tak, aby palec byl ve směru proudu; prsty pak ukazují směr vektoru B .



Obrázek 2.3 Směr vektoru B při průchodu I vodičem

Při interakci stacionárního magnetického pole s biologickou hmotou bylo dokázáno, že magnetické pole do 10 T nemá, kromě reakcí zahrnující vznik radikálů reakční cestou od východiskových látek ke konečným produktům, na lidský organismus zásadní vliv. Na trhu pomůcek pro zdraví a relaxaci ovšem nalezneme spoustu produktů s permanentními magnety – od magnetických náramků, náhrdelníků či vložek do bot až po matrace a polštáře, které se mezi laickou veřejností těší oblibě. Svému budoucímu majiteli slibují pomoc od bolesti svalů a kloubů nebo rychlejší regeneraci po sportu. Zatím žádná studie terapeutický účinek těmto produktům nepřipsala.

2.5.2. Nestacionární pole – pulzní

U nestacionárního MP se mění indukce B do směru či do velikosti. Siločáry jsou u nestacionárního pole uzavřené křivky. Pulzní magnetické pole mění svou polaritu v pulsech specifických tvarů a velikostí.

Rozeznáváme tři tvary

- a) unipolární – v kladné nebo záporné ose
- b) bipolární – v kladné i záporné ose
- c) harmonické – např. sinus

Pro terapii se pulzní pole s bipolárním tvarem pulzu jeví jako nejvhodnější. Organismus by měl na změnu magnetické indukce reagovat nejvíce. Interakce mezi tkání a magnetickým polem se při užití NPMP probíhá především na úrovni buněčné a nižší.

V případě vystavení lidského těla magnetickému poli v čase se rychle měnícím nastává jev, při kterém se v tkáni indukují elektrický proud. Intenzita indukovaného proudu je přímo úměrná rychlosti změny pole (frekvenci) a intenzitě působícího pole.

V doporučení WHO pro indukované proudy je uvedeno, že špičkové hodnoty proudové hustoty J_t od 0,01 do 0,1 A/m² mohou ovlivňovat nervový systém. U hodnoty překračujících $J_t > 0,1$ A/m² byly prokázány změny ve stimulaci nervového systému.

2.5.3. Magnetické vlastnosti živých organismů, tkání a tělních tekutin

Magnetické pole prochází každou látkou. O tom, jak na magnetické pole daná látka zareaguje rozhoduje magnetický moment. V tabulce č. 3.3 vidíme, že hodnoty magnetického momentu nám látky rozdělují do tří kategorií

Tabulka 3.3 - Rozdělení magnetických látek

Druh magnetické látky	Magnetický moment
Diamagnetické látky	<1
Paramagnetické látky	>1
Feromagnetické látky	>>1

U diamagnetických látek magnetický moment nedosahuje hodnoty 1, magnetické pole tak mírně zeslabuje. Toto zeslabení způsobují změny elektronových orbitalů v atomech a molekulách, ale je menší než 0,001 %, z tohoto důvodu můžeme působení magnetického pole zanedbat. Lidský organismus je tvořen převážně látkami diamagnetickými – magnetické pole z vnějšího zdroje projde bez obtíží, ale jeho intenzita bude zanedbatelně zeslabená. Opačně látky paramagnetické dosahující hodnoty magnetického pole nad 1, mírně zeslabují magnetické pole. V lidské tkáni vyskytují ve velmi malém množství. Látky feromagnetické při kontaktu s vnějším magnetickým polem toto pole zesilují. Jejich magnetický moment je v řádech deseti až stasticů.

2.6. Přehled využití magnetického pole v diagnostice

Rozmach užití elektromagnetického pole se dotkl bezmála všech oborů lidské činnosti, medicíny nevyjímaje. Nejvýraznější přelomovou tomografickou metodou se v diagnostice stala **magnetická rezonance** (MRI). Jedná se o neinzaivní vyšetření. Zobrazení tkání je uskutečněno měřením změn magnetických momentů atomových jader, především vodíku, v tkáních, které jsou umístěny do silného magnetického pole. Zaznamenané změny jsou dále počítačem zpracovány a interpretovány obrazově. Výhodou je ve využití neionizující záření (RF vlny a magnetické pole) a také fakt, že MRI provádí řez jakoukoliv rovinou. Nevýhodu shledáváme v menší dostupnosti, kterou způsobuje vyšší cena. **Magnetoencefalografie** (MEG) je funkční neinvazivní neurozobrazovací metoda pro diagnostiku mozku. MEG je realizována neuronmagnetometry, které měří magnetické signály generované v mozku. Magnetické signály v mozku jsou ovšem velmi malé, proto byl vynalezen supravodivý kvantový magnetometr, známý jako SQUID (superconducting quantum interference device), který detekuje velmi slabá magnetická pole. Jeden neuronmagnetometr obsahuje

několik jednotek SQUID, orientovaných tak, aby počítač měřil výstup a vypočítal zdroj částečných signálů v mozku. Magnetické pole není lebkou a skalpem na tolik zkreslené jako pole elektrické, dokonce je lépe prostupné a tím se lépe lokalizuje. Klinicky se této vlastnosti využívá k lokalizaci zdrojů záchvatů, aby mohly být později chirurgicky odstraněny. Dále se také hodí k výzkumu měření aktivity různých oblastí mozku, např. vnímání různých podnětů či řešení kognitivních úkolů. MEG je často pro upřesnění doplněno i dalšími vyšetřovacími metodami jako EEG, PET a MRI. Ve srovnání s MRI má MEG sice horší rozlišení, ale na druhé straně má lepší časové rozlišení, což může vzhledem k velkým rychlostem toku informací v mozku velkou výhodou, třeba u diagnostiky poruch mozku s rychlými změnami. **Magnetokardiografie** (MCG) detekuje magnetické pole srdce. Jedná se o neinvazivní tomografickou metodu pro diagnostiku poruch srdce. **Magnetomyografie** (MMG) je založena na stejném principu na MCG, s rozdílem, že MMG snímá magnetické pole svalů. **Transkraniální magnetická stimulace** (TMS) je bezbolestná a bezpečná neurofyziologická technika. Výjimečně kontrakce hlavových svalů nebo aktivace nervů může mít za následek nepříjemné pocity. U TMS je možno zvýšit či snížit aktivitu vybraných oblastí mozku na určitý čas (minuty, hodiny, dny i týdny, záleží na počtu aplikací). TMS se též používá pro studium oblastí mozku spojené s řečí, pamětí, zpracováním zrakových vjemů a pozorností. V neurovědě má TMS své místo jisté, ohledně psychiatrie použití TMS panuje stále diskuze.

2.7. Nízkofrekvenční pulzní magnetoterapie

V medicíně dnes pod pojmem magnetoterapie nejčastěji rozumíme terapeutickou aplikaci NMPM, která je nejznámější a nejoblíbenější, proto dále budeme slovo „magnetoterapie“ používat právě v tomto smyslu a kontextu.

Magnetoterapie je druh fyzikální léčby, jež řadíme do skupiny bezkontaktní elektroléčby. Magnetoterapie jako léčebné médium využívá uměle vytvořené magnetické pole. Oproti vysokofrekvenční magnetoterapii, která pracuje s frekvencemi 9–250 MHz, pracuje nízkofrekvenční magnetoterapie s $f = 0–100$ Hz.

K terapii NPMP je nezbytný magnetoterapeutický přístroj s podložkami. Přístroj řídí mikroprocesor generující impulzy proudů, které v připojených podložkách budí pulzní magnetické pole. Generátor pro NPMP je tvořen nejčastěji napěťovým zdrojem,

u kterého je možno nastavit tvar a velikost pulzů v různém časovém sledu. Výstupní pulzy napětí jsou dále přivedeny na svorky připojeného aplikátoru.

Na trhu je k výběru velké množství přístrojů, ať už pro aplikaci ve zdravotnických a jiných střediscích či pro domácí použití.

2.7.1. Biotropní parametry

- **Indukce** Čím větší indukce, tím větší síla pole. Magnetoterapie využívá indukci cca $B = 2-70\text{mT}$.
- **Změna magnetické indukce za jednotku času] a tvar pulzu** Rozložení indukce je závislé na typu zvoleného aplikátoru. To plyne z vlastností použité cívky u aplikátoru. U válcových cívek očekáváme pole homogenní, naopak u cívek stočených do kruhu očekáváme rychlý pokles intenzity s rostoucí vzdáleností. Nejčastěji se setkáváme s obdélníkovým tvarem pulzu, u kterého je změna magnetické indukce za jednotku času největší.
- **Frekvence** Magnetoterapie pracuje s $f = 0-100$ Hz. Dosud nebyla prokázána spojitost mezi použitím frekvence a indikací onemocnění.
- **Doba expozice** Doba expozice se jako ostatní parametry odvíjí od dané indikace. U námi vybraného přístroje se doba jedné expozice může pohybovat od 5 do 95 minut. Jako minimální počet pro terapii se uvádí 15 aplikací.
- **Směr vektoru** Účinek je závislý na směru působení NMPM. Vektor musí být kolmo k léčené oblasti.

2.7.2. Účinky

U magnetoterapie se uvádějí podobné účinky jako jsou u ostatních fyzikálních terapií. Následující účinky dokládá výrobci přístrojů. Experimentálně z fyziologického hlediska prozatím nejsou potvrzeny.

- **Analgetický účinek** Zmírňuje, či dokonce odstraňuje bolest. Obecně se jedná o nejžádanější účinek, kvůli kterému se NPMP využívá. NPMP indukuje v nervových vláknech proud, který sníží percepce bolesti jak u akutních, tak u chronických stavů.

- **Vazodilatace** Užití NPMP rozšiřuje cévy a tím zlepšuje prokrvení v místech expozice. Vazodilatace probíhá v místě prekapilárních svěračů prostřednictvím efluxu (výstupu) Ca^{2+} . Díky vazodilataci se v exponované tkáni mírně zvyšuje teplota (o 0,5 až 1 °C).
- **Myorelaxace** Uvolňuje svaly a křeče.
- **Antiedematózní účinek** Z důvodu větší perfúze krve nedochází k otokům.
- **Urychlení hojení** Využíváno především u fraktur, ale i měkkých tkání.

2.7.3. Indikace

Magnetoterapie je doporučována zejména pro degenerativní a zánětlivá onemocnění menších kloubů, fraktury a mikrobiální záněty. Nachází tak uplatnění hned v několika oborech medicíny. Výjimkou nejsou ani doporučení pro posílení imunity, detoxikaci organismu či prevenci onemocnění. Pro příklad uvádíme některá onemocnění z různých praxí.

- **Rehabilitace:** artrózy, syndrom karpálního tunelu, Bechtěrevova choroba, poúrazové a pooperační stavy
- **Ortopedie:** osteoporóza
- **Dermatologie:** bércové vředy, dekubity, akné
- **Neurologie:** parézy periferních nervů, lehké formy DMO

2.7.4. Kontradikce

Magnetoterapie je z povahy magnetického pole a jeho účinků na lidskou tkáň pro některá onemocnění nevhodná. Magnetoterapie se nedoporučuje pro následující stavy: akutní TBC, krvácivé stavy, zhoubná nádorová onemocnění, ISCHS, psychiatrická onemocnění, otrava krve, hyperfunkce štítné žlázy či nadledvin, těžká plísňová onemocnění. U těchto onemocnění NPMP kvůli svým vlastnostem průběhy zhoršuje.

Magnetoterapie se zvláště vylučuje u pacientů s kardiostimulátorem a implantátem. NMPM z magnetoterapeutického přístroje může fatálně ovlivnit funkce kardiostimulátoru a implantátu, proto je důležité tuto skutečnost brát u pacienta na vědomí. Nevhodná je i pro těhotné ženy, které by během gravidity přístroj neměly ani obsluhovat.

2.7.5. Kombinace s ostatními fyzikálními terapiemi

Magnetoterapii řadíme mezi pomocné metody. Magnetoterapie je doporučována k následujícím terapiím

- **Mechanoterapie** (masáže, trakce, pasivními pohyby, techniky měkkých tkání, UZ, rázová vlna)
- **Fototerapie** (UV lampa, biolampa, laser, infračervené záření)
- **Termoterapie** (pozitivní „teplá“ - teplé obklady i negativní „chladná“ - kryokomory, kryosáčky, ledové obklady či kombinace obou – skotské stříky, střídavé koupele)
- **Hydroterapie** (koupele, sprchy, polevy)
- **Balneoterapie** (lázeňská terapie)

2.7.6. Legislativa

Elektromagnetické záření u magnetoterapie je z pohledu zákona neionizujícím zářením, které není schopno ionizovat atomy a molekuly a elektrická či magnetická pole. Obsluha magnetoterapeutického přístroje nepodléhá žádnému zákonu.

III Výzkumná část

3. Pulzní magnetoterapeutický přístroj

3.1. Cíle

Cílem této práce je seznámit čtenáře s vybraným magnetoterapeutickým přístrojem generujícím NPMP a ověřit vlastnosti tohoto výstupního pole. Výsledné hodnoty budou zpracovány, interpretovány a následně graficky porovnány se schémata přiloženými v návodu přístroje.

3.2. Metodika výzkumu

Pro magnetoterapii je klíčový magnetoterapeutický přístroj složen z vlastního zdroje signálu a různých aplikátorů. Každý druh aplikátoru má svoje specifické vlastnosti, pro které se je daný aplikátor pro některá onemocnění vhodnější a pro jiná méně.

Pro měření jsme vybrali vybraný magnetoterapeutický přístroj a jeho 3 aplikační podložky – plochý univerzální kruhový aplikátor (dále jen „kruhový aplikátor“), lůžkový čtyřcívkový aplikátor s podhlavníkem (dále jen „lůžkový aplikátor“) a solenoid průměru 60 cm (dále jen „solenoid“).

Následující podkapitoly popíší vybraný magnetoterapeutický přístroj a jeho aplikátory. U každé podložky budou představeny experimenty, kterými jsme ověřovali MP z tohoto přístroje. při nastavení maximální intenzity

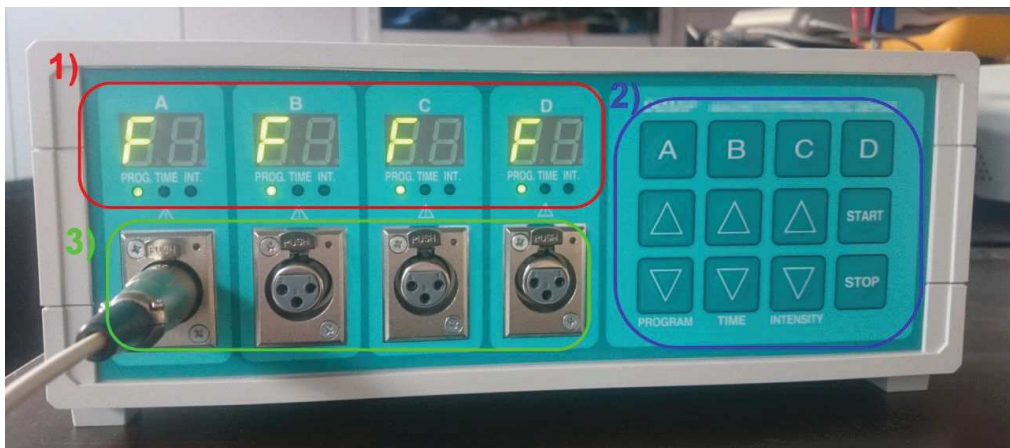
3.2.1. Popis a obsluha přístroje

Vybraný magnetoterapeutický přístroj se skládá z vlastního přístroje, zdroj signálu, a výměnných terapeutických aplikátorů. Mikroprocesorová řídicí jednotka je uschována v obdélníkové plechové schránce s 4 podstavními nohami. Z vrchu jsou žebrované otvory bránící přehřívání přístroje. Přední část je tvořena 4 displeji pro 4 výstupy A, B, C, D a klávesnicí pro nastavení parametrů terapie.

Komunikace obsluhy s přístrojem je zajištěna pomocí čtyř malých displejů (viz červená část 1 na obr. č. 2.4) pro jednotlivé výstupy a klávesnicí s maticí 3x4 tlačítek (viz modrá část 2 na obr. č. 2.4) sloužící pro všechny výstupy. Těchto 12 tlačítek je překryto membránovou folií proti poškození. Díky 4 samostatným výstupům (viz

zelená část 3 na obrázku č. 2.4) pro aplikátory je přístroj vhodným do zařízení, pacienty, kterým je možno poskytnout terapii nezávisle na sobě.

Ovládání přístroje je jednoduché a pro technicky zdatnější jedince přímo intuitivní. Po zapojení přístroje do sítě a jeho následném zapnutí vypínačem do polohy „I“ se rozsvítí čtyři displeje výstupů se třemi kontrolkami LED, které signalizují volbu programu, čas a intenzitu pod každým výstupem. Kontrolky ihned zhasnou a rozsvítí se znovu při nastavení daného parametru.



Obrázek 2.4. Magnetoterapeutický přístroj – přední část (zdroj: autor)

Zadní strana (obr. 2.5) přístroje má zástrčku pro síťové napájení 230 V/50 Hz max. 400 W, nad kterým se nachází vypínač I/O, otvor ventilátoru, dále je zde nalepen identifikační štítek s názvem přístroje, hodnotami napájení, sídlem výrobce, výrobním číslem a číslem certifikátu CE 1014.



Obrázek 2.5 Vybraný magnetoterapeutický přístroj – zadní část (zdroj: autor)

Pro nastavení stiskneme příslušné tlačítko výstupu, do kterého zapojíme námi zvolený aplikátor. Tlačítka nad „PROGRAM“ vybereme z možných 75 programů ten, který pro terapii potřebujeme. Pro rychlejší přeskok mezi jednotlivými programy podržíme tlačítko déle. Tlačítka nad „TIME“ nastavíme v intervalech po 5 minutách dobu expozice. Nejnižší možná doba je 5 minut, nejvyšší pak 90 minut. Dále tlačítka nad „INTENSITY“ nastavíme stupeň intenzity v rozsahu 1–8. Přístroj s nastavenými parametry spustíme tlačítkem „START“ a v případě nutnosti tlačítkem „STOP“ nastavení přeručíme. Pro vypojení podložky z přístroje musíme zmáčknout pojistku „PUSH“ nad výstupem, která brání samovolnému vypadnutí konektoru.

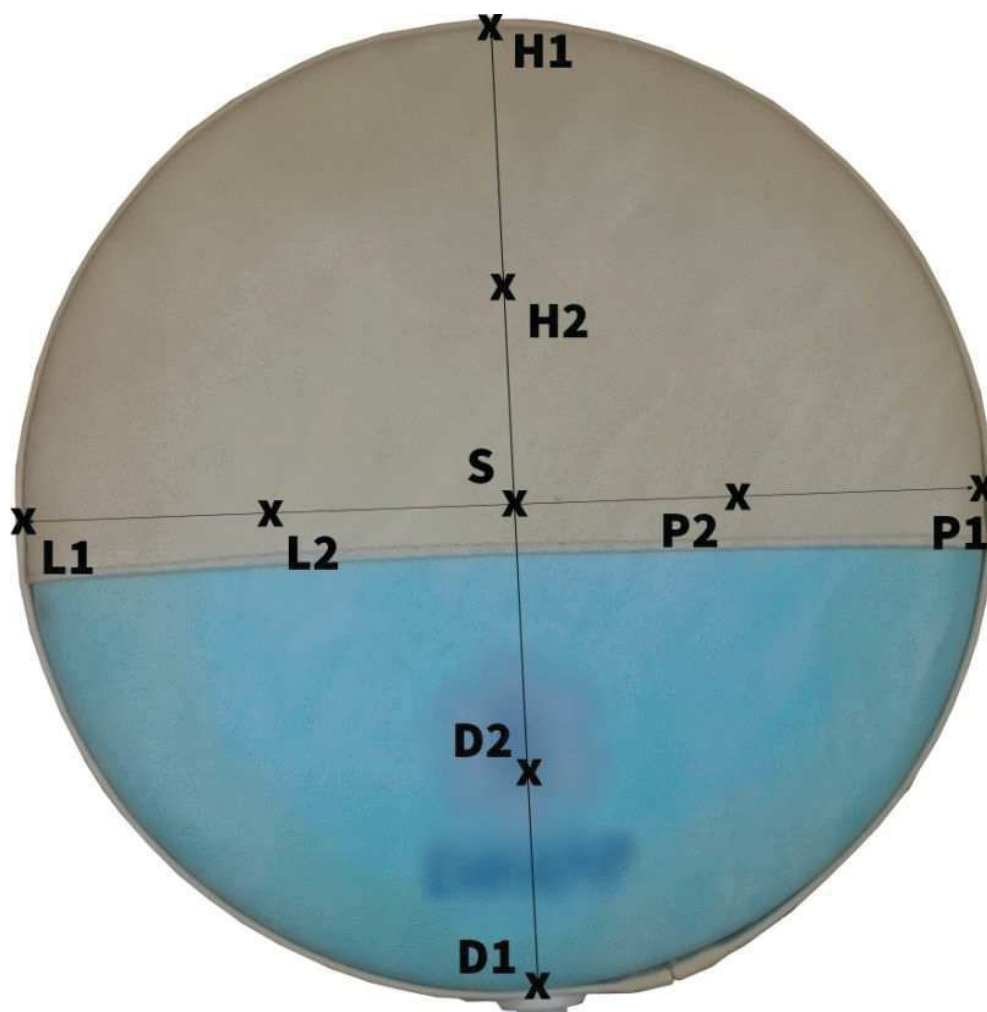
3.2.2. Kruhový aplikátor

Kruhový aplikátor (obr. 2.6) má tvar kruhu s průměrem 20 cm. Je vhodný k terapii zejména ruky, loktu, zápěstí, paty, ale i hlavy nebo kyčle. Aplikátor tvoří navinutý měděný smaltovaný vodič, který kryje koženka. Z podložky vede kabel pro připojení k přístroji. Na boku, vedle vstupu kabelu, je zelená LED signalizace, která se rozsvítí, pokud se v aplikátoru generuje pulzní magnetické pole.



Obrázek 2.6 Kruhový aplikátor pro magnetoterapii (zdroj: autor – upraveno)

Pro první měření kruhového aplikátoru jsme vybrali devět bodů z celé oblasti podložky, jeden ve středu podložky, další čtyři v pomyslném kruhu s průměrem 10 cm a poslední čtyři body byly vybrány na okraji podložky, viz. obr. 2.7.



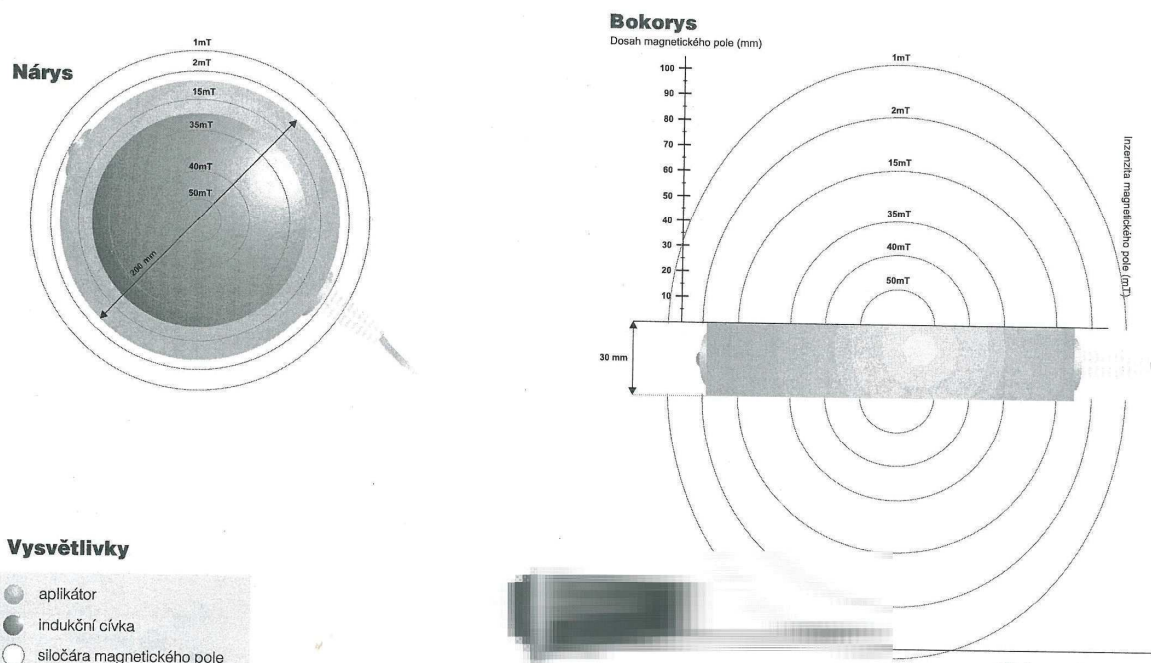
Obr. 2.7. Plochý univerzální kruhový aplikátor – zvolené body pro měření (zdroj: autor – upraveno)

Do přístroje jsme dodávali proud 2 A a Hallovo sondou měřili intenzitu magnetického pole v daných bodech. Hallovo sondu jsme na podložce zafixovali pomocí plastového držáku. Prostor mezi plastovým držákem a sondou jsme vyplnili polystyrenem, který nemá na měření vliv a zároveň poskytl sondě větší stabilitu. Jak měření vypadlo vidíme na obr. 2.8.



Obrázek 2.8 Měření kruhové podložky Hallovoú sondou (zdroj: autor – upraveno)

Jako hodnotící kritérium pro ověření vlastností magnetického pole, vycházející z kruhového aplikátoru, volíme náčrt od dodavatele vybraného magnetoterapeutického přístroje. V náčrtu (obr. 2.9) vidíme, že největší dosah magnetického pole je ve středu aplikátoru do výšky 15 mm, a to hodnoty 50 mT. S výškou i vzdáleností od středu hodnota magnetického pole klesá, nejmenší hodnoty – 1mT – magnetické pole dosahuje v rádiu lehce přes 100 mm.



Obr. 2.9 Příklad dokumentace ke kruhovému aplikátoru

Jak jsme měřili magnetické pole na pantografu zobrazuje obr. č. 2.10.



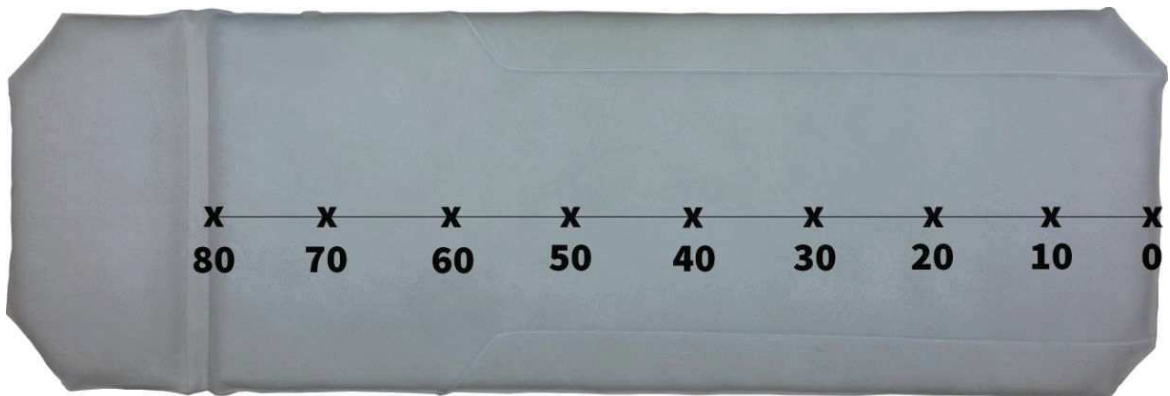
Obr. 2.10 Měření kruhového aplikátoru s fantomem na pantografickém přístroji

3.2.3. Lůžkový aplikátor



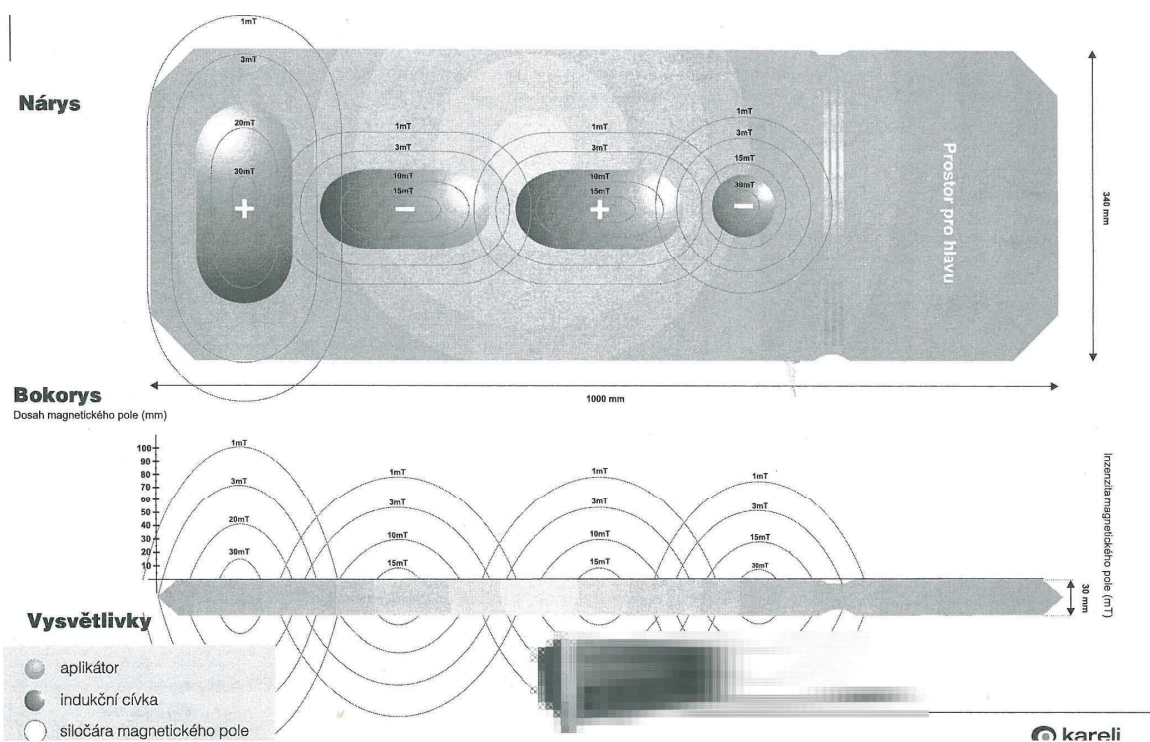
Obrázek 2.11 Lůžkový aplikátor pro magnetoterapii

Lůžkový aplikátor (obr. 2.11) má v sobě zabudované tři cívky, které jsou překryty koženkou. Pro větší pohodlí pacienta je k aplikátoru přidán i podhlavník, který kromě zmíněného pohodlí nemá na terapii vliv. Opět jsme vybrali 9 bodů a jak je patrné z obrázku č. 2.12, všechny body byly ve středové ose podložky, vzdálené od sebe 10 cm. Ve vybraných bodech jsme měřili intenzitu magnetického pole Hallovou sondou.



Obrázek 2.12 Lůžkový aplikátor – zvolené body pro měření

Měření lůžkového aplikátoru budeme srovnávat se schématem od výrobce. V schématu (obr. č. 2.13) vidíme, že aplikátor je složen ze čtyř cívek, z nichž dvě krajní produkují magnetické pole o maximální hodnotě 30 mT a zbylé dvě prostřední o 15 mT. Tyto hodnoty jsou dosahovány ve středu těchto cívek, do výšky 15 mm. S rostoucí výškou hodnoty klesají.



Obrázek 2.13 Lůžkový aplikátor a jeho hodnoty magnetického pole

Způsob měření lůžkového aplikátoru je zachycen na obr. č. 2.14.



Obrázek 2.14 Měření lůžkové podložky pantografem

3.2.4. Solenoid

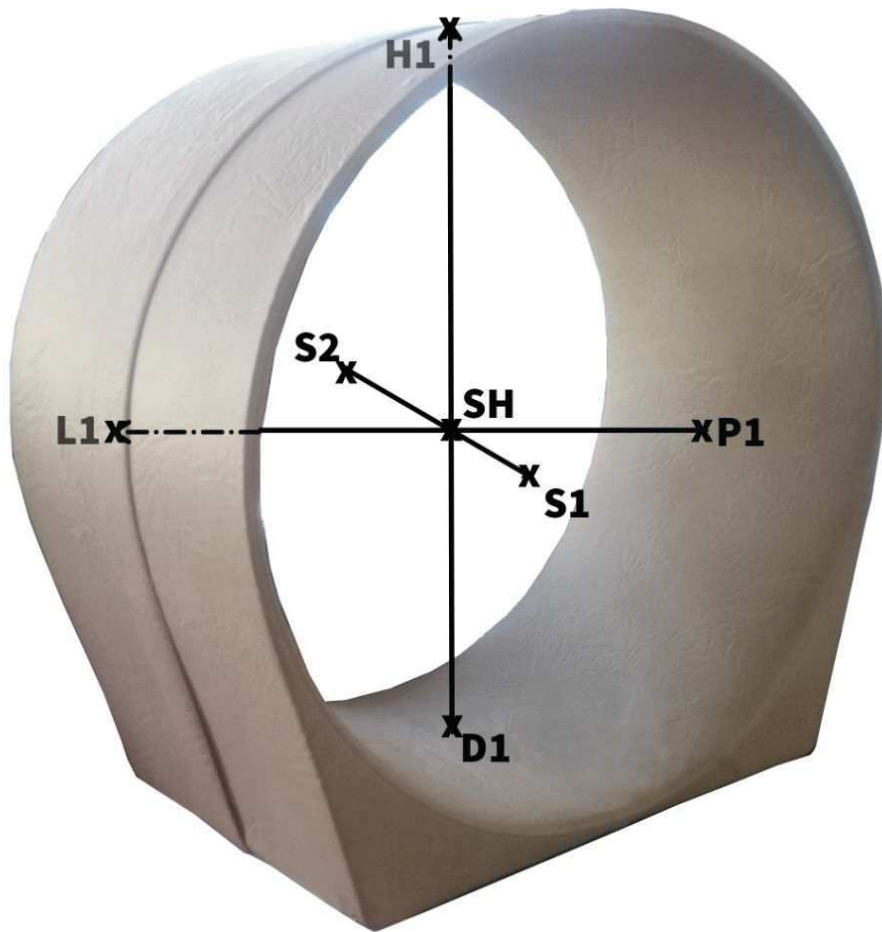
Solenoid (viz obr. 2.14) je dutý válcový aplikátor o průměru 60 cm a šířce 54 cm. V celém prostoru aplikátoru by se mělo nacházet homogenní magnetické pole, vyplývající z vlastností válcové cívky, která má průměr závitů mnohem menší, než je samotná délka vodiče. V praxi se nejčastěji léčená část těla umísťuje doprostřed podložky. Nevýhodu shledáváme v hmotnosti aplikátoru, v každém zařízení nejspíš není prostor na to, aby aplikátor byl stále na jednom místě.



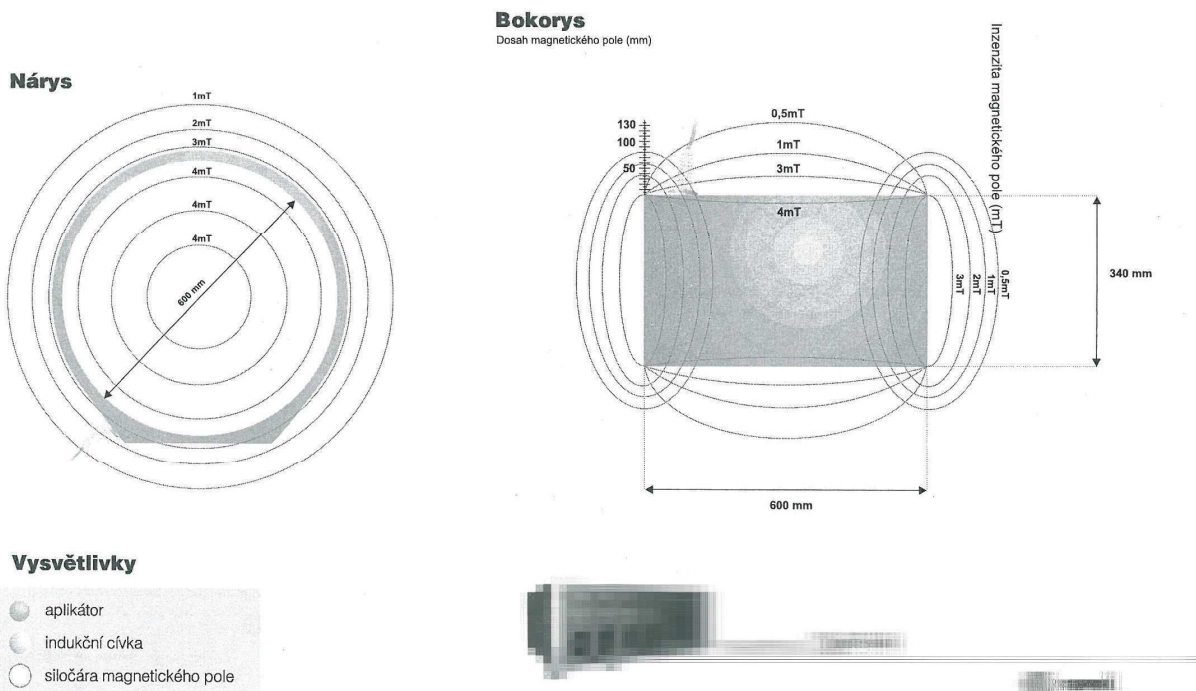
Obrázek 2.15 Solenoid pro magnetoterapii (zdroj: autor)

Aplikátor solenoid byl rovněž podroben měření při dodávání proudu 2 A. Bodů měření bylo sedm – tři v pomyslném středu a čtyři uvnitř, jak zobrazuje obrázek č. 2.15. Uvnitř solenoidu by se nejen podle našich dedukcí z vlastností válcové cívky, ale i

podle výrobce mělo nacházet homogenní magnetické pole velikosti 4 mT. Magnetické pole se vytváří i mimo solenoid, ale vzhledem k tomu, že léčená tkáň se umísťuje dovnitř solenoidu, nepokládáme měření tohoto pole za důležité.



Obrázek 2.16 Solenoidní aplikátor – zvolené body pro měření (zdroj: autor – upraveno)



Obrázek 2.17 Dokumentace k solenoidu

Pro kruhový aplikátor a solenoid jsme měřili magnetické pole, do kterého jsme vložili vepřové koleno jako fantom lidského kolene s námi sestrojenou cívkou, viz obr 2.18. Nejprve jsme si pro každou ze zmiňovaných podložek změřili závislost napětí na čase, když na podložce byla pouze cívka. Poté jsme cívku vložili do kolene, do kterého jsme si nožem připravili otvor, a opět měřili závislost napětí na čase.



Obrázek 2.18 Měření průběhu napětí cívky s vepřovým kolenem umístěným v solenoidním aplikátoru

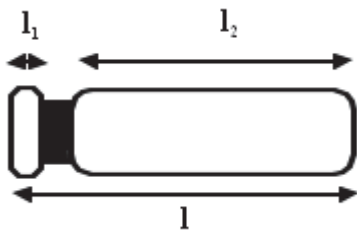
3.2.5. Fantomy

Pro experimentální měření magnetického pole v tkáni jsme si jako fantom vybrali prasečí koleno. Prasečí koleno je stavbou a složením částečně podobné lidskému.

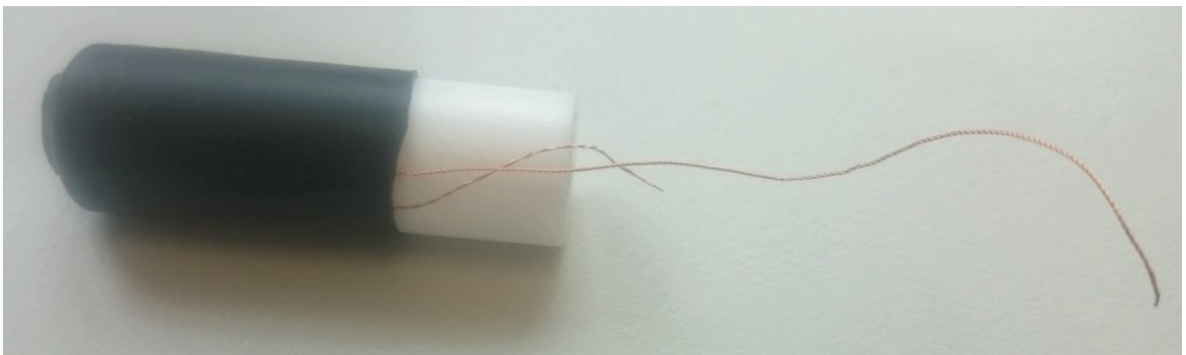
Pro měření s prasečím kolenem jsme si vytvořili cívku. Na plastovou cívku jsme si do drážky namotali 46 závitů měděného drátku tak, aby se navzájem nepřekrývaly. Drážku jsme poté překryli gumou a následně i celou cívku a to tak, aby vystupovaly pouze konce drátku – viz obrázek č. 2.20. Parametry sestrojené cívky jsou vepsány do tabulky č. 3.4 a jednoduché schéma na obr. č. 2.19. zobrazuje ty parametry, které máme na mysli.

Tabulka 3.4 Parametry sestrojené cívky pro měření

L	45,30 mm
D	15,00 mm
l_1	3,00 mm
l_2	40,00mm
d_d	9,00mm
d_{s_gumou}	16,50mm
l_d	1,80mm
Drát (Cu) \varnothing	0,20 mm
Počet závitů N	46



Obrázek 2.19 Schéma cívky

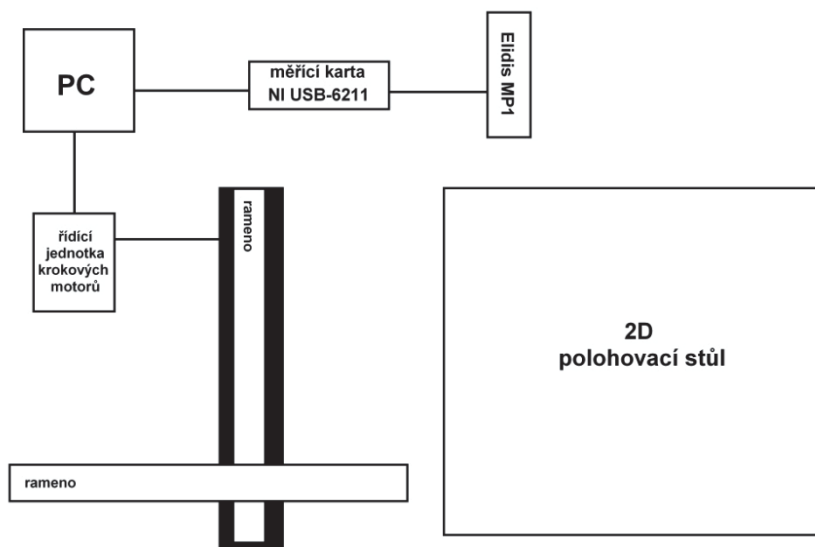


Obrázek 2.20 Sestrojená cívka

3.2.6. Použité měřicí přístroje a pomůcky

- **Digitální osciloskop DS1102D** Osciloskop nám zobrazoval průběh napětí v reálném čase. Vybrané průběhy jsme si v CSV formátu uložili a použili pro zpracování.
- **Teslametr (Halova sonda) Tectra Model 8010** Pracuje na principu Hallova jevu. měří pouze v axiálním směru.

Pantograf Speciálně pro kruhový aplikátor a lůžkový čtyřcívkový aplikátor jsme pantografem změřili magnetické pole v dílčích částech se slaným roztokem, jako fantomu tkáně, i bez něj. Data byla pro další výzkum poskytnuta FM TUL, jejich zpracování by přesahovala rozsah této práce. Pantograf je speciální sestava složená z 2D polohovacího stolu a dvou ramen, na jednom z nich se nachází Hallova sonda propojená s počítačem měřicí kartou. Dále je zde řídicí jednotka a počítač – viz obr 2.21.



Obrázek 2.21 Schéma pantografu (zdroj: autor)

3.3. Verifikace magnetického pole vybraných typů aplikátorů

V následujících kapitolách jsou sepsány výsledky měření jednotlivých aplikátorů.

3.3.1. Kruhový aplikátor

V tabulce č. 3.5 vidíme naměřené hodnoty v příslušných bodech.

Tabulka 3.5 Indukce magnetického pole při dodávaném proudu 2 A ve vybraných bodech na kruhovém aplikátoru

Body	Intenzita [mT]
P1	1,80
L1	2,53
H1	2,39
D1	1,93
P2	-7,13
L2	-6,57
H2	-5,55
D2	-6,90
S	-15,11

Posledním měřením jsme zjišťovali, jak tkáň ovlivňuje magnetické pole z plochého univerzálního aplikátoru. Nejprve jsme změřili napětí v samotné cívce položené na kruhovém aplikátoru.

3.3.2. Lůžkový aplikátor

První měření lůžkového aplikátoru v daných bodech nám představuje tabulka č. 3.6

Tabulka 3.6 Indukce magnetického pole při dodávaném proudu 2 A ve vybraných bodech

Zvolené body	Indukce [mT]
0	0,48
10	-1,72
20	0,69
30	-1,20
40	-1,01
50	-1,06
60	-1,41
70	-1,33
80	-0,14

3.3.3. Solenoid

Tabulka č. 3.7 ukazuje, jaké hodnoty intenzity jsme naměřili ve vybraných bodech solenoidu.

Tabulka 3.7 Indukce magnetického pole při dodávaném proudu 2 A ve vybraných bodech

Body [cm]	Indukce [mT]
SH	0,96
S1	0,75
S2	0,73
P1	1,35
L1	1,36
H1	1,34
D1	1,37

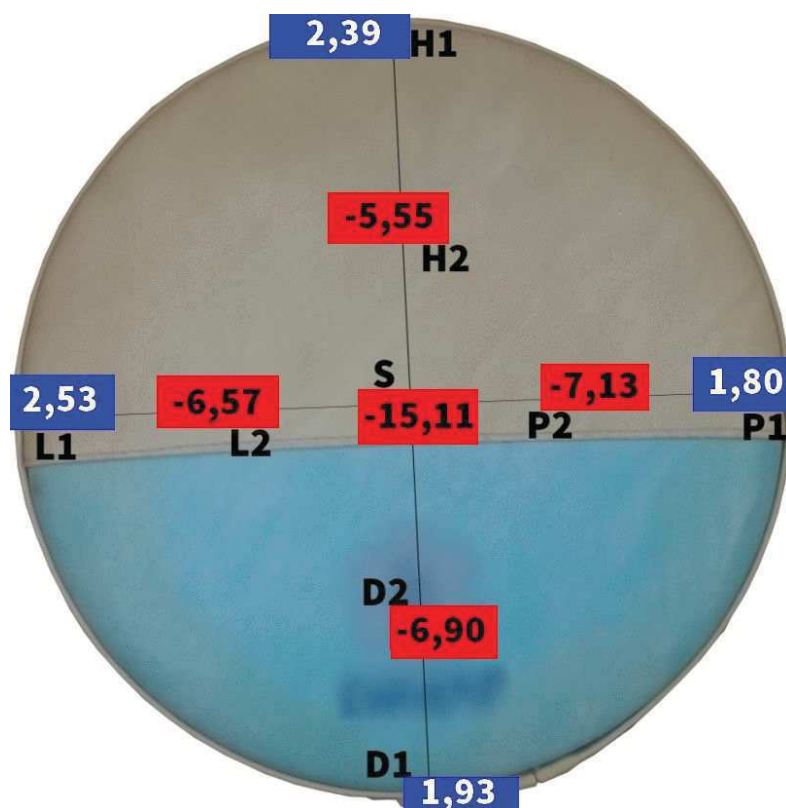
Cílem dalšího měření bylo, jak tkáň zeslabuje magnetické pole v solenoidu. Jak bylo popsáno v podkapitole 3.2.2, měřili jsme hodnotu napětí cívky nejdříve samostatně, poté napětí cívky vložené v prasečím koleni. Grafy zobrazují závislost napětí na čase cívky v solenoidu.

3.4. Analýza

Tato kapitola zhodnotí výsledky měření vybraných podložek.

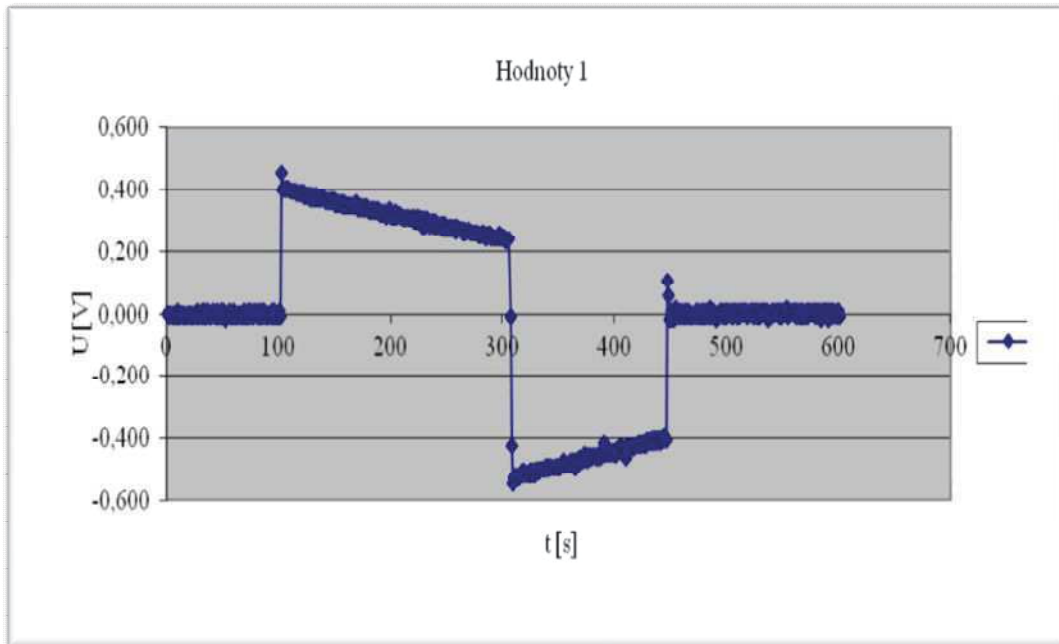
3.4.1. Kruhový aplikátor

Z tabulky měření kruhového aplikátoru vidíme, že největší hodnoty indukce dosahovala ve středu podložky, a to $-15,11$ mT. Se zvětšujícím poloměrem hodnoty intenzity nepřímo úměrně klesaly, na krajích podložky dosahovaly maximálně $2,5$ mT. Hodnoty jsme zpracovali do obrázku (2.22) a porovnali je se schématem od výrobce. Hodnoty indukce jsou menší, než byly v schématu. Z naměřených hodnot usuzujeme, že tvar vodiče je stočená spirála. Schéma v nákrese nezobrazuje reálnou situaci, siločáry by měly být zakresleny jako uzavřené a měl by být uvedený směr vektoru, který je opačný ve středu oproti kraji.

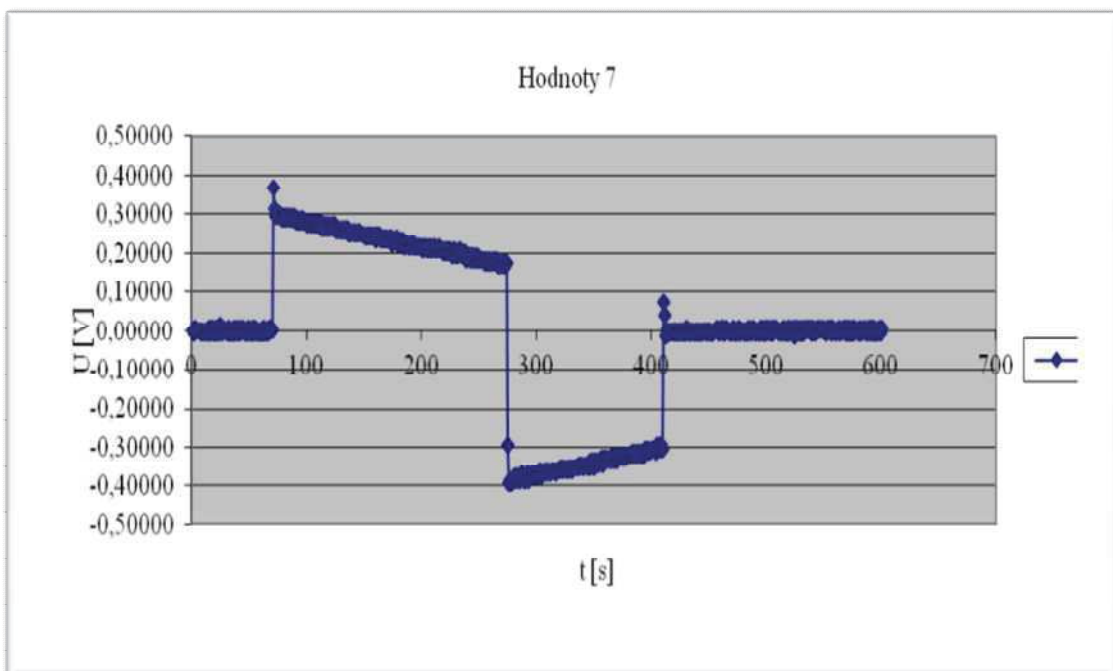


Obrázek 2. 22 Kruhový aplikátor – naměřené B [mT] (zdroj: autor – upraveno)

Měřením průběhu napětí v čase u cívky na kruhovém aplikátoru a následním přeměření cívky, když se nachází uvnitř prasečího kolene jsme zjistili, že tkáň má na napětí a následně na indukční tok a indukci vliv. Již z těchto grafů vidíme, že tkáň u_i zmenšuje. V čase $t=1s$ u grafu 4.1 vidíme, že je hodnota nejvyšší $u_i=0,4V$. Oproti grafu 4.2, kde v již v čase $t=0,8s$ dosahuje $u_i=0,3V$. Z grafů vidíme, že průběh hodnoty u_i odpovídají bipolárnímu průběhu. Tyto hodnoty jsme vybrali jako ukázkové, ostatní hodnoty jsou přiloženy v Příloze A.



Graf 4.1 Průběh u_i v cívce na kruhovém aplikátoru



Graf 4.2 Průběh u_i v cívce v prasečím kolenu na kruhovém aplikátoru

3.4.2. Lůžkový aplikátor

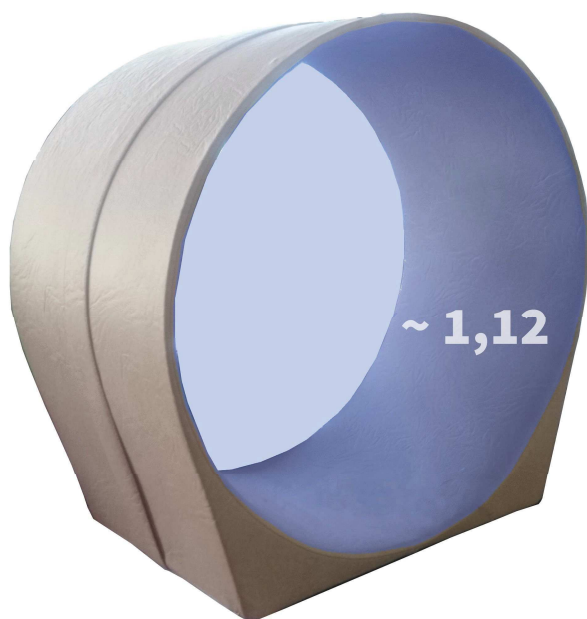
V lůžkovém aplikátoru jsme naměřili hodnoty odpovídající schématu. Hodnoty jsou zpracovány do obr. 2.23. Opět usuzujeme, že cívky tvořící aplikátor jsou namotány v ploché spirále. V příloženém nákresu by se opět mohlo zpracovat na fyzikálním zpracování, nakreslit siločáry odpovídající realitě a přidat směry vektorů.



Obrázek 2.23 Lůžkový aplikátor – naměřené B [mT] (zdroj: autor – upraveno)

3.4.3. Solenoid

Při měření solenoidu při průchodu proudem 2 A jsme dokázali, že uvnitř aplikátoru se nachází homogenní magnetické pole. Aritmetický průměr z tohoto měření nám dává hodnotu 1,12 mT (obr. 2.24). Hodnoty u krajů jsou oproti průměru větší, v návodu pro terapeutky by se na tento fakt mělo upozornit, aby mohly zefektivnit léčbu.



Obr. 2.24 Solenoid - naměřené B [mT] (zdroj: autor – upraveno)

Měření s prasečím kolenem je zpracováno do grafů v Příloze B.

IV Diskuze

Užití NPMP jako terapeutického prostředku se těší díky širokému spektru uplatnění velké oblibě. Ať už se jedná o terapii, prevenci či detoxikaci, dalo by se říci, že každý jedinec v naší společnosti by si našel důvod, proč magnetoterapii použít. Dalším faktorem, proč je magnetoterapie natolik oblíbená, je její dostupnost. Jedná se o metodu, která je, i když s určitými limity, hrazena pojišťovnou. Magnetoterapii je možno absolvovat nejen ve zdravotnických zařízeních, ale i v rehabilitačních centrech či střediscích alternativní medicíny. Pokud je pacient s magnetoterapií spokojený, nic mu nebrání si přístroj pořídit i pro domácí použití. V neposlední řadě je obliba této terapie podtržena referencemi samotných pacientů, terapeutů, či známých osobností. Jaká je motivace pro dané reference je na úsudku každého z nás.

Měřením aplikátorů jsme dokázali, že se v jejich těsném okolí opravdu NMPM nachází. Naměřili jsme sice menší hodnoty, ačkoliv jsme použili špičkový proud, je možné, že měřením došlo k chybám z důvodu nepřesnosti měření či jiných vlivů. Skutečnosti, že jsme naměřili nižší hodnoty NMPM nepřikládáme větší váhu, jelikož stejně jako deklarované hodnoty jsou tyto intenzity podle WHO ve stejné kategorii vlivu na nervový systém.

Hodnotu přikládáme vlastnostem každé podložky. Podle nás je klíčové, aby terapeuti byli s vlastnostmi polí těchto aplikátorů seznámeni, protože jen tak mohou mít z teoretických znalostí účinek. Posléze by měli být schopni uvažovat, na jakou oblast chtějí zacílit, a tak vybrat vhodný aplikátor.

V současné době není k dispozici žádná studie, která by při správné indikaci připisovala užití NPMP negativní účinky. Magnetoterapie tak určitě není v etickém rozporu, jako tomu může být u jiných alternativních postupů. Z tohoto důvodu rozhodně není potřeba magnetoterapii odsuzovat. Zda však je správné připisovat NPMP účinky, které nejsou exaktně ověřené, je diskutabilní. Ovšem žijeme v době, kdy máme dostupnost a zdroje informací jako nikdy dřív, proto pokud někdo zvolí magnetoterapii, je to čistě jeho volba. Nicméně dnešní doba z pohledu uživatele naši zodpovědnost přenáší na druhé a my jsme pouhými konzumenty. Nezajímá nás, zda má daná metoda vědecký základ, stačí, že nám ji doporučil doktor, fyzioterapeut či známá tvář v reklamním spotu. Měl by být o situaci magnetoterapie pacient obeznámen? Pokud

pacient subjektivně pociťuje, že mu magnetoterapie pomáhá, je pro něj důležité, aby byla vědecky podložena? V případě, že by bylo prokázáno, že magnetoterapie se zakládá na placebo efektu, je správné brát člověku víru v uzdravení či alespoň zbavení se bolesti? Pokud si odpovíme kladně, je zde způsob, jak takovou víru substituovat, a pokud tak tedy uděláme, budeme opět potřebovat vědecké vysvětlení? Odpovědi by se napříč příznivci a odpůrci magnetoterapie jistě lišily a stále není jasné, které z nich by se daly označit jako pravdivé.

V otázce efektivity léčby stále probíhá spor mezi nespočtem nadšených léčitelů, ortopedů, fyziatrů a jejich spokojených pacientů na straně jedné a též nemalým počtem některých lékařů, biofyziků a účinky nepolíbených pacientů na straně druhé. Mezi oběma tábory stojí ČLK, která se ohledně magnetoterapie nevyjádřila. Magnetoterapie je s největší pravděpodobností účinná u lidí, kteří nad metodou zvláště nerozjímají, ale důvěřují svému terapeutovi a věří ve své uzdravení.

V Návrh doporučení pro praxi

V případě, že jsme se pro magnetoterapii rozhodli, je vhodné se řídit jejími teoretickými principy. Nejspíše není žádoucí zkrátka vzít aplikátor, přiložit ho na pacientovu problematickou partii, spustit program a nechat pacienta půl hodiny za plentou, jako tomu leckdy v praxi bývá. Při magnetoterapii, jakožto fyzikální terapii, bychom měli na konkrétní případ nahlížet právě z fyzikálního hlediska a podle jejích principů se řídit. Oblast, kterou chceme léčit, budeme brát jako vodič nebo soustavu vodičů s ohledem na její parametry. Posléze se zamyslíme, jak potřebujeme danou oblast exponovat, aby vektor indukce B směřoval na danou oblast kolmo. Pokud jsme vybrali vhodný aplikátor s vektorem indukce B kolmo na léčenou oblast, umístíme oblast do míst aplikátoru, kde má teoreticky největší hodnoty NMPM. Zhodnotit bychom měli objektivní vlastnosti exponované tkáně pacienta – jistě nezvolíme stejnou intenzitu programu pro muže s nadváhou, trpícího artritidou oproti štíhlé dívce, mající problémy s menisky kvůli náročným tréninkům. Při expozici většího objemu tkáně pulzem NPMP předpokládáme, že ztráty v tkáni budou větší. Z dedukce nastavíme daný program, intenzitu a dobu expozice. Nastavení frekvence se zatím nepřikládá většího významu. Následně další terapie by měla být flexibilní ve smyslu stavu pacienta – zda se zdravotně lepší či ne.

VI Závěr

Celá práce se zabývala využitím NMPM k terapii. Cílem bylo ověřit vlastnosti NPMP produkovaného magnetoterapeutický přístrojem. Nejprve je nutno si přiznat, že ověřit účinnost magnetoterapeutického přístroje s ohledem na tolik skutečností je náročnější, než jsme v úvodu předpokládali. Stěžejní jsou fakty jako konstituce léčeného jedince, jeho fyziologická jedinečnost a odezvy na podněty. Dále vlastnosti přístroje a podložek a velké množství situací, které mohou nastat. Jedno z měření se ukázalo jako nadržámcové.

Tato práce sice dokázala, že magnetoterapeutický přístroj produkuje NMPM., které ve fantomu tkáně podle WHO může ovlivňovat nervový systém, ale nemůže ho stimulovat. Rozhodně za potřebí brát na vědomí fakt, že takto simplifikované experimenty rozhodně nemohou vést k jednoznačným závěrům. Každý lidský, potažmo živý organismus, je na tolik jedinečný a specifický, že vytvořit unifikovanou studii, která by měla jednoznačně určit, jak magnetoterapie (ne)léčí, přesahuje rámec bakalářské práce. Pouhý fakt, jak rozličné jsou hodnoty vodivosti tkání z různých studií, je toho důkazem. Dalším faktorem vedoucím k otázce účinnosti je fakt, že magnetoterapie je metodou doplňkovou. Z jaké části je výsledný efekt zásluhou té či oné léčebné metody, nebo dokonce autonomními regeneračními pochody lidského organismu, je za těžko prokázat.

Seznam použité literatury

- 1 MAYER, Daniel. *Teorie elektromagnetického pole*. 1. díl. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004. ISBN 80-7082-826-9.
- 2 PATOČKA, Miroslav. *magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice, měřící technice a silnoproudové elektrotechnice*. Brno: VITIUM, 2011. ISBN: 978-80-214-4003-6
- 3 BENEŠ., J. *Základy lékařské biofyziky*. Praha: Nakladatelství Karolinum, 2007. ISBN 978-80-246-1386-4
- 4 PODĚBRADSKÝ, Jiří a Ivan VAŘEKA. *FYZIKÁLNÍ TERAPIE II*. Praha: Tiskárny Havlíčkův Brod, a.s., 1998. ISBN 80-7169-661-7.
- 5 PEKÁREK, Luděk. *Odhad expozice neionizujícímu záření v životním prostředí a interiérech*. Dostupné také z: <http://www.sysifos.cz/index.php?id=vypis&sec=1154526554%3E>
- 6 NAVRÁTIL, Leoš et al. *Medicínská biofyzika*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1152-4.
- 7 ADAMEC, Petr. *Řídící jednotka pro magnetoterapeutický přístroj*. Praha, 2012. Diplomová práce. České vysoké učení technické, Fakulta elektrotechnická, Katedra počítačů. Dostupné z: https://dip.felk.cvut.cz/browse/pdfcache/adamepe3_2012dipl.pdf
- 8 FINEGOLD, Leopard. *Magnet therapy: Extraordinary claims, but no proved benefits*. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1325112/>
- 9 OPLUŠTILOVÁ, Vendula. *Neuropsychologie spotřebního chování*. Brno, 2014. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/abykg/>

10 CARLSON, Neil R. *Physiology of behavior*. Eleventh ed. Boston: Pearson, 2013. ISBN 9780205239399. Dostupné z: [http://dreamsupport.us/justin/Books%20&%20T%20extbooks/Physiology/Physiology%20of%20Behavior%2011th%20ed.%20-%20N.%20Carlson%20\(Pearson,%202013\)%20BBS.pdf](http://dreamsupport.us/justin/Books%20&%20T%20extbooks/Physiology/Physiology%20of%20Behavior%2011th%20ed.%20-%20N.%20Carlson%20(Pearson,%202013)%20BBS.pdf)

11 Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-291>

12 IT'IS Foundation. *TISSUE PROPERTIES – LOW FREQUENCY (CONDUCTIVITY)*. Dostupné také z: <https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/tissue-properties/database/low-frequency-conductivity/>

13 Biomag. *Biomag – pulzní magnetoterapie, prevence a léčba bolesti, příležitost pro firmy*. Dostupné z <http://www.biomag.cz>

14 WALEK, Petr. *Magnetoterapeutický přístroj pro léčbu dětské mozkové obrny*. Brno, 2010. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Dostupné z <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/15320/xwalek01.pdf?sequence=-1>

15 RICHTER, A., BARTOŠ, M. a Ž. FERKOVÁ. *Analýza fyzikálních účinků pulzního nízkofrekvenčního magnetického pole užívaného ve fyzioterapii*.

16 TUČEK, Jan. *Transkraniální magnetická stimulace a její využití v psychiatrii*. *Psychiatrie pro praxi*. 2002 (3)

17 RICHTER, Aleš a Želmíra FERKOVÁ. *Physical and energy analysis of therapy applying low-dynamic magnetic fields*. Conference: 2017, IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their Application to Mechatronics. DOI: 10.1109/ECMSM.20177945889

Seznam použitých obrázků

- 2.1 <https://physics.stackexchange.com/questions/123805/on-the-shape-of-magnetic-and-electric-fields-in-an-electromagnetic-wave>
- 2.2 https://www.miniphysics.com/electromagnetic-spectrum_25.htm
- 2.3 http://www.1sg.sk/www/data/01/projekty/2008_2009/innovators/technika_a_clovek/elektromagneticke_vlnenie.html

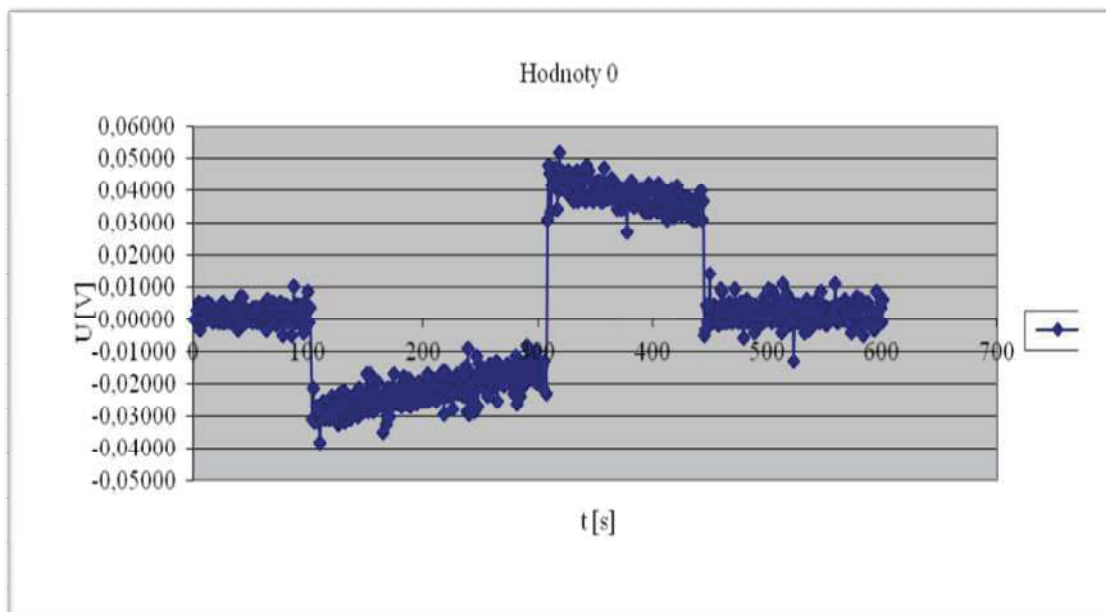
Seznam příloh

Příloha A: Zpracované hodnoty z měření s prasečím kolenem na kruhovém aplikátoru

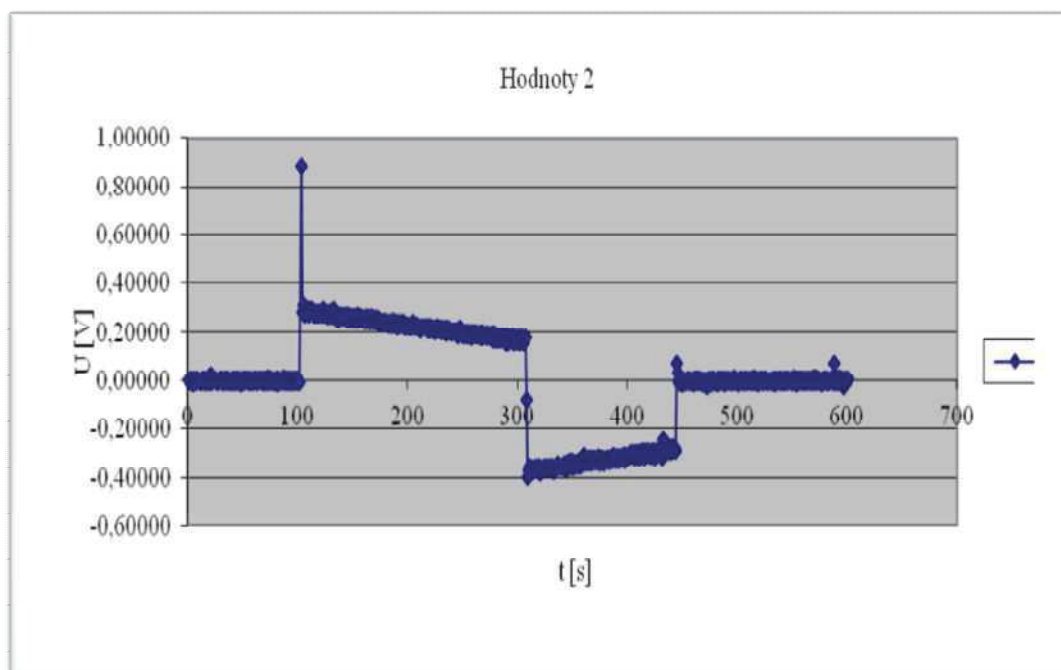
Příloha B: Zpracované hodnoty z měření s prasečím kolenem uvnitř soleniodu

Příloha A

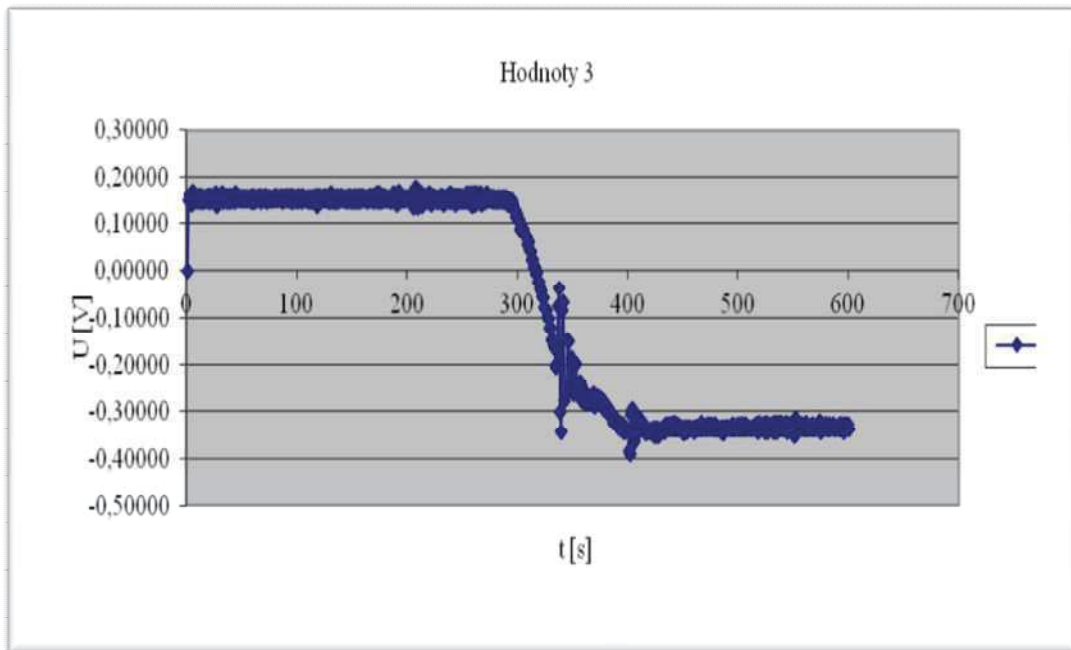
Následující grafy 4.3 - 4.8 zobrazují zpracované hodnoty z měření napětí sestrojené cívky na kruhovém aplikátoru.



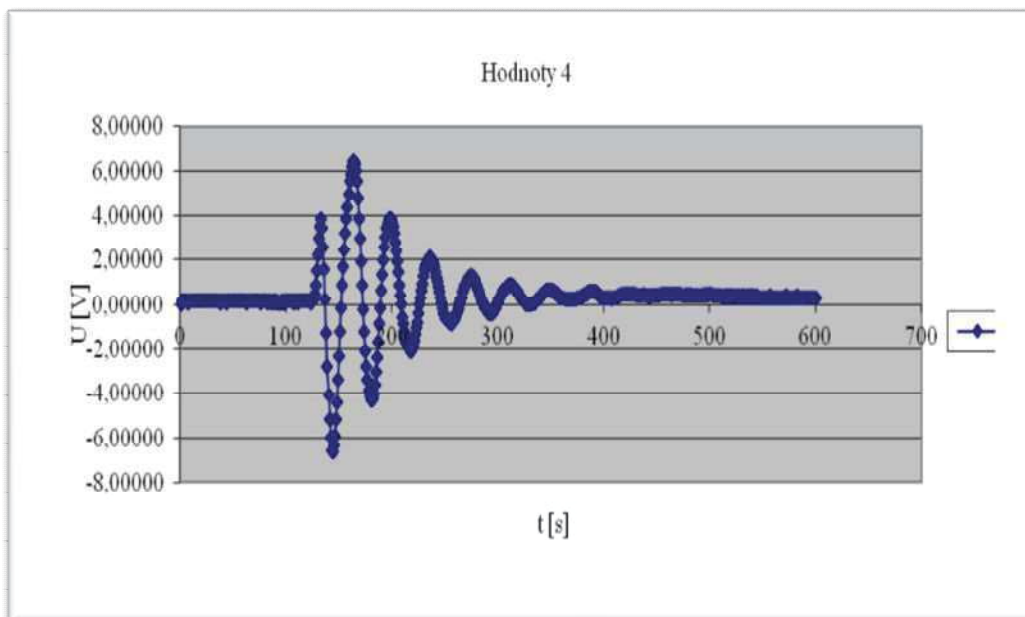
Graf 4.3 Závislost napětí v čase při měření cívky na kruhovém aplikátoru; hodnoty 0
Z Grafu 2 vidíme typický obdelníkový průběh napětí v čase.



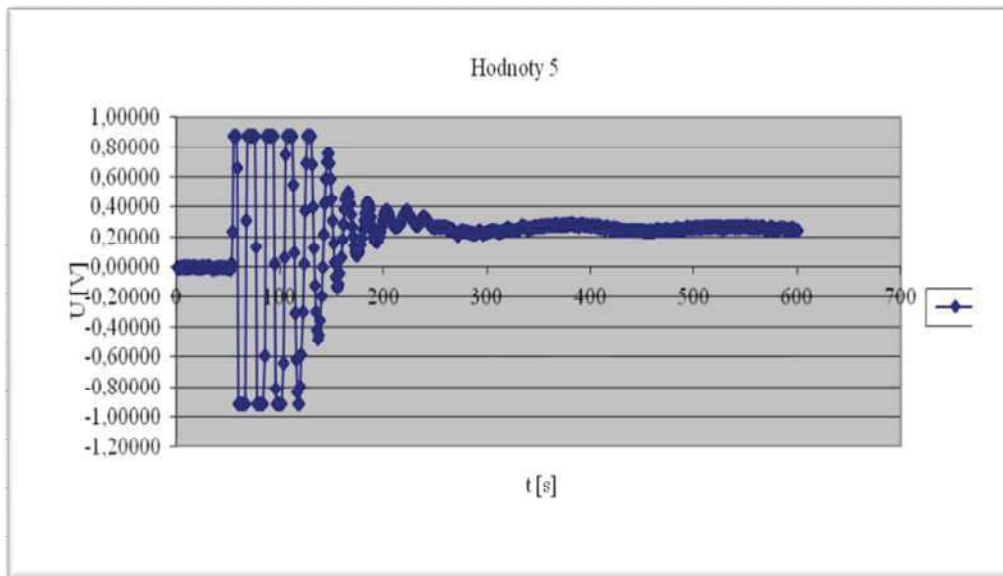
Graf 4.4 Závislost napětí v čase při měření cívky na kruhovém aplikátoru; hodnoty 2



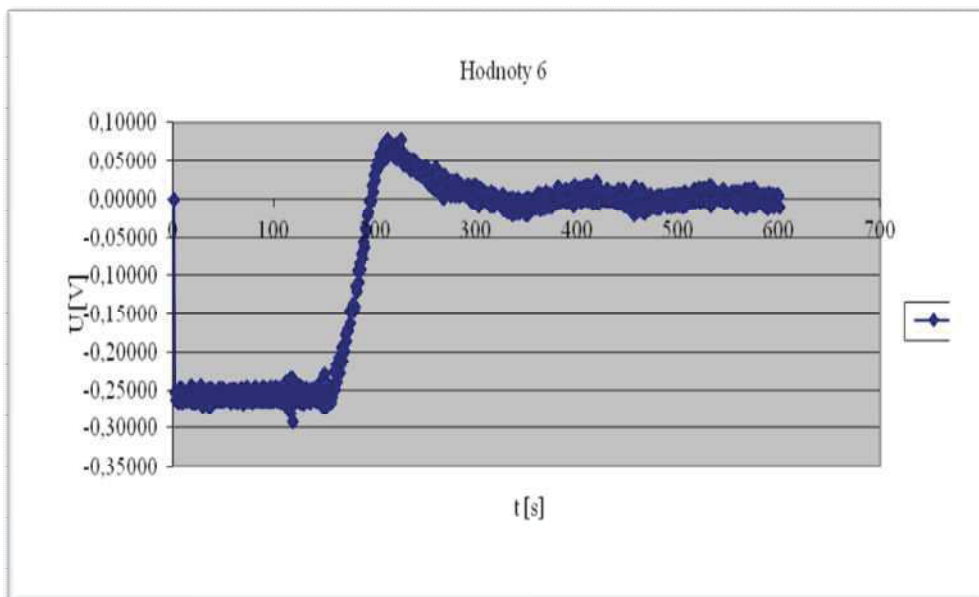
Graf 4.5 Závislost napětí v čase při měření cívky na kruhovém aplikátoru; hodnoty 3



Graf 4.6 Závislost napětí v čase při měření cívky na kruhovém aplikátoru; hodnoty 4

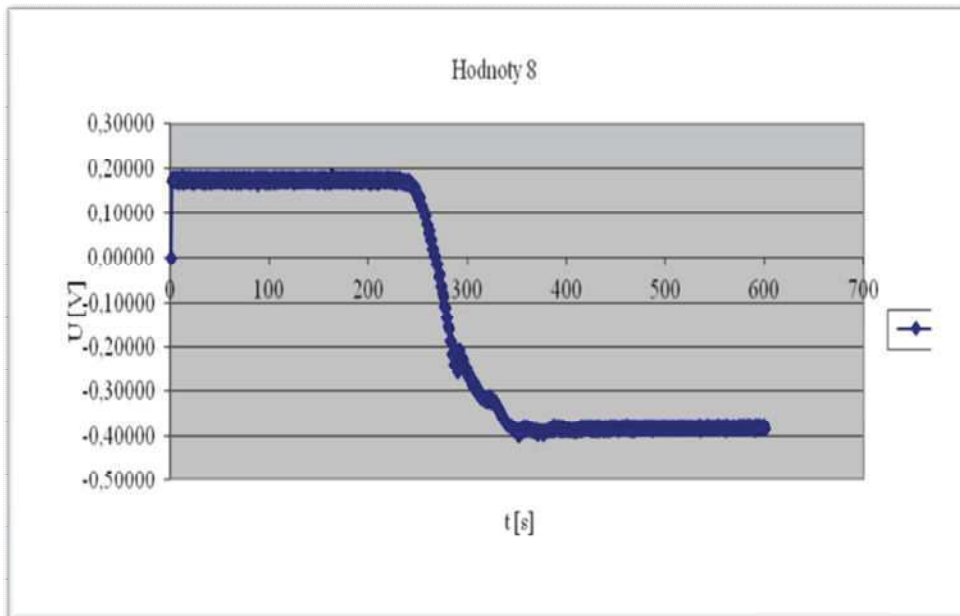


Graf 4.7 Závislost napětí v čase při měření cívky na kruhovém aplikátoru; hodnoty 5

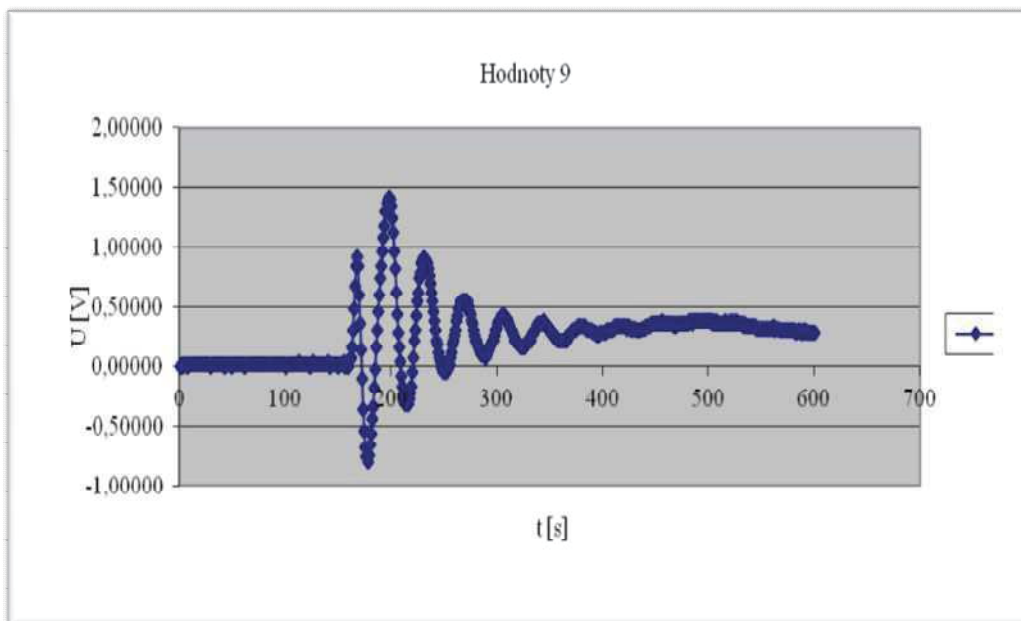


Graf 4.8 Závislost napětí v čase při měření cívky na kruhovém aplikátoru; hodnoty 6

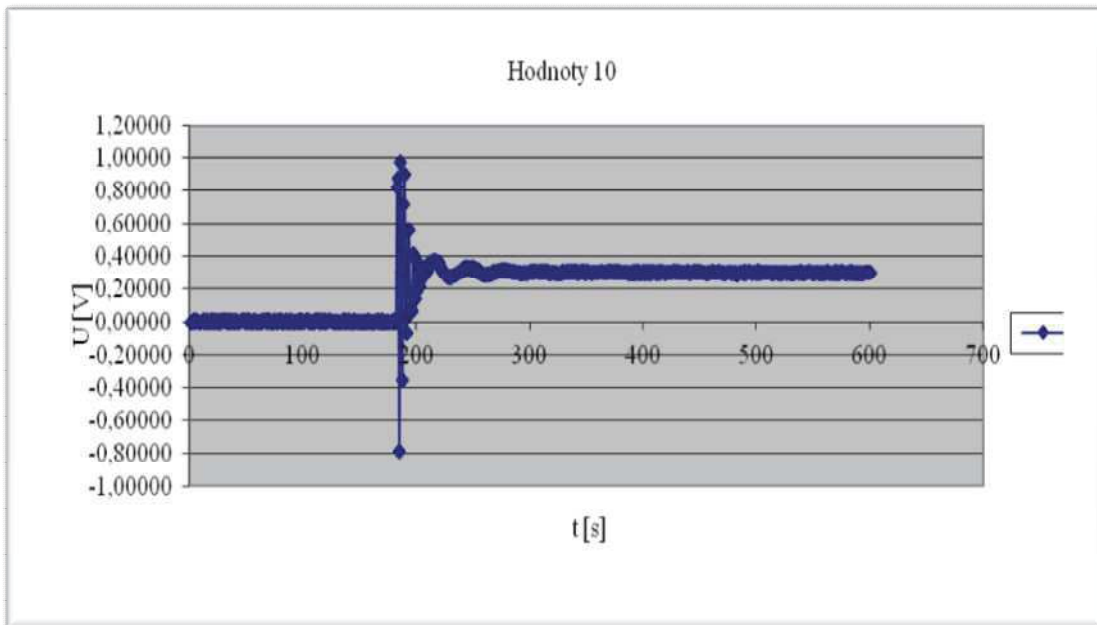
Po té jsme na aplikátor umístili prasečí koleno se zavedenou cívkou a opět měřili napětí, viz následující grafy 3.9 – 3.13.



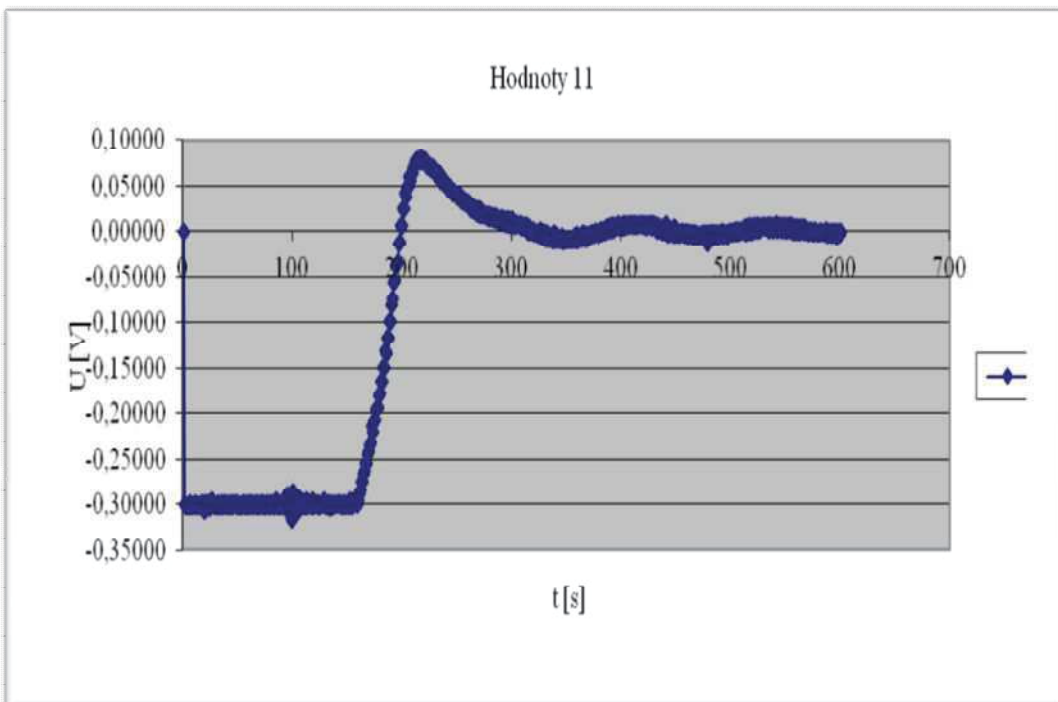
Graf 4.9 Závislost napětí v čase při měření cívky v prasečím kolenní na kruhovém aplikátoru; hodnoty 8



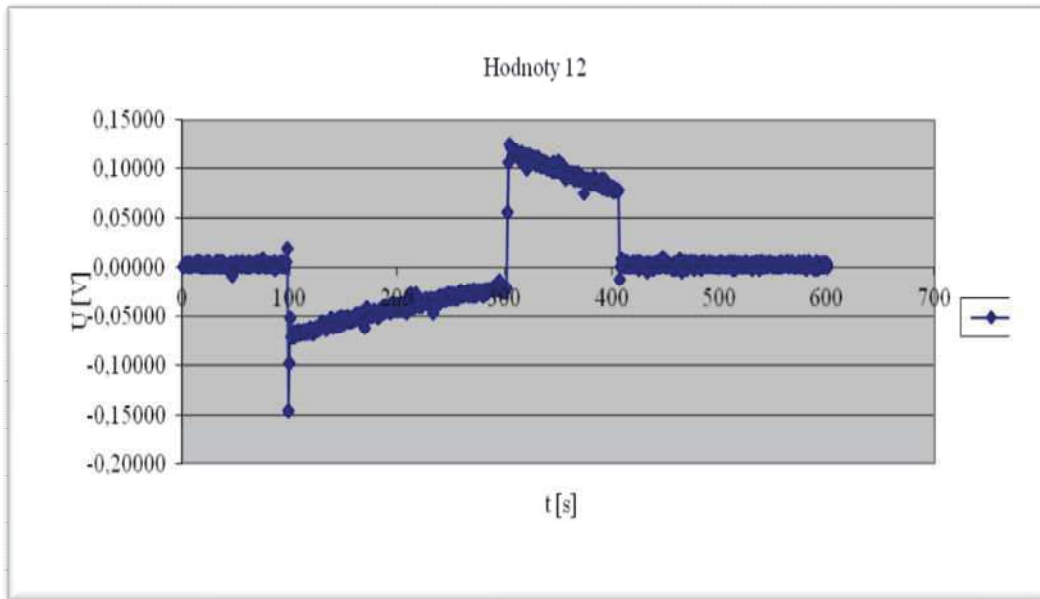
Graf 4.10 Závislost napětí v čase při měření cívky v prasečím kolenní na kruhovém aplikátoru; hodnoty 9



Graf 4.11 Závislost napětí v čase při měření cívky v prasečím kolenní na kruhovém aplikátoru; hodnoty 10

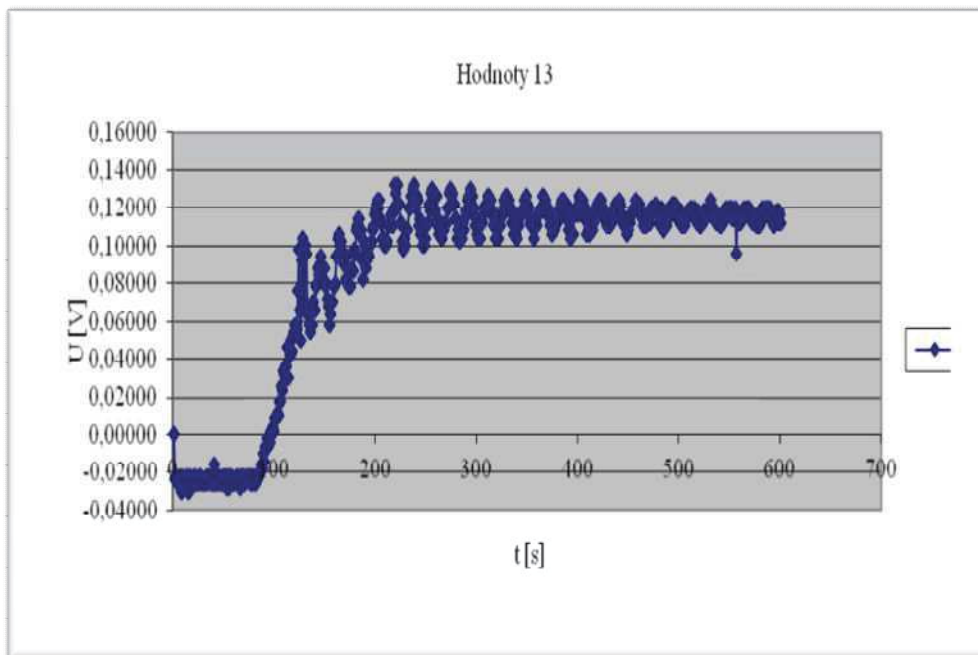


Graf 4.12 Závislost napětí v čase při měření cívky v prasečím kolenní na kruhovém aplikátoru; hodnoty 11



Graf 4.13 Závislost napětí v čase při měření cívky v prasečím kolenu na kruhovém aplikátoru; hodnoty 12

Z grafu 4.13 vidíme, že tkáň ovlivňuje průběh obdélníkového pulzu.

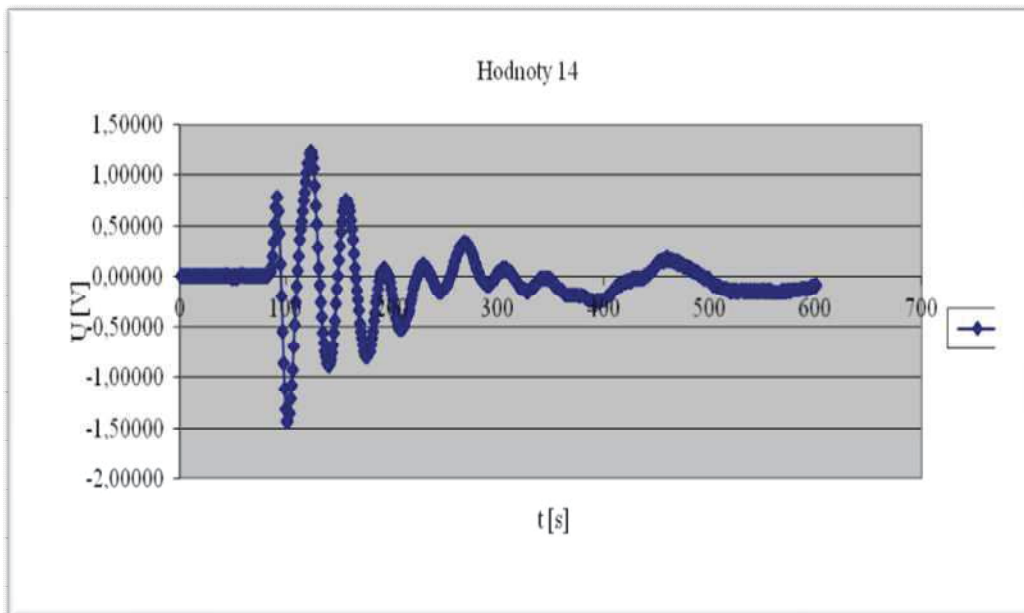


Graf 4.14 Závislost napětí v čase při měření cívky v prasečím kolenu na kruhovém aplikátoru; hodnoty 13

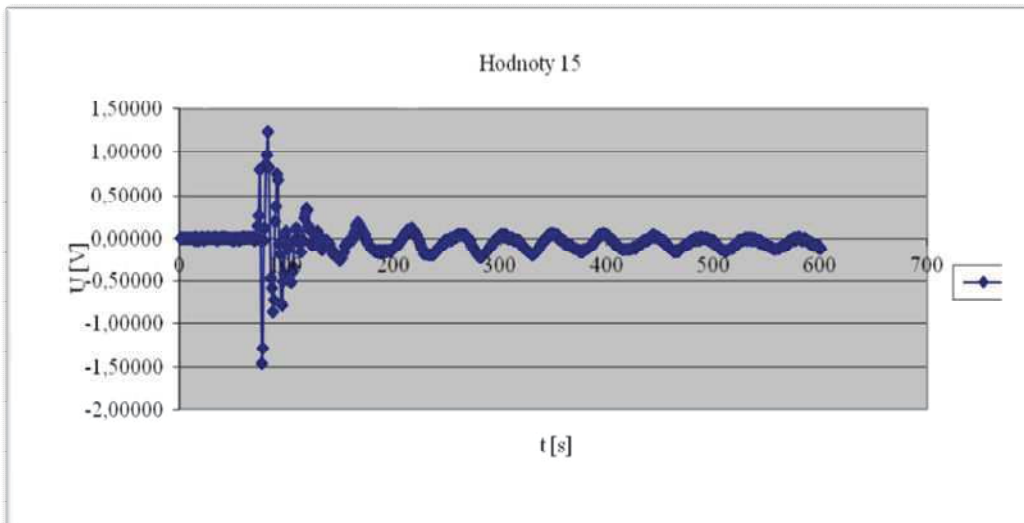
Hodnota napětí byla záporná, v čase $t=1s$ byla $U=0V$ a rostla k hodnotě $U=0,13V$ (viz graf 4.14).

Příloha B

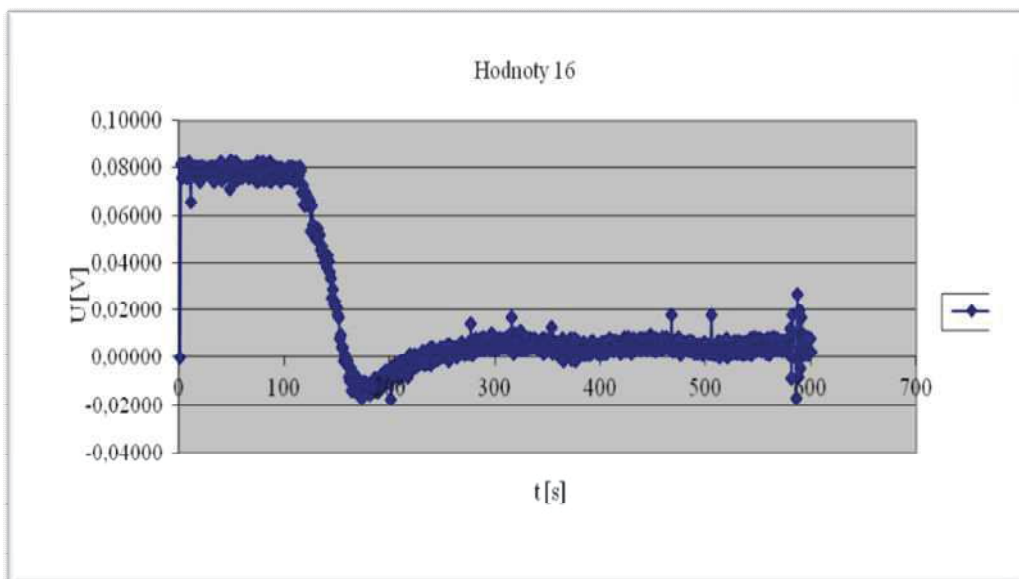
Příloha B obsahuje grafy z měření cívky v solenoidu. Grafy 4.15 – 4.21 zobrazují průběhy napětí cívky v solenoidu bez prasečí tkáně.



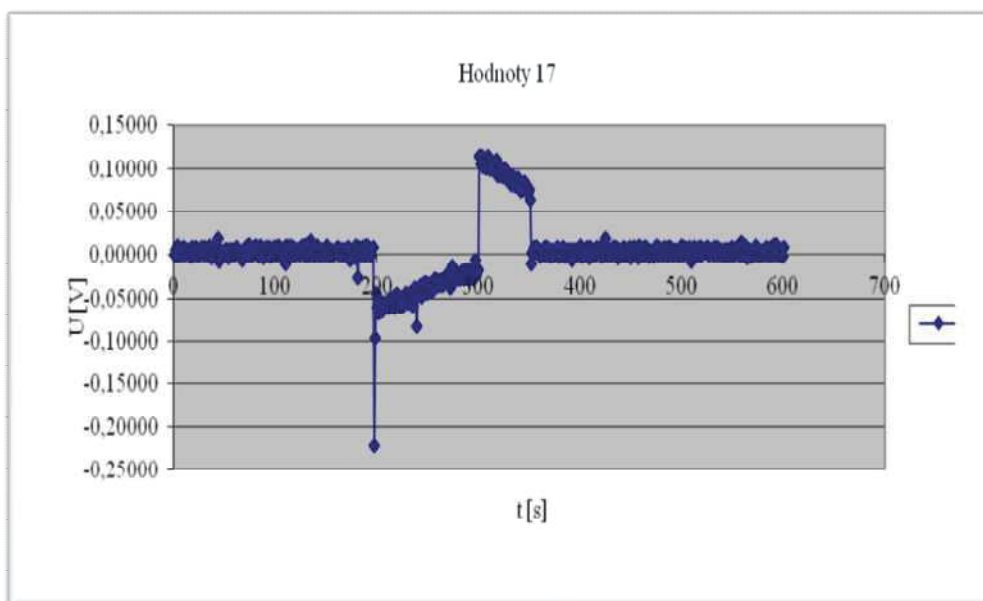
Graf 4.15 Závislost napětí v čase při měření cívky uvnitř solenoidu; hodnoty 14



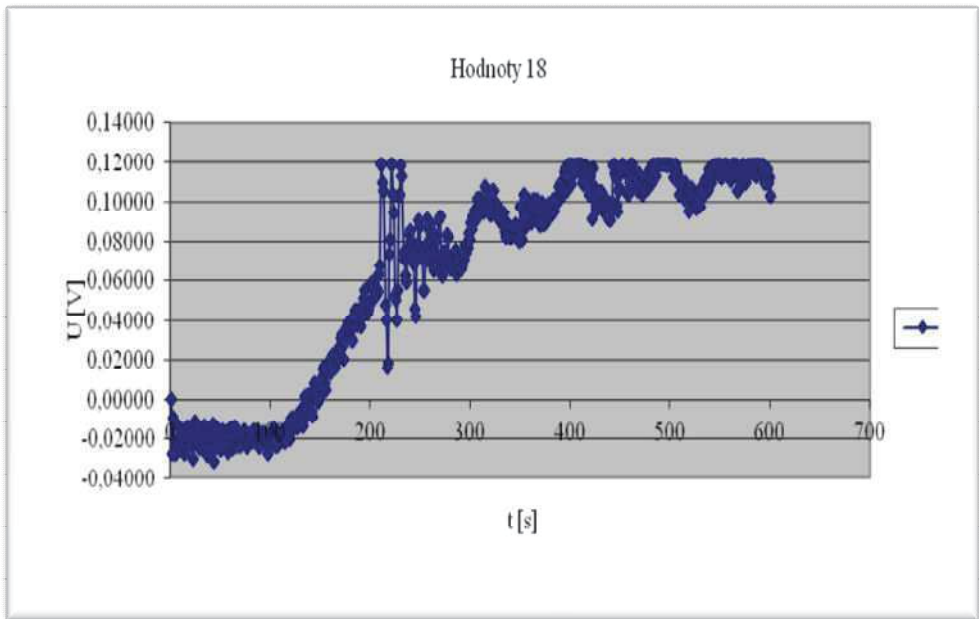
Graf 4.16 Závislost napětí v čase při měření cívky uvnitř solenoidu; hodnoty 15



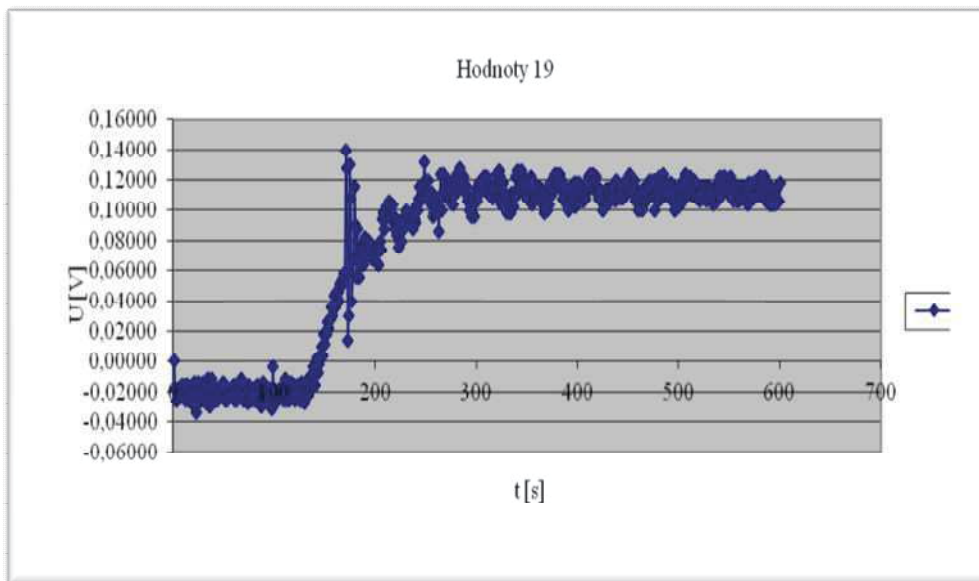
Graf 4.17 Závislost napětí v čase při měření cívky uvnitř solenoidu; hodnoty 16



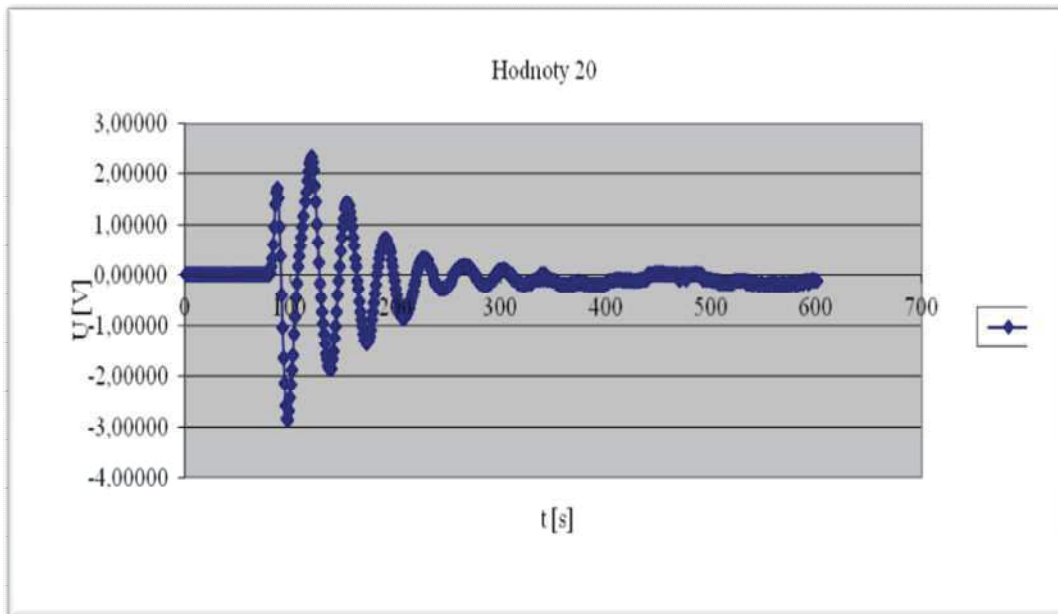
Graf 4.18 Závislost napětí v čase při měření cívky uvnitř solenoidu; hodnoty 17



Graf 4.19 Závislost napětí v čase při měření cívky uvnitř solenoidu; hodnoty 18

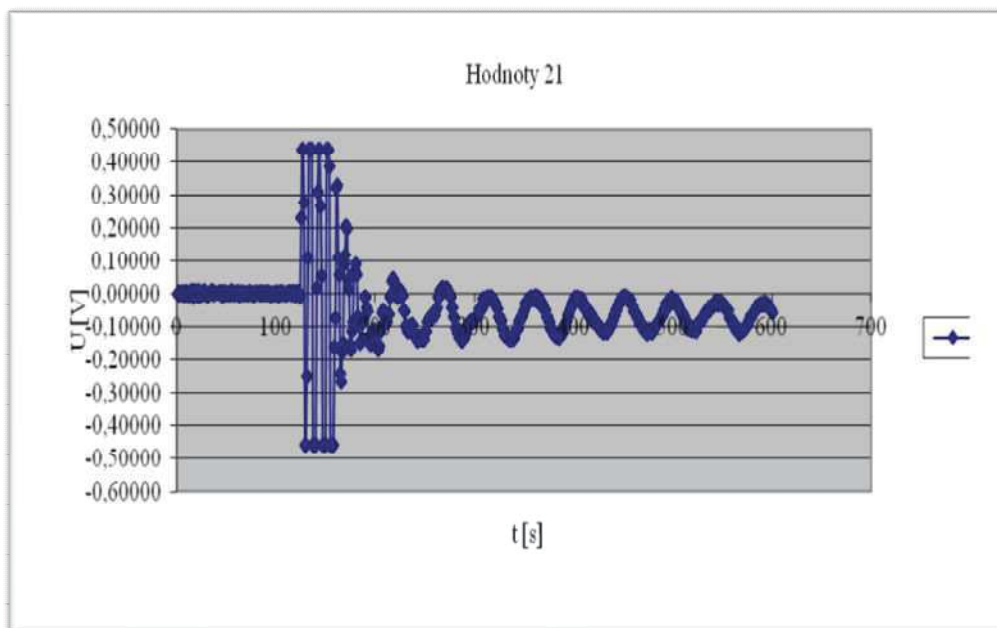


Graf 4.20 Závislost napětí v čase při měření cívky uvnitř solenoidu; hodnoty 19

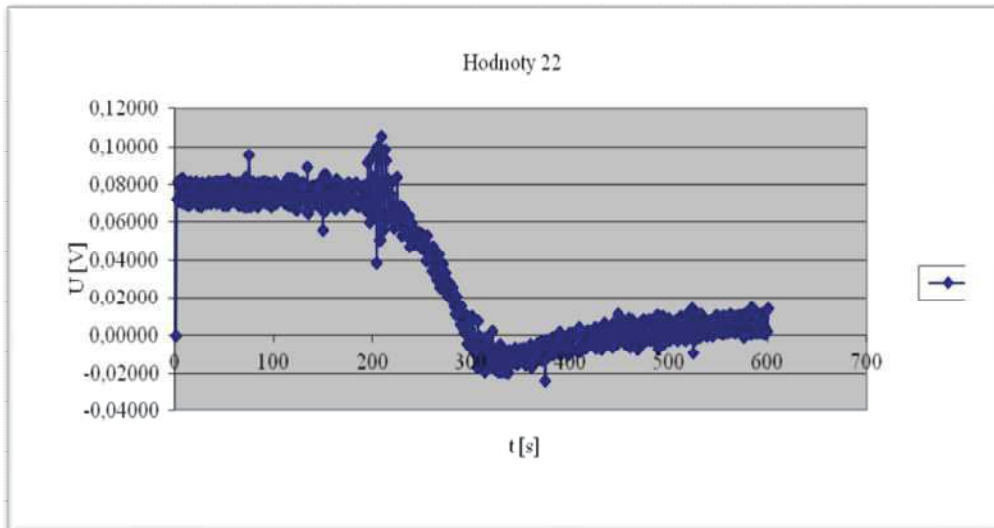


Graf 4.21 Závislost napětí v čase při měření cívky uvnitř solenoidu; hodnoty 20

Po vložení cívky do prasečího kolene jsme znovu měřili hodnoty napětí, viz grafy č. 22-28.

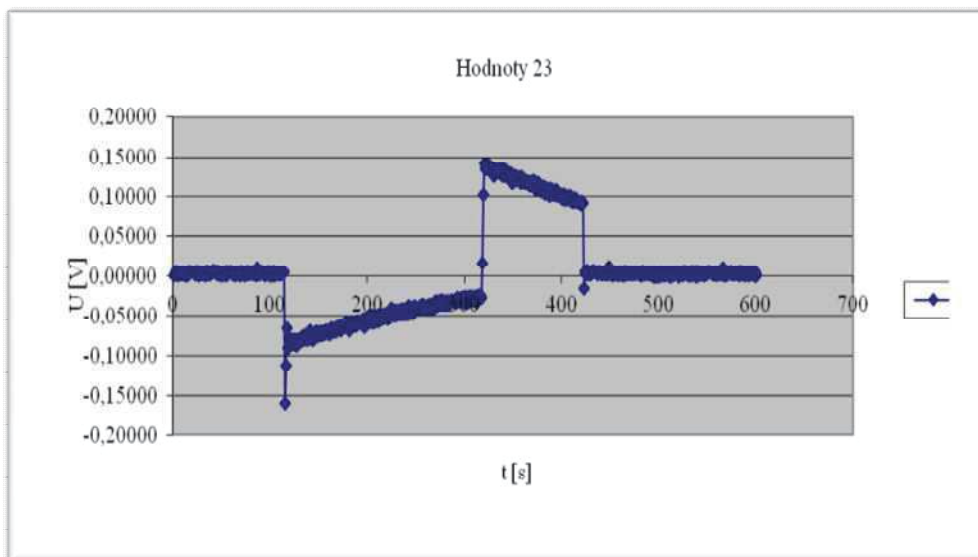


Graf 4.22 Závislost napětí v čase při měření cívky v prasečím kolenu uvnitř solenoidu; hodnoty 21



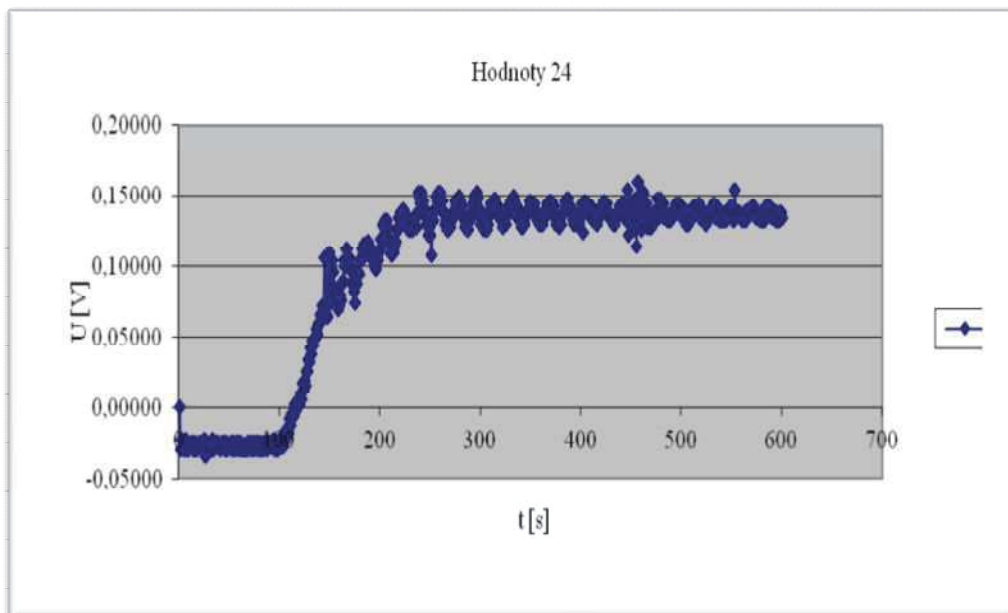
Graf 4.23 Závislost napětí v čase při měření cívky v prasečím kolenu uvnitř solenoidu; hodnoty 22

U hodnot 22 vidíme z grafu 4.23 pokles napětí v čase $t=2$ s.

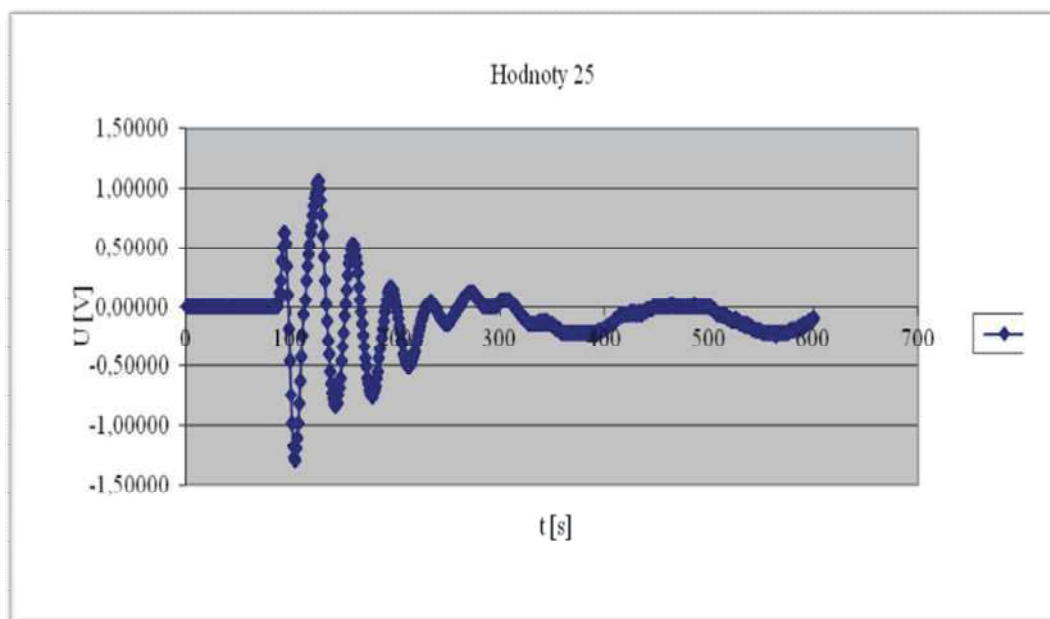


Graf 4.24 Závislost napětí v čase při měření cívky v prasečím kolenu uvnitř solenoidu; hodnoty 23

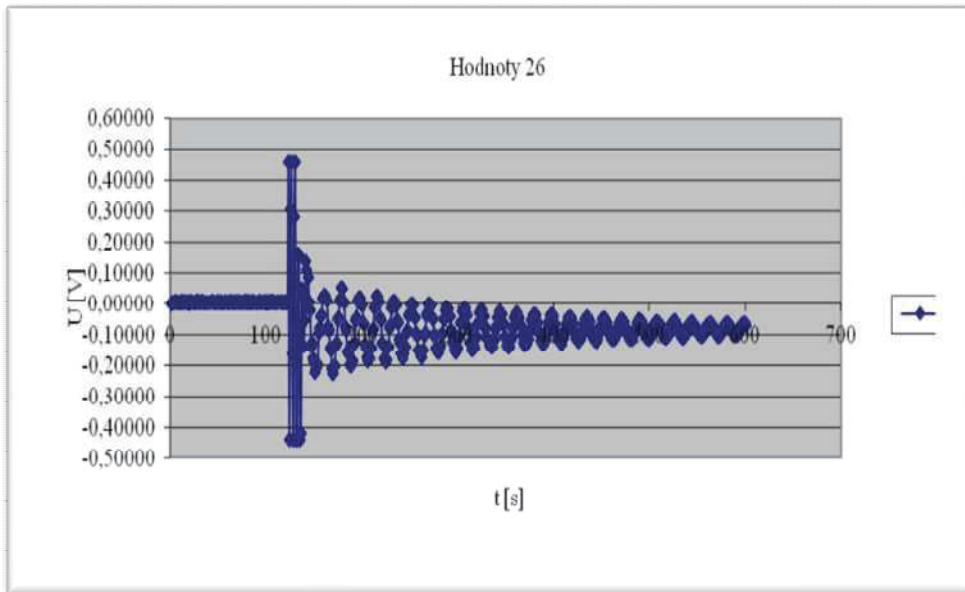
Graf 4.24 zobrazuje opět typický průběh. V čase $t=1$ s je hodnota $U=-0,15$ V.



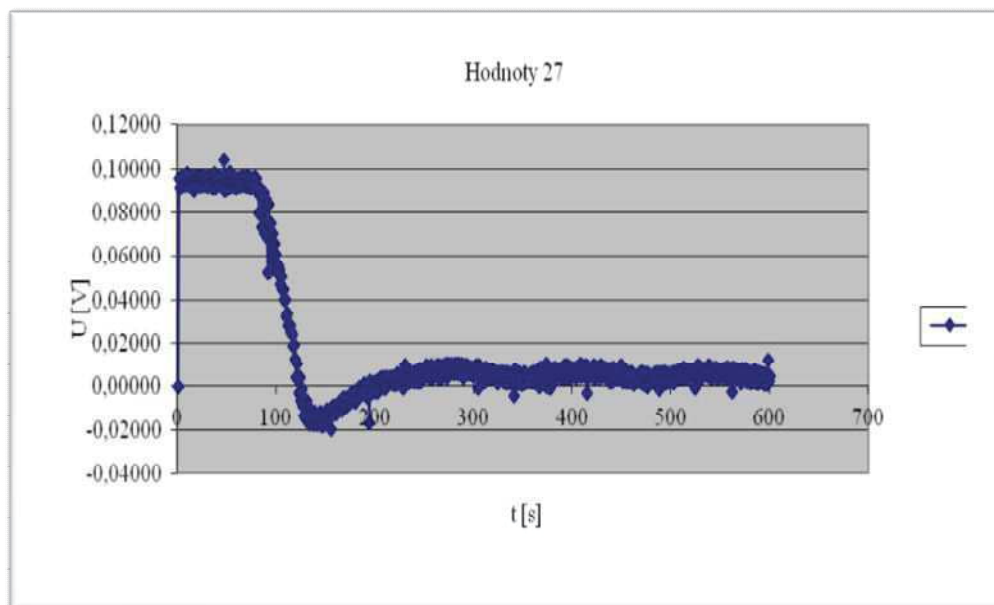
Graf 4.25 Závislost napětí v čase při měření cívky v prasečím kolenu uvnitř solenoidu; hodnoty 24



Graf 4.26 Závislost napětí v čase při měření cívky v prasečím kolenu uvnitř solenoidu; hodnoty 25



Graf 4.27 Závislost napětí v čase při měření cívky v prasečím koleni uvnitř solenoidu; hodnoty 26



Graf 4.28 Závislost napětí v čase při měření cívky v prasečím koleni uvnitř solenoidu; hodnoty 27

Z grafu 4.28 vidíme, že v čase $t=0,9\text{s}$ se hodnota měření začala snižovat z 0,1 V na -0,02 V a následně se pohybovala okolo 0 V.