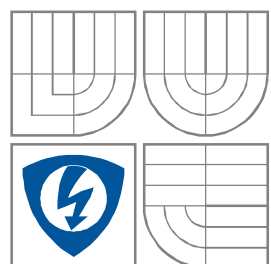


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

ÚČINKY NESTACIONÁRNÍCH MAGNETICKÝCH POLÍ NA BIOLOGICKÉ MATERIÁLY

EFFECTS OF NON-STATIONARY MAGNETIC FIELDS ON BIOLOGICAL MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S PROJECT

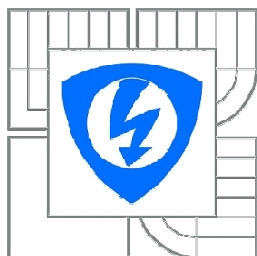
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Monika Heczková

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Mgr. Daniel Vlk, CSc.

BRNO, 2011



VYSOKÉ UČENÍ
Fakulta elektrotechniky
A komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Bakalářská práce

Bakalářský studijní obor
Biomedicínská technika a bioinformatika

Studentka: Monika Heczková

ID:120313

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/11

NÁZEV TÉMATU:

Účinky nestacionárních magnetických polí na biologické materiály

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte vlastnosti proměnných magnetických polí a jejich účinky na biologické materiály. Zaměřte se na biomakromolekuly, případně bakteriální buňky. Zpracujte literární rešerši k uvedenému problému. V průběhu experimentu sledujte působení proměnných magnetických polí (závislosti na délce impulsu, proudu v impulsu a době působení) na BSA a DNA pomocí dostupných metod (spektrofotometrie, elektroforéza aj.). Diskutujte získané výsledky a vhodným způsobem je prezentujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Biological effects of magnetic and electromagnetic fields, edited by Shoogo Ueno, 1996, Plenum Press, New York.
[2] STAFFA, E. Měření parametrů elektromagnetického pole vyzařovaného zdravotnickými přístroji, diplomová práce, Masarykova Univerzita 2010.

Termín zadání: 7. 2. 2011

Termín odevzdání: 27.5. 2011

Vedoucí práce: Mgr. Daniel Vlk, CSc.

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Cílem této práce bylo prozkoumat vliv proměnných magnetických polí či pole IVMP na nativní a denaturovanou deoxyribonukleovou kyselinu. A pomocí statistické metody analýzy rozptylu, vyhodnotit naměřená data.

Klíčová slova

Magnetické pole; efekty magnetických polí na DNA; deoxyribonukleový kyselina.

Abstract

The aim of this study was to examine the effect of variable magnetic fields or fields IVMP on native and denatured deoxyribonucleic acid. And by using the statistical method of analysis of variance, to evaluate the measured data.

Keywords

Magnetic field; effects of magnetic fields on DNA; deoxyribonucleotid acid.

Bibliografická citace

HECZKOVÁ, M. *Účinky nestacionárních magnetických polí na biologické materiály: bakalářská práce.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 47 s.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Účinky nestacionárních magnetických polí na biologické materiály jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....
podpis autorky

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Mgr. Danieli Vlkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. A dále děkuji Mgr. Zbyňku Bortlíčkovi za cenné rady v oblasti statistiky.

V Brně dne

.....
podpis autorky

Obsah

1. ÚVOD	2
2. TEORETICKÝ ÚVOD	3
2.1 ELEKTROMAGNETICKÉ POLE	3
2.1.1 Základní vlastnosti.....	3
2.1.2 Magnetické pole elektrického proudu.....	7
2.2 POLE IMPULSNÍHO VEKTOROVÉHO MAGNETICKÉHO POTENCIÁLU - IVMP	8
2.2.1 Generace pole impulsního vektorového magnetického potenciálu.....	9
2.3 EPIDEMIOLOGICKÉ STUDIE	10
2.4 VLIV MAGNETICKÝCH POLÍ NA BIOLOGICKÉ SYSTÉMY	12
2.5 VLIV NA LIDSKÝ ORGANISMUS	14
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	17
3.1 POUŽITÉ PŘÍSTROJE	17
3.2 MĚŘENÍ A VÝSLEDKY	19
3.2.1 Nativní DNA s délkou impulsu 2ms	20
3.2.2 Nativní DNA s délkou impulsu 0,1 ms	23
3.2.3 Nativní DNA s délkou impulsu 10 ms	25
3.2.4 Denaturovaná DNA s délkou impulsu 2 ms.....	28
3.2.5 Denaturovaná DNA s délkou impulsu 0,1 ms	31
3.2.6 Denaturovaná DNA s délkou impulsu 10 ms	34
3.3 DISKUZE.....	37
3.3.1 Nativní DNA	37
3.3.2 Denaturovaná DNA	39
4. ZÁVĚR.....	41
5. LITERATURA	42
6. SEZNAM OBRÁZKŮ.....	46
7. SEZNAM TABULEK	47

1. Úvod

Už v dávných dobách byla známá síla magnetovce. Nicméně pouze v posledních desetiletích se setkáváme se spolehlivými důkazy biologických efektů magnetického pole. Studie biologického působení magnetického pole je stále více v centru zájmu mnoha výzkumů. Snažíme se porozumět tomu, jak bezpečný či nebezpečný je pro nás dlouhodobý vliv umělých magnetických polí a jaký vliv může mít na naše životní prostředí.

Prvotním cílem této bakalářské práce je sledování účinků proměnných magnetických polí na deoxyribonukleovou kyselinu - DNA sledího mlíčí. Práce zahrnovala přípravu roztoku DNA, její ozařování generátorem ENJOY a následné vyhodnocení ozářeného roztoku DNA spektrofotometrem Genesys 6. Naměřené hodnoty se dále pomocí programu Statistika vyhodnocovaly vhodnou metodou. Z možných dostupných metod se nejlépe jevila analýza rozptylu – ANOVA.

Bakalářská práce je rozdělena do sedmi kapitol. Po úvodu je v druhé kapitole přiblížen stručný teoretický základ k této problematice. Dozvíme se jakými účinky působí magnetické pole na biologické systémy a na lidský organismus. Třetí kapitola se vztahuje na experimentální část, kde je popsána metoda měření, zpracování dat a zahrnuje diskuzi k získaným výsledkům. Čtvrtá kapitola shrnuje poznatky získané během měření. Na závěr je uveden seznam obrázků tabulek a použitá literatura.

2. Teoretický úvod

2.1 Elektromagnetické pole

Magnetické či elektrické pole je nedílnou součástí prostředí ve kterém žijeme. V poslední době došlo ke značnému rozšíření umělých elektromagnetických polí, které interagují s živými organismy. Cílem řady studií je tedy zjistit, jak tato pole ovlivňují biologické objekty. Teorii elektromagnetického pole se zabýval a shrnul J.C. Maxwell [1].

2.1.1 Základní vlastnosti

Elektromagnetické pole vzniká složením magnetického a elektrického pole. Charakteristické veličiny popisující magnetické či elektrické pole jsou:

Název veličiny	Jednotka	SI-jednotka	Fyzikální symbol
Vektor intenzity elektrického pole	$V \cdot m^{-1}$	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	E
Vektor intenzity magnetického pole	$A \cdot m^{-1}$	$m^{-2} \cdot s \cdot A$	H
Vektor elektrické indukce	$C \cdot m^{-2}$	$A \cdot m^{-1}$	D
Vektor magnetické indukce	T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	B

Tabulka 2.1: Fyzikální veličiny popisující elektromagnetické pole.

V úvahu musíme brát také veličiny, které popisují prostředí, ve kterém se pole šíří zejména permitivitu (ϵ) a permeabilitu (μ) [2].

Tyto Jsou popsány vztahy:

$$\mathbf{D} = \epsilon \cdot \mathbf{E} , \quad (2.1)$$

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H} . \quad (2.2)$$

Pro orientaci uvádím hodnoty pro vakuum :

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} F \cdot m^{-1} \quad (2.3)$$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} H \cdot m^{-1} \quad (2.4)$$

Elektrické a magnetické pole spolu navzájem souvisí. Teorii elektromagnetismu popsal a shrnul J.C. Maxwell do následující soustavy čtyř diferenciálních rovnic, které nesou jeho jméno [3].

$$\operatorname{div}\mathbf{E} = \rho / \varepsilon_0 \quad (2.5)$$

$$\operatorname{rot}\mathbf{E} = - \delta \mathbf{B} / \delta t \quad (2.6)$$

$$\operatorname{div}\mathbf{B} = 0 \quad (2.7)$$

$$c^2 \operatorname{rot}\mathbf{B} = \delta \mathbf{B} / \delta t + \mathbf{i} / \varepsilon_0 \quad (2.8)$$

kde:

$$\operatorname{div} = \left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

$$\operatorname{rot} = \left(\frac{\partial_{(z)}}{\partial_y} - \frac{\partial_{(y)}}{\partial_z}, \frac{\partial_{(x)}}{\partial_z} - \frac{\partial_{(z)}}{\partial_x}, \frac{\partial_{(y)}}{\partial_x} - \frac{\partial_{(x)}}{\partial_y} \right)$$

ρ – hustota elektrického náboje

ε_0 – permitivita vakua

c – rychlost světla = $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

\mathbf{i} – vektor elektrického proudu ($\mathbf{i} = \sigma \mathbf{E}$, kde σ je vodivost prostředí).

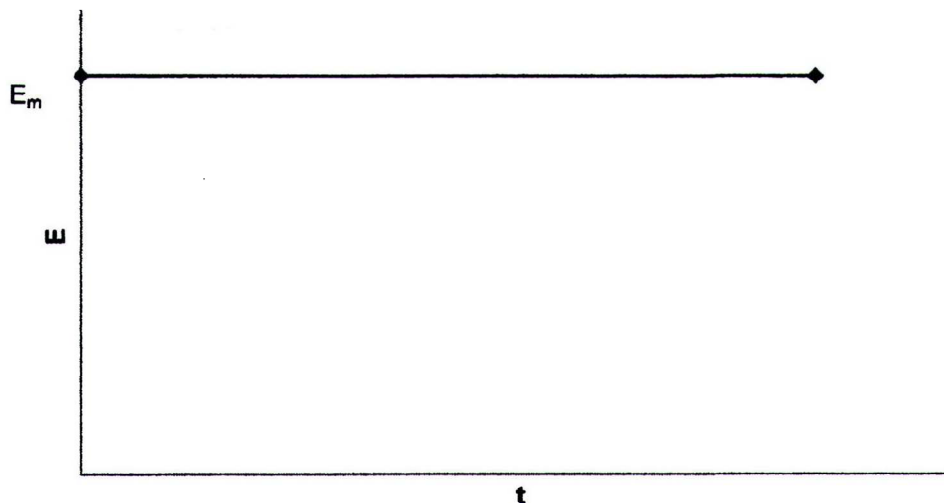
Z těchto rovnic můžeme vyvodit tyto základní poznatky:

- vektory magnetického pole jsou navzájem kolmé na vektory elektrického pole
- elektromagnetická vlna se šíří rychlostí c
- magnetické pole je indukováno změnou elektrického pole a naopak
- je-li magnetické pole periodické, je i elektrické pole periodické s totožnou periodou

Elektromagnetické pole můžeme rozdělit podle časového průběhu [4]:

1. statická

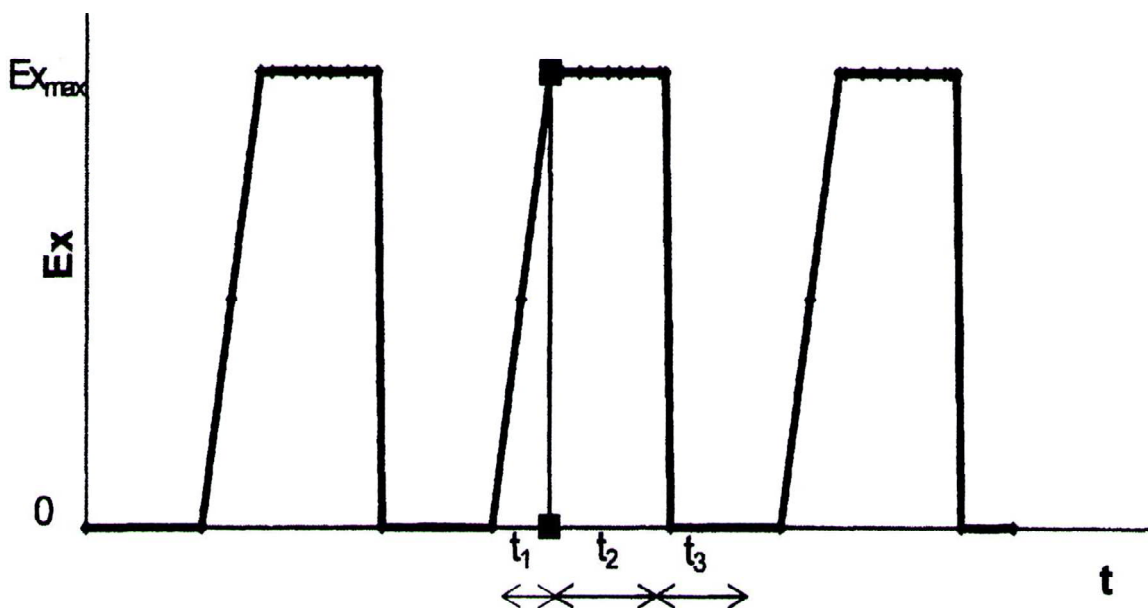
Vektor magnetického a elektrického pole se s časem nemění .



Obrázek 2.0.1: Závislost intenzity E na čase t ve statickém poli.

2. pulsní

Má časově proměnný vektor, tedy složka vektoru magnetického a elektrického pole osciluje mezi nulovou a určitou hodnotou B_{\max} nebo E_{\max} .



Obrázek 2.0.2: Závislost intenzity E na čase t v harmonickém poli.

3. harmonická

Průběh se dá popsat pomocí funkce sinus. Vektor magnetického pole se mění podle vztahu :

$$B = B_m \sin \omega t \quad (2.9)$$

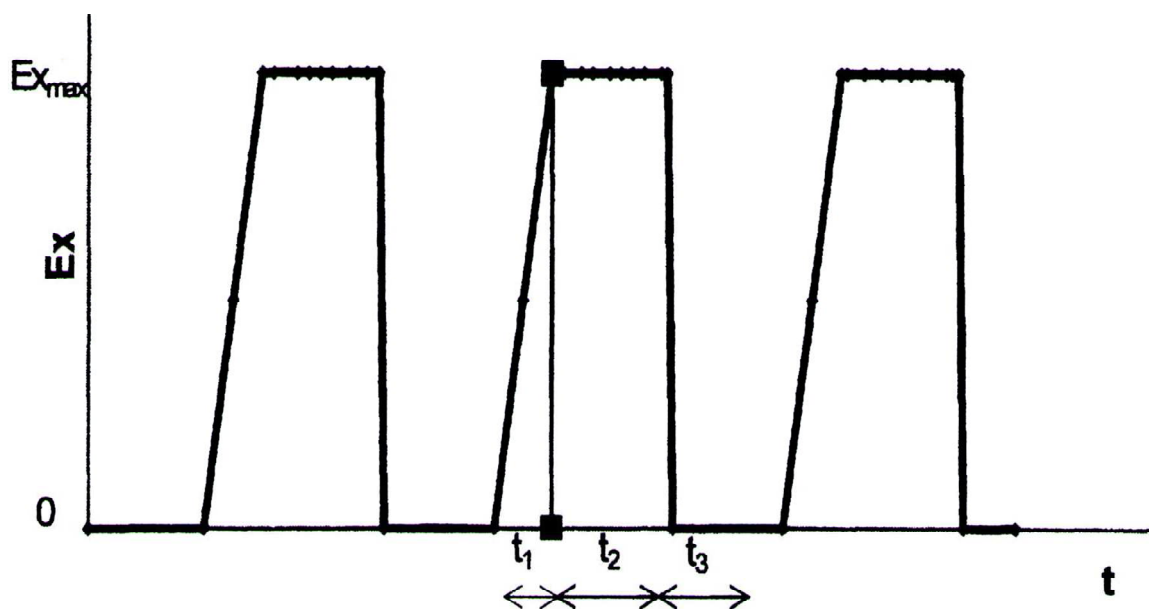
Kde B_m je hodnota amplitudy magnetického pole (maximální hodnota), $\omega = 2\pi f$ je úhlová frekvence s jednotkou $[\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}]$ a f je frekvence s jednotkou $[\text{Hz}]$.

Velikost pole může být také charakterizována pomocí efektivních hodnot indukci B_{ef} , které odpovídají střední hodnotě polí v každé půlperiodě. Mezi amplitudou a efektivní hodnotou je vztah :

$$B_{ef} = \frac{B_m}{\sqrt{2}} \quad (2.10)$$

4. jiná

Pole vzniklá superpozicí polí zmíněných výše.



Obrázek 2.0.3: Závislost intenzity E na čase t v pulzním poli.

Pro naše měření bylo zvoleno magnetické nestacionární pole. Zdrojem pro toto pole může být:

1. nepohybující se vodič s časově proměnným proudem
2. pohybující se vodič s proudem
3. pohybující se permanentní magnet nebo elektromagnet

Interakce magnetických polí s biologickými objekty je náplní vědní disciplíny magnetobiologie. Z hlediska vzniku a účinku je možné magnetická pole obecně dělit na pole [5] :

- biomagnetická v rozsahu $10^{-14} - 10^{-8} T$
- geomagnetická v rozsahu $10^{-10} - 10^{-4} T$
- technická v rozsahu $10^{-6} - 10^2 T$

Další třídící hlediska mohou respektovat:

- prostorové rozložení, pole homogenní a nehomogenní;
- závislost na čase, pole stejnosměrná, střídavá, impulsní;
- frekvenci, pole nízkofrekvenční a vysokofrekvenční;
- velikost intenzity (indukce), pole slabá, střední a silná;
- vznik, pole přirozeně nebo uměle vytvářená.

2.1.2 Magnetické pole elektrického proudu

Biotův-Savartův zákon

Magnetické pole vodiče, kterým protéká elektrický proud, můžeme určit pomocí Biotova-Savartova zákona. Podle tohoto zákona je magnetická indukce B tvořena proudovým elementem $I ds$ ve vzdálenosti r od tohoto elementu dána vztahem:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Ids \cdot r}{r^3} \quad (2.11)$$

Kde r je vektor, který směřuje od elementu $I ds$ do bodu, v němž určuje magnetickou indukci.

Veličina μ_0 je permeabilita vakua [6].

Ampérův zákon

Vztah mezi elektrickým proudem a magnetickou indukcí vyjadřuje vedle Biotova-Savartova zákona Ampérův zákon:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \cdot I_c \quad (2.12)$$

Křivkový integrál počítáme podél uzavřené orientované křivky, která se nazývá Ampérová křivka. Proud I_c celkový elektrický proud, obepnutý křivkou (to znamená celkový proud, který prochází libovolnou plochou, mající za hranici tuto uzavřenou plochu) [6].

Magnetické pole dlouhého přímého vodiče

Velikost magnetické indukce ve vzdálenosti R od nekonečně dlouhého přímého tenkého vodiče, kterým protéká elektrický proud I , je vyjádřen vztahem:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad (2.13)$$

Velikost magnetické indukce závisí pouze na velikosti proudu a vzdálenosti uvažovaného bodu od vodiče. Indukční čáry vektoru magnetické indukce B mají tvar soustředných kružnic kolem vodiče [6].

Magnetické pole solenoidu

Solenoidem rozumíme vodič navinutý těsně vedle sebe na válcové ploše. Vektor magnetické indukce v libovolném bodě na ose solenoidu stanovíme jako součet jednotlivých závitů solenoidu. Má-li solenoid o délce l celkem N závitů, připadá na jednotku délky

$n = \frac{N}{l}$ a velikost magnetické indukce bude mít velikost [6]:

$$B = \mu_0 \frac{IN}{l} \quad (2.14)$$

Magnetické pole toroidu

Toroidem můžeme nazývat cívku uspořádanou do prstence o poloměru r , jejíž závitů jsou navinuty těsně vedle sebe. Má-li cívka N závitů, bude celkový proud, který siločáry obepíná I a Magnetickou indukci B tedy můžeme určit pomocí Ampérova zákona:

$$B = \frac{\mu_0 IN}{2\pi r} \quad (2.15)$$

Siločáry magnetického pole uvnitř toroidu tvoří tedy osustředné kružnice se středem ve středu toroidu [6].

2.2 Pole Impulsního vektorového magnetického potenciálu - IVMP

Jedním z cílů projektu uvedeného v úvodu je pomocí biofyzikálních experimentů prokázat existenci pole impulsního vektorového magnetického potenciálu. Rozhodnutí provést tyto pokusy bylo motivováno příznivou souhrou poznatků získaných při řešení jiných biofyzikálně-výzkumných úkolů [7]. Hlavním cílem projektu je ověřit, zda je impulsní vektorový magnetický potenciál zjištělný.

2.2.1 Generace pole impulsního vektorového magnetického potenciálu

Magnetické pole není konzervativní, a tedy u něj neexistuje možnost zjednodušení obou jeho základních rovnic (Maxwellovy rovnice), podobně jako je to možné u elektrostatického pole zavedením existujícího skalárního potenciálu. Proto tvůrci teorie elektrického a magnetického pole v druhé polovině 19. století použili „pomocnou“ fyzikální veličinu ovšem bez předpokladu její skutečné existence, tzv. vektorový magnetický potenciál A , která by umožnila zjednodušit matematický popis magnetického pole obdobným způsobem.

Definičním vztahem této veličiny je rovnice:

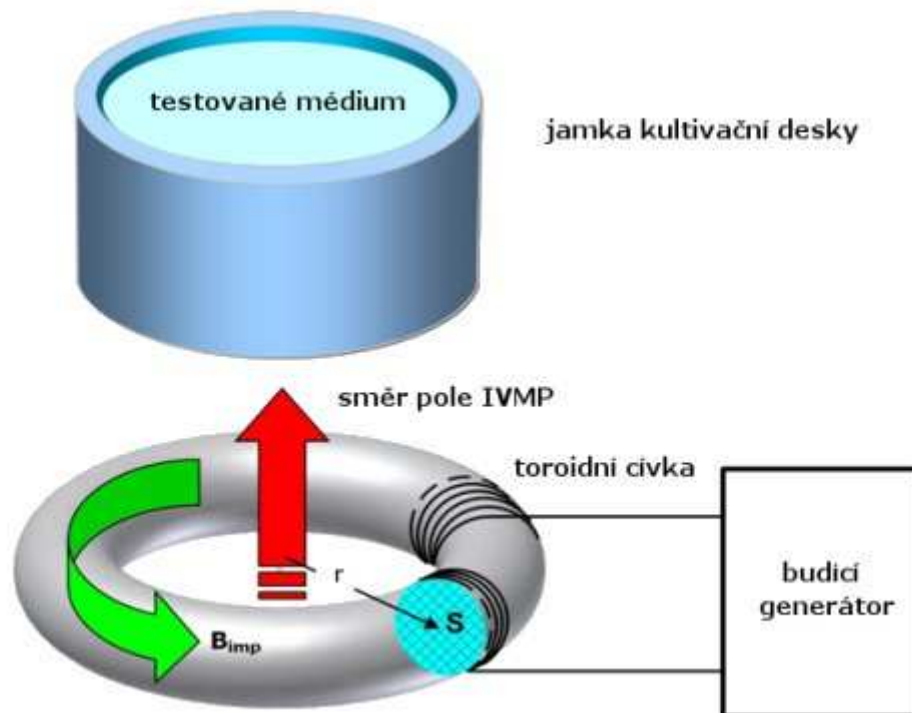
$$B = \text{rot}A(x), \quad (2.16)$$

kde B je vektor magnetické indukce [T] a A značí vektorový magnetický potenciál [Tm nebo Wb/m]. Jedná se o parciální diferenciální rovnici pro zadanou veličinu B a hledanou neznámou veličinu A a řešení rovnice není jednoznačné, tj. pro dané magnetické pole B existuje nekonečně mnoho vektorových potenciálů A .

V roce 1956 publikovali Aharonov a Bohm zprávu o experimentu zabývajícím se překvapivou vlastností této veličiny popírající původní představy o její pouze pomocné funkci. Výsledkem pokusu totiž byly průkazné interferenční jevy, způsobené ovlivněním jednoho z paprsků rozdvojeného svazku ve vakuu se pohybujících elektronů přítomností vektorového magnetického potenciálu. Senzorem působení silového pole vektorového magnetického potenciálu A na výslednou měřitelnou veličinu byly interference vlnoploch elektronů detekované speciálním interferometrem [8].

Vektorový magnetický potenciál A je spojen s magnetickou indukcí B vztahem (2.16) ze kterého vyplývá charakteristická vazba obou fyzikálních veličin, tj. v daném bodě je směr vektoru A vždy kolmý na směr vektoru magnetické indukce B . Zdrojem statického vektorového magnetického potenciálu A je příkladně velmi dlouhá cívka ($l/d \gg 1$, l -délka a d -průměr cívky), s magnetickým polem soustředěným v jejím jádře. Takový induktor použili Aharon a Bohm v již zmíněném experimentu. Druhým příkladem možného zdroje vektorového magnetického potenciálu A je tzv. toroidní cívka (toroid), kterou si lze představit jako velmi dlouhou cívku se spojeným začátkem a koncem ve tvaru prstence o středním poloměru „ r “ a ploše „ S “ průřezu jádra. Magnetická energie vzniklá průtokem elektrického proudu vinutím cívky je soustředěna pouze v jejím jádře. Pokud je do vinutí toroidu přiváděn

unipolární nebo bipolární impulsní signál produkovaný impulsním výkonovým generátorem, vytváří se v jádře toroidu impulsní magnetické pole o magnetické indukci B_{imp} doprovázené polem IVMP. Principiální uspořádání měřicí soustavy, sestávající z budicího generátoru, toroidní cívky a jedné z 96 jamek kultivační desky s vyznačeným hlavním směrem IVMP v okamžiku vytvořeného magnetického pole o magnetické indukci B_{imp} budícím proudovým impulzem, je uvedeno na Obrázku 2.4.



Obrázek 2.0.4: Uspořádání měřicí soustavy. [9]

Teoreticky je impulsní magnetické pole vně toroidu nulové, protože je zcela uzavřeno uvnitř prstence. U reálných cívek, zejména vlivem nepřesností v provedení jejich vinutí, je však toto impulsní magnetické pole měřitelné a pohybuje se v zanedbatelných úrovních $B_{imp} \approx (10^{-6}$ až $10^{-5})$ T. Magnetickým stíněním lze však i tak malé pole odstranit, aniž by to však mělo vliv na existenci pole IVMP [9].

2.3 Epidemiologické studie

Epidemiologické studie se z větší míry zabývají karcinogenními vlivy na organismus. Mnohé z nich našly korelaci mezi bydlením v blízkosti zdroje magnetického pole a zhoubným nádorem, nejčastěji leukémií. Častým sledovaným rizikovým faktorem je bydliště či

zaměstnaní poblíž zdroje magnetického pole generovaného vysokonapěťovým elektrickým vedením. Velká pozornost je věnována zejména zvýšeným rizikům vzniku rakoviny u dětí. Spojení mezi dětskou leukémií a magnetickým polem byla popsána v mnoha studiích. Bylo zjištěno, že u dětí žijících v domácnostech, kde jsou vystaveny vysokým hodnotám pole může být riziko vzniku leukémie a lymfomu až dvakrát vyšší [10],[11],[12],[13]. Avšak našly se i výzkumy, které tato tvrzení nepotvrzovaly [14]. Severson popisuje studii, které se účastnilo 638 dětí do 15 let s akutní leukémií [15]. Výsledky poskytly jen malý důkaz, že riziko vzniku rakoviny souvisí s magnetickým polem. Mnohé z těchto studií byly založeny pouze na malém počtu nemocných dětí vystavených magnetickému poli, a tedy zvýšené riziko nemůžeme jasně potvrdit ani vyvrátit. Samozřejmě se výzkumy nezabývaly pouze dětmi, ale zahrnovaly také dospělé. V roce 1982-1984 byly analyzovány případy vzniku leukémie u dospělých, vyskytujících se v blízkosti expozice magnetického pole. Výsledky tohoto výzkumu byly nejasné [16]. Možnost spojení rizika výskytu leukémie, charakterizuje také model akutní myelodní leukémie u krys. Kde leukemické buňky byly krysám implantovány a poté byly krysy ozařovány 50 Hz magnetickým polem. Tento model je úzce spjat s leukémií u dospělých, nejčastějším typem vyskytující se v epidemiologických studiích. Shrnutá data nepotvrzují hypotézu, že pole ovlivňuje progresi leukemických buněk u lidí [17]. Dalším příkladem vlivu studia magnetického pole je práce [18], zabývající se karcinomem ženského prsu. Studie probíhala v letech 1967-1999 na švédské populaci a účelem bylo testovat hypotézu vzniku karcinomu. Výsledky nepřinesly zjištění potvrdující zvýšený výskyt. Další práce studující zvýšený výskyt [19],[20],[21],[22],[23],[24]. Z dalších typů nádorů byl popsán mozkový nádor, výsledky byly založené na případových studiích kanadské populace. Byl zaznamenán zvýšený výskyt multiformního glioblastomu [25]. Na druhé straně práce Feychtinga [26], s cílem zkoumat účinek magnetického pole na vznik nitrolebního nádoru hypotézu nepotvrdila. Další studie [27],[28],[29],[30],[31], jednak neukazují žádný nebo vykazují nesignifikantní rozdíl v počtu lidí, u kterých byla zjištěna rakovina v exponované a kontrolní skupině, a také kritizují některé jiné práce z hlediska výběru statistických dat, či posuzují jiné rizikové faktory, které nebyly ve studiích zahrnuty. Studovaným efektem nejsou pouze různé druhy rakovinného bujení. Vysoká míra kardiovaskulárních onemocnění ve spojení s vlivem magnetického pole představuje také zajímavou případovou studii vědeckého bádání. Byly prováděny studie na zdravých dobrovolnících, u kterých jsme pozorovali sníženou variabilitu srdeční frekvence po vystavení elektrickým a magnetickým polem [32],[33]. Práce zabývající se neurodegenerativními nemocemi připustily možnost, že expozice může urychlit vznik Alzheimerovy nemoci [34],[35].

2.4 Vliv magnetických polí na biologické systémy

V literatuře můžeme najít velké množství informací o vlivu magnetického pole na biologické systémy. Tedy podle vlivu zkoumaného efektu můžeme rozdělit pole statická a pulsní (nízkofrekvenční, vysokofrekvenční) [36].

Pole statické

Pomocí statického pole byla zkoumána orientace buněk, především červených krvinek. Bylo zjištěno, že jejich orientace závisí na množství hemoglobinu [37]. Byl pozorován vliv pole na DNA nebo buněčnou membránu [38], [39]. Statické pole může ovlivňovat chemické reakce enzymů v organismu [40].

Pole nízkofrekvenční

1. Aktivita enzymů

Mezi nejznámější zkoumané enzymy patří Na/K ATPáza, která se vyskytuje v buněčných membránách. Její funkcí je převod iontů přes buněčnou membránu za spotřeby energie, která je uložena ve formě ATP (Adenosintrifosfát). Interakce je popsána v pracích [41],[42].

2. Transport iontů

Ionty hrají důležitou roli při udržování klidového membránového napětí, či podílí se na akčním potenciálu membrány buněk. Tedy uplatňují se při aktivitě enzymu, dráždivosti a propustnosti membrán. Transport iontů přes iontové kanály byl testován ve spojení s působením nízkofrekvenčního magnetického pole, neprojevila se však žádná změna na životnosti nebo vodivosti kanálu [43]. Tok vápenatých iontů přes membránu buňky je zprostředkován vápníkovým kanálem, který umožňuje řízený průchod iontů. Tyto kanály jsou především řízeny napětím na membráně, ale existuje i množství ligandem řízených vápníkových kanálů, které se aktivují při navázání určité molekuly na kanálové bílkoviny. Vápníkové ionty, které po otevření buněčných kanálů začnou téci z cytosolu do buňky po koncentračním spádu, mohou mít v buňce důležitou signální funkci a často pracují jako tzv. druzí poslové. Autoři např. Liburdy a Callahan se zabývali tokem vápenatých Ca^{2+} iontů u lymfocytů [44],[45]. Testovali hypotézu, že změny v proudění vápníku indukované 60 Hz magnetickým polem, mohou významně ovlivnit indukci c-myc protoonkogenů. C-myc kódují faktory, které se po aktivaci navážou na specifické segmenty DNA a řídí tak jejich expresi.

Pokud dojde ke vzniku nadměrného množství, dojde k ovlivnění transkripce a u lymfocytů může dojít k fyziologickým změnám. S transportem vápníkových iontů se můžeme setkat v léčbě kostních fraktur. Mezi další pozorované ionty můžeme zařadit sodík a draslík, které jsou spojovány s aktivitou enzymů.

3. Enzym ornithindekarboxyláza – ODC

Enzym ornithin-dekarboxyláza - ODC redukuje Ornithin na putrescin a tato reakce je důležitá při syntéze polyaminů spermidinu a sperminu, které regulují syntézu DNA. Bylo zjištěno, že promoční fáze nádorového bujení je doprovázena zvýšením aktivity ODC, a právě proto je tento enzym často zkoumán v souvislosti s expozicemi magnetickému poli. Studie probíhaly na více než 2500 kuřecích embryích. Byl sledován vliv slabého magnetického pole na činnost růstu enzymu ODC. Výsledky ukázaly snížení aktivity ODC během vývojové fáze gastruly a naopak vzrůst aktivity během fáze neuruly. Autoři se domnívají, že změny v ODC mají podíl na vzniku morfologických abnormalit v pozdějších fázích vývoje [46],[47],[48].

4. DNA

Část výzkumů byla věnována biomakromolekulám - DNA a RNA. Patří mezi nukleové kyseliny a jsou to nositelé genetické informace. V posledních letech studie uvádějí vztah mezi expozicí magnetickým polem a poškozením DNA buněk mozku a mozečku u dospělých potkanů a myší. Hlodavci byli vystavováni magnetickému poli 2mT po dobu dvou hodin. Buňky mozku byly poté vloženy do agarózového gelu a mezi jednotlivými druhy se sledovaly změny v poškození DNA. Zkoumání změn mutagenity neukázalo žádné ovlivnění magnetickým polem[49], [50]. Naopak data ze studie [51] přinášejí významné důsledky pro dlouhodobou expozici polem, které mohou způsobit oxidační poškození DNA u potkanů. Další experimenty byly prováděny s cílem zjistit, zda má 50 Hz magnetické pole vliv na výměnu sesterských chromatid u mužských lymfocytů. Byly prováděny pokusy, které zaznamenaly významný nárůst výměn sesterských chromatid [52].

Pole vysokofrekvenční

Magnetická pole o vysokých frekvencích jsou spojována především s telekomunikačními prostředky a jejich vlivy na biologické materiály. Zkoumá se vliv na lipidovou povahu buněčné membrány, zjistilo se, že může způsobovat její deformaci, a tím ovlivnit propustnost pro ionty, je ovlivněn tok vápníku v mozkové kůře. Goodman se také zabýval studiem změny aktivity enzymů [53].

2.5 Vliv na lidský organismus

Zasáhne-li do tohoto přírodního stavu vzájemných působení silným magnetickým polem, dostaví se s vysokou pravděpodobností i silná reakce organismu na tento podnět. Zprvu převládalo mínění, že silné magnetické pole lidskému organismu neškodí. Později se ukázalo, že u lidí pracujících dlouhou dobu v arteficiálním (umělém) silném magnetickém poli v závodech (u svářecích přístrojů, elektromagnetických pecí) se objevují patologické změny jako např. olupování kůže, trvalé zčervenání, změny v srdečním rytmu, nechutenství, malátnost, bolesti hlavy, zvýšená potivost aj. Vlivem industrializace a elektrifikace společnosti dochází v posledních letech také ke zvýšení povrchového magnetického pole zemského. Mluvíme o tzv. elektromagnetickém smogu. Příčinou jsou hlavně elektrárny a rozvodné sítě (vedení vysokého napětí), v blízkosti kterých je magnetické pole nejsilnější. Toto magnetické pole pochopitelně působí nejen na lidskou populaci a zvířata, ale i na rostlinstvo. Z výsledků zahraničních laboratoří se dozvídáme, že při pokusech směřujících k objasnění vlivů magnetických polí na živou tkáň, ve kterých se používají enormně silné magnety až o 50 T, dochází působením tohoto silného magnetického pole (v přírodě se nikde nevyskytujícího) k změnám živých tkání, a to téměř vždy negativním [54].

Léčebná využívání magnetických hornin jsou známá z historických prací. Zásadní problém přetrvávající do současné doby však spočívá jak v kvalitativním hodnocení účinku magnetických polí, tak v jejich kvantitativním popisu a měření. Je známo, že slabá magnetická pole jsou vitální složkou fyziologie člověka [55]. Přístupné expoziční limity se odvozují z dostupných hygienických norem. Rozdíl v expozičních hodnotách pro stejnosměrná a impulsní magnetická pole není významný. Kromě nejvyšších expozičních hodnot přípustných magnetických polí je třeba respektovat také tyto parametry [5]:

- Maximální změnu indukce magnetického pole, kterou se dle WHO rozumí rozkmit hodnot magnetické indukce B jako míry biologických účinků na rozdíl od jejich měřených efektivních hodnot;
- Maximální rychlost indukce magnetického pole, která ovlivňuje velikost indukovaných elektrických proudů v tkáních. Doporučenou maximální hodnotu dle WHO je 3,14 T/s pro sinusový průběh budícího proudu o frekvenci 50 Hz. Maximální hodnota $B = 10 \text{ mT}$;
- Maximální strmost čela impulsu, která je hodnocena strmostí náběžné hrany obdélníkových budících impulsů;

- Maximální gradient magnetického pole, který charakterizuje nehomogenitu magnetického pole. Definuje se změnou indukce B na jednotku délky ve směru největšího spádu. Většinou je tento směr totožný s osou aplikátorů. Gradient je omezen 5 mT/cm;
- Opakovací frekvenci budícího impulsu či impulsních sekvencí, která bývá od 1 do 100 Hz.

K terapeutickým účinkům jsou v posledních letech využívána pole stejnosměrná, střídavá (50 Hz) a impulsní. Nejvýraznější účinek při stejných hodnotách indukci a dobách expozice mají právě pole impulsní. Srovnání účinků různě velkých střídavých nebo impulsních magnetických polí při působení na biologické objekty je uvedeno v Tabulce 2.2.

B [mT]		$\sigma [mA/m^2]$	Biologická odpověď
hlava	tělo		
0,25-2,5	0,06- 0,6	1	Žádný efekt
2,5- 25	0,6-6	1-100	Výrazný léčebný efekt, příznivý vliv na nervový systém, rychlejší hojení ran a zlomenin
25-250	6-60	100-1000	Změny v dráždivosti CNS, stimulace excitabilních tkání, možná zdravotní poškození
250	60	1000	Možné extra systoly a fibrilace, nebezpečí poškození zdraví

Tabulka 2.2: Srovnání účinků magnetických polí.

Odpověď organismu jako reakce na aplikaci střídavých nebo impulsních magnetických polí je závislá na těchto faktorech:

- Indukci magnetického pole, kdy účinky byly pozorovány při $B = 1 - 10$ mT. Při dlouhodobých aplikacích hodnot nad 50 mT mohou být vyvolány ireverzibilní změny;
- Frekvenci změn magnetického pole, aplikují se převážně nízkofrekvenční sinusová nebo impulsní magnetická pole s opakovací frekvencí 1 – 100 Hz. Nejnižší frekvence polí mají analgetické a protizánětlivé účinky. Střední frekvence jsou využívány k navození vazodilatace a spasmolytických účinků, k léčení degenerativních změn a edému. Nejvyšší frekvence tohoto rozsahu jsou vhodné pro špatně se hojící rány a popáleniny;

- Tvaru a šířce impulsu, kdy za optimální je považován obdelníkový tvar se šířkou 5 – 15 ms;
- Době expozice, která je závislá na charakteru onemocnění. Při aplikaci magnetického pole s vyšší indukcí mohou být kratší expoziční časy. Za optimální je považována doba 15 – 30 minut. Výrazně delší expozice se aplikují při špatně se hojících zlomeninách, otevřených ranách a popáleninách;

Využitelné efekty při působení zvláště impulsních magnetických polí lze pozorovat ve vazodilataci, analgetickém působení, protizánětlivém efektu, spasmolytickém účinku, akceleraci hojení či v protiedémovém působení

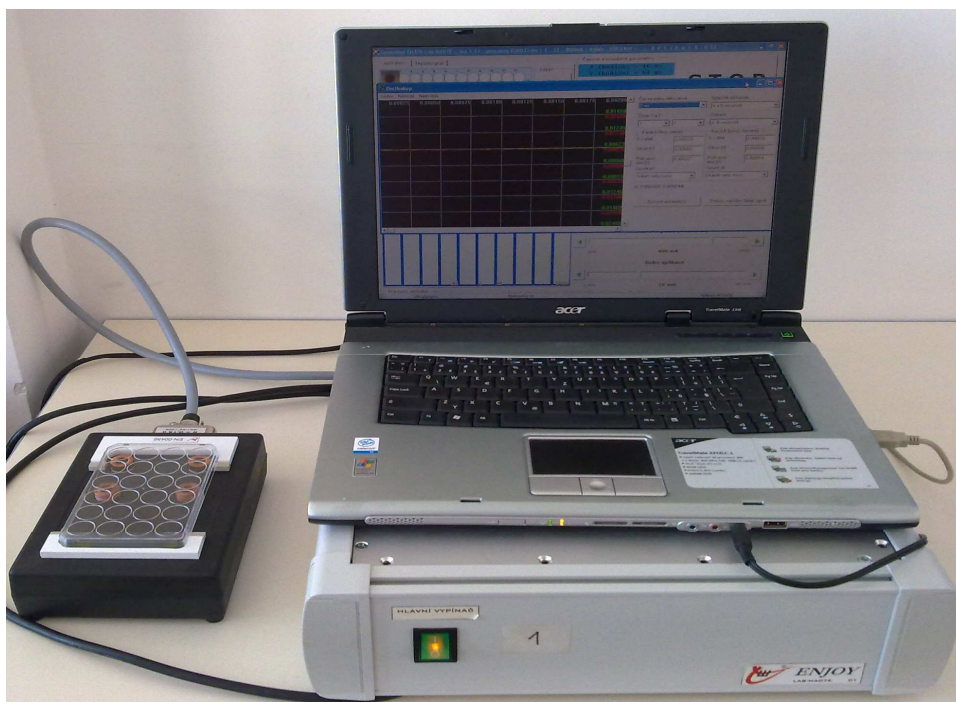
3. Experimentální část

Experimentální část mé práce zahrnovala dva úkoly. Prvním úkolem byla příprava roztoku DNA, který byl následně ozářován generátorem Enjoy. Druhý úkol zahrnoval vyhodnocování ozářeného vzorku pomocí analytické metody spektrofotometrie. Zde jsme využili spektrofotometr Genesys 6. Hlavním cílem bylo zjistit, zda působí magnetická pole na biologický materiál a zda dochází ke změnám v naměřených hodnotách. Měření probíhala v laboratoři na Biofyzikálním ústavu Lékařské fakulty MU v Bohunicích.

3.1 Použité přístroje

Sestava přístroje je určena pro ozářování a laboratorní výzkum vlivu působení magnetických polí na biologický materiál. Pro řízení generátoru impulsů ENJOY Lab-MA07E byl využit notebook Acer Travel Mate 2310 a v základním nastavení jsou schopny generovat stejný proudový signál pro budiče na aplikátoru. Výstupem přístroje je aplikátor. Aplikátor je osazen vždy po dvou vzduchovými cívkami, toroidními cívkami a odpory. Novinkou je dovyvinutí proudového zdroje pro používaný generátor impulsů ENJOY, toto je schopné zařízení generovat impulsy stejných základních parametrů a navíc nabízí strmější nástupné hrany proudových impulsů a to cca 4x a také univerzálnější použití aplikátoru (garantuje nastavený proud nezávisle na odporu budiče).

Pro měření se využívala fragmentovaná deoxyribonukleová kyselina sledího mlíčí rozpuštěnou v pufru TE (10mM Tris, 1mM EDTA pH 7,6).



Obrázek 3.1: Sestava přístroje pro ozařování.



Obrázek 3.2: Spektrofotometr Genesys 6.

3.2 Měření a výsledky

Jednotlivé experimenty se měřily spektrofotometrem Genesis 6. Základním principem spektrofotometru je měření absorpčních vlastností látek, v určité – vybrané části elektromagnetického spektra. Výsledky slouží např. ke studiu struktury absorbujících látek či měření jejich koncentrace v daném roztoku. Roztoky jsou pro analýzu umístěny do kyvety. Zdroj záření vysílá svazek záření s omezenou rozsahem vlnových délek. Do cesty záření je vložena kyveta se vzorkem zkoumané látky. Za kyvetou je umístěn detektor, který vyhodnocuje velikost té části záření, která prošla vzorkem.[57]

Pro měření jsem využila deoxyribonukleovou kyselinu DNA sledího mlíčí rozpuštěnou v TE pufru, Tato DNA byla použita pro relativní dostupnost a odlišnou délku fragmentů DNA, zajišťující snadnější denaturaci a renaturaci. Dvouvláknová i jednovláknová DNA specificky absorbují UV-záření, při rozdělení dvouvláknové DNA (angl. double-stranded DNA) na dvě jednovláknové molekuly (angl. single-stranded DNA) dochází k zesílení absorpce v oblasti absorpčního maxima při cca 260 nm. Přechod mezi dvouvláknovou DNA a jednovláknovou DNA, tedy proces denaturace DNA, lze proto sledovat pomocí spektrofotometru měřením absorpce UV-záření při této vlnové délce.

Pro všechny experimenty byl roztok DNA pipetován do jamek v aplikační destičce, který se poté nechal ozařovat po dobu dvaceti minut na aplikátoru. Po 20 min ozáření se vzorky měřily ve spektrofotometru. Měření probíhalo v rozmezí vlnových délek 220 – 320 nm . Aplikátor obsahuje 4 budiče (2x vzduchová cívka, 2x toroidní cívka) a 2 kontroly (odpory). Generátor ENJOY přivádí na aplikátor stejné proměnné elektrické pole. V přítomnosti klasických cívek tedy vzniká pulsní magnetické pole, a na toroidní cívce pak vzniká předpokládaný impulsní vektorový magnetický potenciál. Odpory zde slouží především jako kontrolní zdroj tepla ekvivalentní „odpadnímu“ teple produkovanému na klasických i toroidních cívkách. Při zahřívání dvouvláknové DNA může docházet k jejímu rozvolňování (zvýšení absorpčního maxima) a tedy je potřeba odlišit vliv působícího tepla vznikající v okolí cívky právě pomocí tepla vznikající v okolí odporu. Základní nastavení parametrů přístroje (délka impulsu 2 ms, střída 1:32, kmitočet 16 Hz, proudový impuls 0,8 A, doba působení 20 min) vychází z doporučení firmy ENJOY s.r.o. kdy na základě jejich experimentů , se jeví účinek pole produkovaného toroidní cívkou nejúčinnější.

Pro statistické vyhodnocení byla vybrána analýza rozptylu – ANOVA. Je založena na předpokladu, že každý z výběrů pochází z populace s normálním rozdělením se stejnou

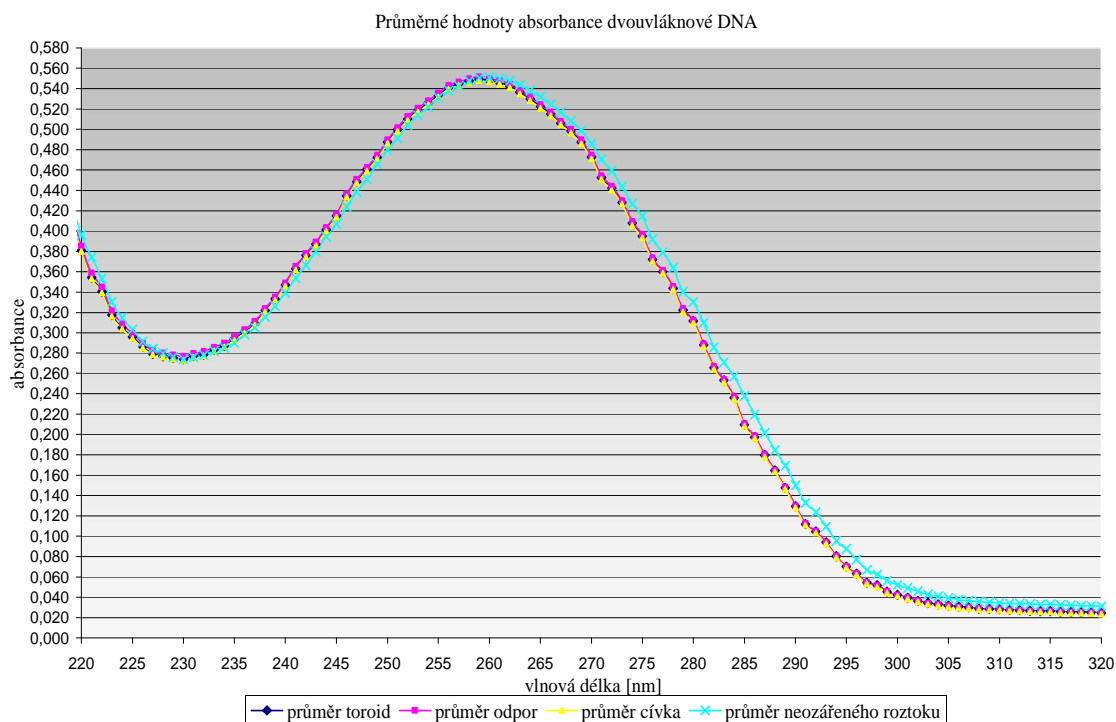
směrodatnou odchylkou. Zajímá nás, zda střední hodnoty (průměry) skupin jsou všechny shodné, nebo zda se navzájem liší. Předpokládáme, že máme náhodný výběr z každé skupiny a že všechna pozorování jsou nezávislá. Pro interpretaci dat jsou nejdůležitější hodnoty určující, na jaké hladině významnosti je možné zamítnout hypotézu, že oba výběry jsou rovnocenné. Porovnává se s předem stanoveným číslem (nejobvykleji s 0,05) a je-li menší, rovnocennost výběrů se zamítne. Před vyhodnocením je třeba definovat nulovou hypotézu, předpokládáme, že střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné.

Pro statistické vyhodnocení byla vybrána data pro absorpční maximum o vlnové délce 260 nm. Na této vlnové délce dochází ke změnám absorpce a tyto případné změny jsou relativně nejlépe detekovatelné a interpretovatelné.

3.2.1 Nativní DNA s délkou impulsu 2ms

Pro první pokusy byla zvolena nativní DNA sledího mlíčí. V těchto měřeních bylo provedeno 30 pokusů. Používaná nastavení přístroje pro všechna tato měření byla: délka impulsu 2 ms, střída 1:32, kmitočet 16 Hz, proudový impuls 0,8 A, doba působení 20 min.

Průměrné výsledky absorbancí jsou zobrazeny v grafu na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Graf pro průměrné hodnoty absorbancí u ozářených s délkou impulsu 2 ms a neozařených vzorků.

Analýzou rozptylu se testovaly jednotlivé ozářené roztoky DNA programem Statistika. V prvním případě srovnáváme roztoky, které byly vystaveny vlivů proměnných magnetických polí, jednotlivě s roztoky neozářenými. Ve druhém případě srovnáváme jednotlivé roztoky mezi sebou. Všechny případy srovnání ozářeného a neozářeného roztoku jsou nesignifikantní. Nulovou hypotézu nezamítáme, tedy střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné. Mezi roztoky, ozářené toroidní cívkou - T a klasickou cívkou – C, také nedochází ke statisticky významným změnám, můžeme říct, že průměry absorbancí jsou si rovnocenné. K menší odchylce dochází pouze mezi roztoky ozářených klasickou cívkou a roztoky vystavenými vlivu tepla. Tato odchylka se dá vysvětlit mírným posunem průměru absorpčního maxima u roztoků ovlivněných teplem. Zatímco pro odpor je průměr absorbance $A=0,551367$ pro cívkou je průměr $A=0,547733$, mohlo tedy dojít k mírné denaturaci DNA. Přesto změna není statisticky významná. Poslední analýza srovnávající vliv teploty s proměnným magnetickým polem, také nemá statisticky významný charakter, střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné.

vzorek; Průměry MNC (nativní DNA) Současný efekt: $F(1, 48)=,06147$, $p=,80525$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,549200	0,003699	0,541763	0,556637	30
2	N	0,550650	0,004530	0,541542	0,559758	20

Obrázek 3.4: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a neozářené roztok.

vzorek; Průměry MNC (nativní DNA) Současný efekt: $F(1, 48)=,02208$, $p=,88249$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	O	0,551367	0,003050	0,545234	0,557500	30
2	N	0,550650	0,003736	0,543139	0,558161	20

Obrázek 3.5: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a neozářené roztoky.

vzorek; Průměry MNC (nativní DNA) Současný efekt: $F(1, 48)=,34979$, $p=,55701$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	C	0,547733	0,003119	0,541462	0,554004	30
2	N	0,550650	0,003820	0,542969	0,558331	20

Obrázek 3.6: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu magnetického pole a roztoky neozářené.

vzorek; Průměry MNC (nativní DNA) Současný efekt: $F(1, 58) = ,06796$, $p = ,79525$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,549200	0,003978	0,541237	0,557163	30
2	C	0,547733	0,003978	0,539770	0,555696	30

Obrázek 3.7: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní a klasickou cívkou.

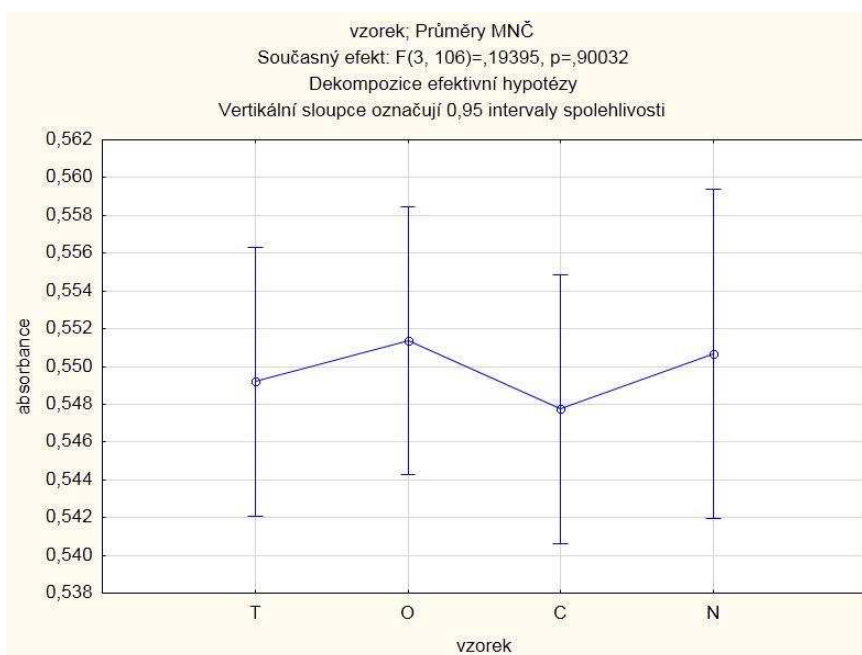
vzorek; Průměry MNC (nativní DNA) Současný efekt: $F(1, 58) = ,54091$, $p = ,46502$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	O	0,551367	0,003493	0,544374	0,558359	30
2	C	0,547733	0,003493	0,540741	0,554726	30

Obrázek 3.8: Analýza rozptylu pro ozářené klasickou cívkou a roztoky pod vlivem tepla

vzorek; Průměry MNC (nativní DNA) Současný efekt: $F(1, 58) = ,15168$, $p = ,69836$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,549200	0,003934	0,541326	0,557074	30
2	O	0,551367	0,003934	0,543492	0,559241	30

Obrázek 3.9: Analýza rozptylu pro ozářené toroidní cívkou a roztoky pod vlivem tepla

Jedním z výstupů programu Statistika jsou grafy. Které nám popisují rozložení všech průměrů absorpancí.

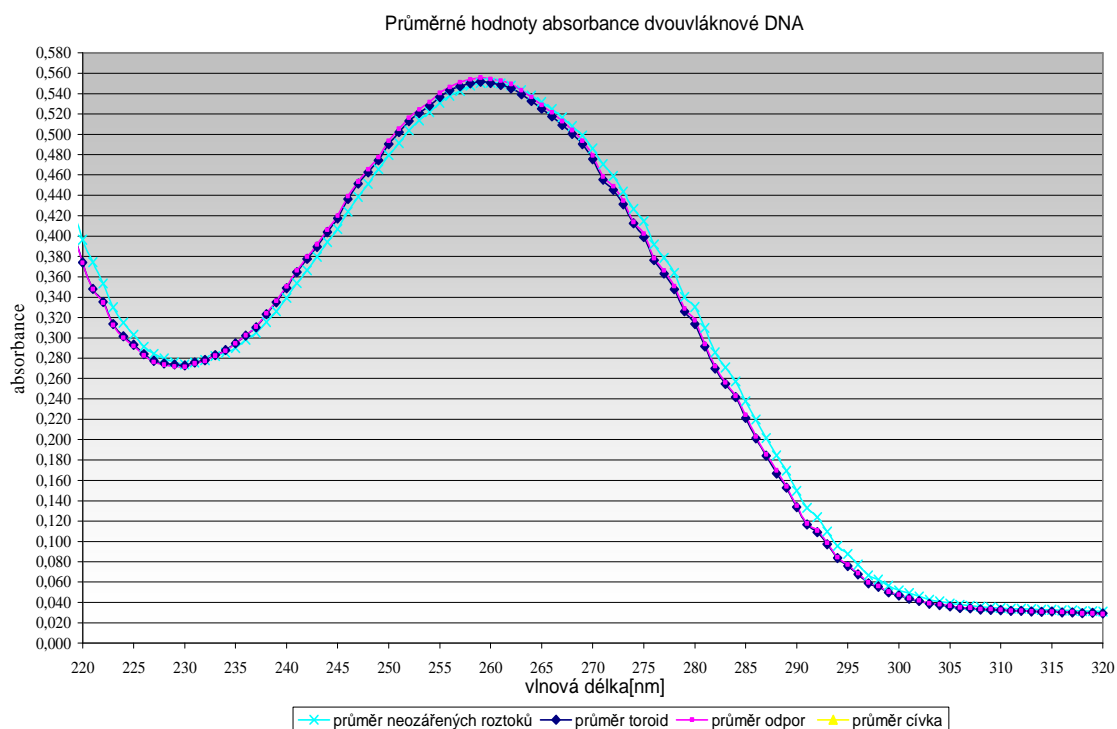


Obrázek 3.10 Graf pro analýzu rozptylu nativní DNA s délkou impulzu 2 ms.

3.2.2 Nativní DNA s délkou impulsu 0,1 ms

V těchto měřeních bylo provedeno 10 opakování. Používaná nastavení přístroje pro všechna tato měření byla: délka impulsu 0,1 ms, střída 1:32, kmitočet 16 Hz, proudový impuls 0,8 A, doba působení 20 min.

Průměrné výsledky absorbancí jsou zobrazeny v grafu na obrázku 3.11.



Obrázek 3.11: Graf pro průměrné hodnoty absorbancí u ozářených s délkou impulsu 0,1 ms a neozařených vzorků.

Na statistických výsledcích pro nativní DNA nejde vidět žádný prokazatelný rozdíl mezi testovanými výběry. Všechny testy jsou nevýznamné. V prvním případě opět srovnáváme rozdíl pravděpodobnosti mezi roztoky ozářenými a kontrolami, které nebyly vystaveny vlivu magnetických polí a tepla. Mezi průměry absorbancí u roztoků ovlivněných magnetickým polem toroidu a roztoků bez ozáření nedochází téměř k žádné změně. Větší rozdíl středních hodnot může být zaznamenána pouze u testů, které srovnávají vliv tepla a neozařený roztok nebo srovnávají vliv magnetického pole toroidu a odporu. Tyto rozdíly jsou zanedbatelné, tedy střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné.

roztok; Průměry MNC (nativní 0,1 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 28)=,00009$, $p=,99252$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	roztok	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,550600	0,004317	0,541756	0,559444	10
2	N	0,550650	0,003053	0,544397	0,556903	20

Obrázek 3.12 : Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a neozářené roztoky.

roztok; Průměry MNC (nativní 0,1 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 28)=,46158$, $p=,50246$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	roztok	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	O	0,554400	0,004507	0,545168	0,563632	10
2	N	0,550650	0,003187	0,544122	0,557178	20

Obrázek 3.13 Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a neozářené roztoky.

roztok; Průměry MNC (nativní 0,1 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 28)=,08569$, $p=,77189$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	roztok	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	C	0,552300	0,004602	0,542873	0,561727	10
2	N	0,550650	0,003254	0,543984	0,557316	20

Obrázek 3.14: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu magnetického pole a neozářené roztoky.

roztok; Průměry MNC (nativní 0,1 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 18)=,05227$, $p=,82174$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	roztok	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,550600	0,005258	0,539553	0,561647	10
2	C	0,552300	0,005258	0,541253	0,563347	10

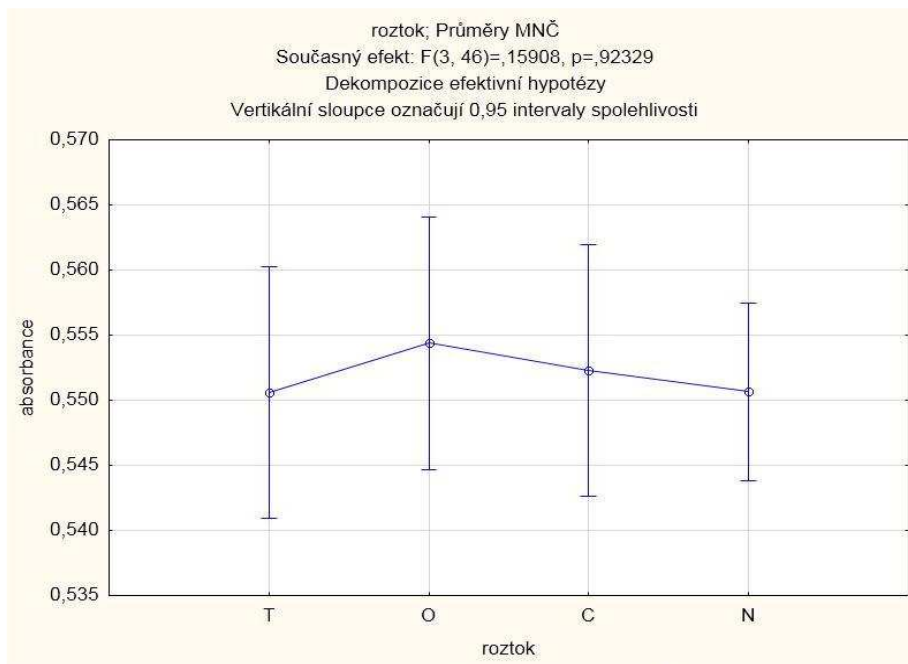
Obrázek 3.15: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní a klasickou cívkou.

roztok; Průměry MNC (nativní 0,1 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 18)=,07290$, $p=,79023$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	roztok	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	O	0,554400	0,005500	0,542845	0,565955	10
2	C	0,552300	0,005500	0,540745	0,563855	10

Obrázek 3.16: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené klasickou cívkou a roztoky pod vlivem tepla.

roztok; Průměry MNC (nativní 0,1 ms DNA)						
Současný efekt: $F(1, 18) = 2,7459$, $p = 60666$						
Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	roztok	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,550600	0,005128	0,539827	0,561373	10
2	O	0,554400	0,005128	0,543627	0,565173	10

Obrázek 3.17 Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a roztoky pod vlivem tepla.

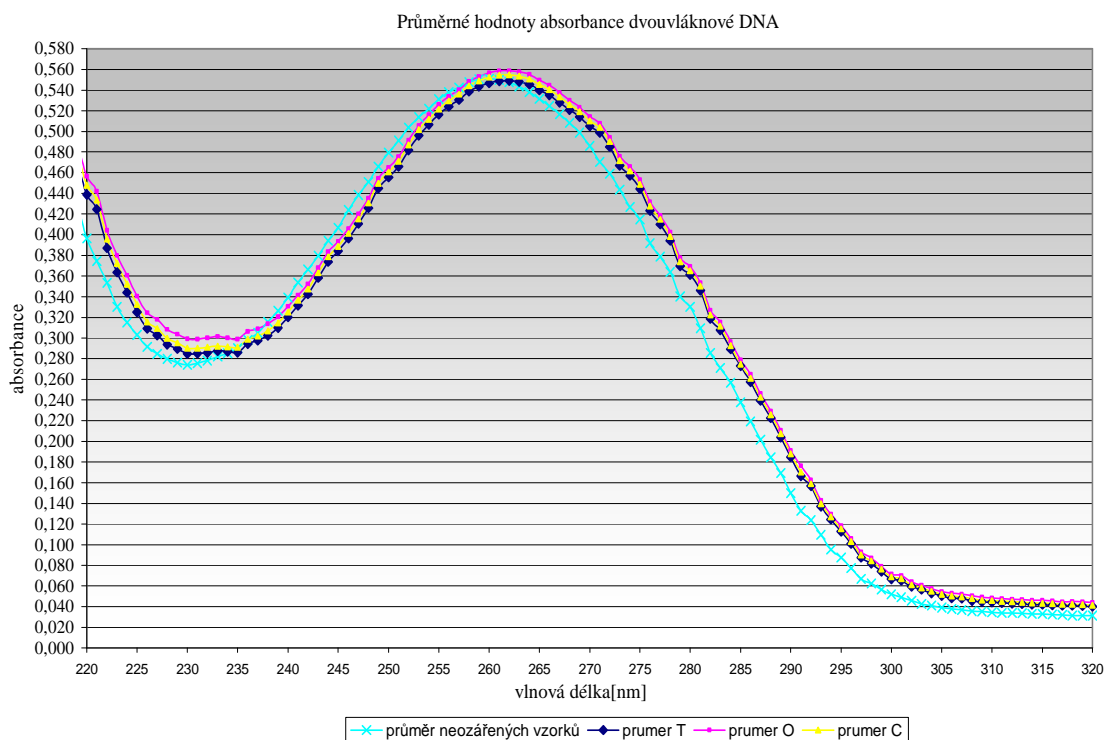


Obrázek 3.18: Graf pro analýzu rozptylu nativní DNA s délkou impulsu 0,1ms.

3.2.3 Nativní DNA s délkou impulsu 10 ms

V těchto měřeních bylo provedeno 20 opakování. Používaná nastavení přístroje pro všechna tato měření byla: délka impulsu 10 ms, střída 1:32, kmitočet 16 Hz, proudový impuls 0,8 A, doba působení 20 min.

Průměrné výsledky absorbancí jsou zobrazeny v grafu na obrázku 3.19.



Obrázek 3.19: Graf pro průměrné hodnoty absorpance u ozářených s délkou impulsu 10 ms a neozářených vzorků.

Pomocí Anovy byly testovány jednotlivé roztoky. Obrázky 3.20, 3.21, 3.22 srovnává ozářené roztoky nativní DNA s neozářenými. V prvním případě srovnáváme roztoky ozářené toroidní cívkou - T a neozářené roztoky - N. Pravděpodobnost rovnosti odchylek od průměrů je větší než daná hladina významnosti 0,05, tedy nulovou hypotézu přijímáme, střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné. Větší odchylka je zaznamenána u testu, který srovnává vliv tepla a neozářený roztok, pravděpodobnost $p = 0,17221$, tedy pravděpodobnost, že průměry se rovnají je nižší, avšak statisticky nevýznamná. Pro roztoky ozářené proměnným magnetickým polem - C a roztoky neozářené - N je statistická významnost nesignifikantní, tedy nedochází zde k žádným významným odchylkám od průměrů. Na obrázcích 3.23, 3.24, 3.25 se testují jednotlivé ozářené roztoky mezi sebou. Pro roztoky T a C nulovou hypotézu přijímáme, průměry roztoků nejsou rozdílné. Srovnání vlivu tepla - O a působení magnetického proměnného pole - C vyšla také nevýznamně. Statisticky významná odchylka byla vyhodnocena pouze u roztoků ozářených toroidní cívkou - T a roztoků vystavené vlivu odporu - O. Pravděpodobnost $p = 0,01047$ se projevila jako statisticky významná a nulovou hypotézu, že střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné, zamítáme.

vzorek; Průměry MNC (nativní 10 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 28)=,74935$, $p=,39404$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,546700	0,003726	0,539068	0,554332	10
2	N	0,550650	0,002634	0,545254	0,556046	20

Obrázek 3.20: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a neozářené roztoky.

vzorek; Průměry MNC (nativní 10 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 28)=1,9627$, $p=,17221$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	O	0,556600	0,003468	0,549497	0,563703	10
2	N	0,550650	0,002452	0,545627	0,555673	20

Obrázek 3.21 Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a roztoky neozářené

vzorek; Průměry MNC (nativní 10 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 28)=,29618$, $p=,59060$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	C	0,553000	0,003526	0,545778	0,560222	10
2	N	0,550650	0,002493	0,545543	0,555757	20

Obrázek 3.22 Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu magnetického pole a neozářené roztoky

vzorek; Průměry MNC (nativní 10 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 18)=2,9915$, $p=,10082$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,546700	0,002576	0,541289	0,552111	10
2	C	0,553000	0,002576	0,547589	0,558411	10

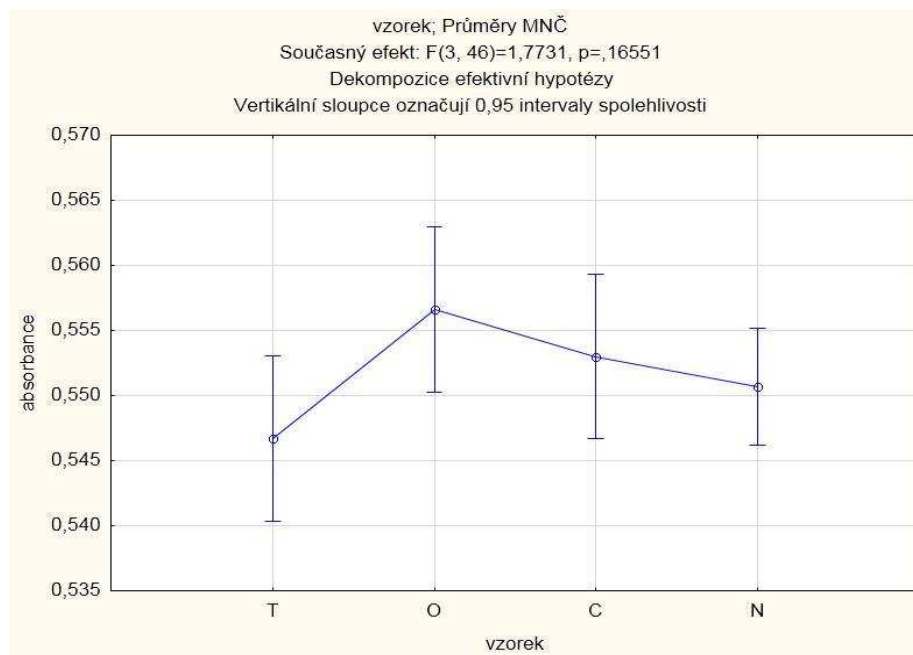
Obrázek 3.23: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní a klasickou cívkou.

vzorek; Průměry MNC (nativní 10 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 18)=1,7295$, $p=,20498$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	C	0,553000	0,001936	0,548933	0,557067	10
2	O	0,556600	0,001936	0,552533	0,560667	10

Obrázek 3.24 Analýza rozptylu pro ozářené klasickou cívkou a roztoky pod vlivem tepla.

vzorek; Průměry MNČ (nativní 10 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 18)=8,1637$, $p=,01047$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,546700	0,002450	0,541553	0,551847	10
2	O	0,556600	0,002450	0,551453	0,561747	10

Obrázek 3.25: Analýza rozptylu pro ozářené toroidní cívku a roztoky pod vlivem tepla.



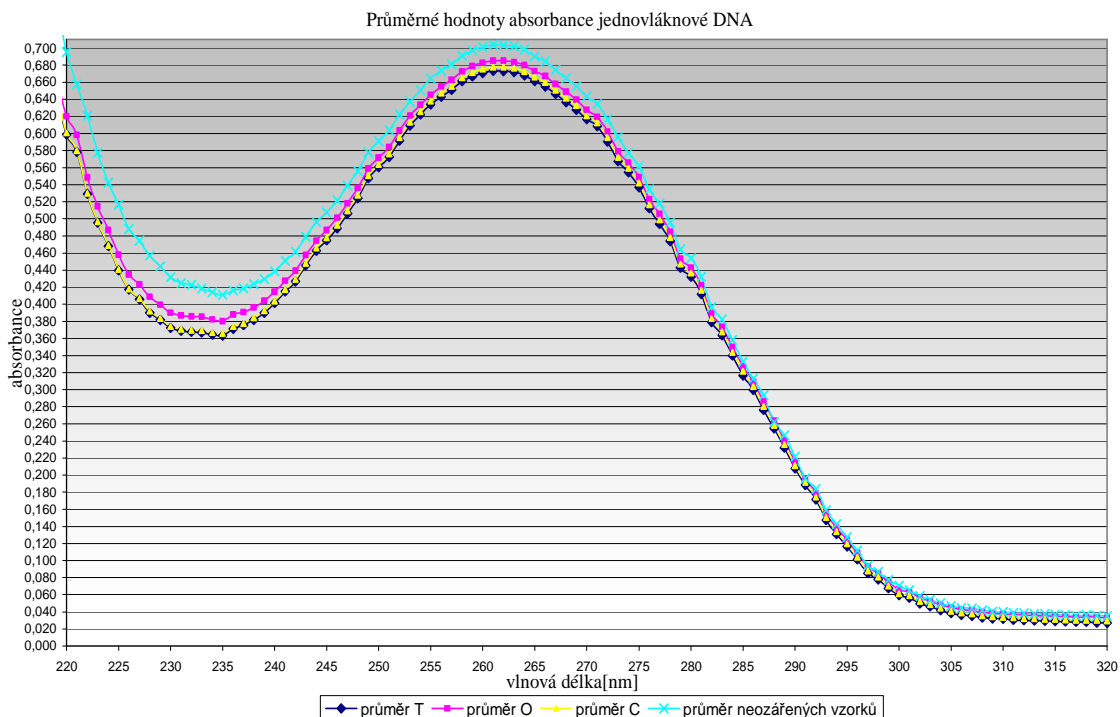
Obrázek 3.26: Graf pro analýzu rozptylu nativní DNA s délkou impulsu 10ms

3.2.4 Denaturovaná DNA s délkou impulsu 2 ms

Rozdíl měření u denaturované spočíval v tom, že roztok DNA (nativní) byl pozvolna zahříván na 95°C. Při této teplotě dochází k rozrušení vodíkových můstků v molekule DNA a k rozvolnění dvoušroubovice. Vzniká tak denaturovaná DNA. Která v mnohem větší míře absorbuje UV záření a dochází ke zvýšení absorbance v absorpčním maximu, tyto změny můžeme dobře pozorovat u grafů průměrných hodnot.

V těchto měřeních bylo provedeno 30 opakování. Používaná nastavení přístroje pro všechna tato měření byla : délka impulsu 2 ms, střída 1:32, kmitočet 16 Hz, proudový impuls 0,8 A, doba působení 20 min.

Průměrné výsledky absorbancí jsou zobrazeny v grafu na obrázku 3.27.



Obrázek 3.27: Graf pro průměrné hodnoty absorbancí u ozářených s délkou impulsu 2 ms a neozářených vzorků.

Anovou byly opět testovány jednotlivé roztoky. Obrázky 3.28, 3.29, 3.30 srovnávají ozářené roztoky denaturované DNA s neozářenými. U všech tří testů je pravděpodobnost, že roztoky se rovnají nižší než hladina významnosti $> 0,05$, nulovou hypotézu, že střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné, zamítáme. Rozdíl průměrů absorbancí jsou statisticky významné. Na obrázcích 3.31, 3.32, 3.33 se testují jednotlivé ozářené roztoky mezi sebou. Pro roztoky ozářených toroidní cívkou - T a klasickou - C nulovou hypotézu, že střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné, zamítáme. Srovnání vlivu tepla - O a působení magnetického proměnného pole - C je statisticky významné. U roztoků ozářených toroidní cívkou - T a roztoků vystavené vlivu odporu - O dochází k významným odchylkám mezi průměry, test se projevil jako signifikantní.

vzorek; Průměry MNC (denaturovana DNA)						
Současný efekt: $F(1, 48)=44,007$, $p=,00000$						
Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,673333	0,002595	0,668116	0,678551	30
2	N	0,700550	0,003178	0,694160	0,706940	20

Obrázek 3.28: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a neozářené roztoky.

vzorek; Průměry MNC (denaturovana DNA) Současný efekt: $F(1, 48)=13,271$, $p=,00066$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	O	0,685067	0,002688	0,679662	0,690471	30
2	N	0,700550	0,003292	0,693931	0,707169	20

Obrázek 3.29: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a neožárené roztoky.

vzorek; Průměry MNC (denaturovana DNA) Současný efekt: $F(1, 48)=30,581$, $p=,00000$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	C	0,677533	0,002632	0,672241	0,682826	30
2	N	0,700550	0,003224	0,694068	0,707032	20

Obrázek 3.30: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu magnetického pole a neožárené roztoky.

vzorek; Průměry MNC (denaturovana DNA) Současný efekt: $F(1, 58)=9,3343$, $p=,00340$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,673333	0,000972	0,671388	0,675279	30
2	C	0,677533	0,000972	0,675588	0,679479	30

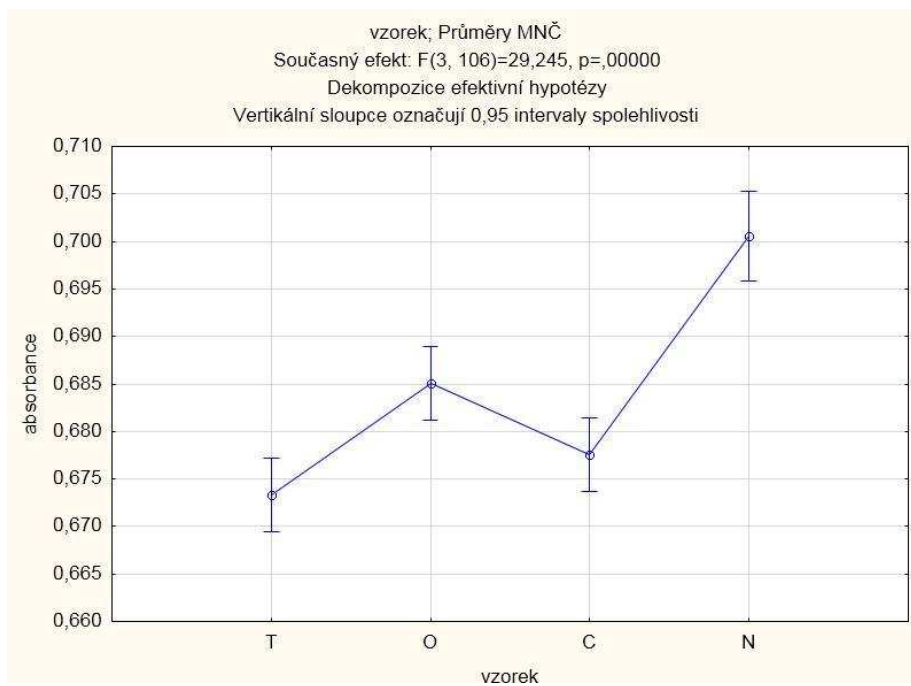
Obrázek 3.31: Analýza rozptylu pro roztoky ožárené toroidní a klasickou cívkou.

vzorek; Průměry MNC (denaturovana DNA) Současný efekt: $F(1, 58)=20,980$, $p=,00003$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	O	0,685067	0,001163	0,682739	0,687395	30
2	C	0,677533	0,001163	0,675205	0,679861	30

Obrázek 3.32: Analýza rozptylu pro ožárené klasickou cívkou a roztoky pod vlivem tepla

vzorek; Průměry MNC (denaturovana DNA) Současný efekt: $F(1, 58)=57,847$, $p=,00000$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,673333	0,001091	0,671150	0,675517	30
2	O	0,685067	0,001091	0,682883	0,687250	30

Obrázek 3.33: Analýza rozptylu pro ožárené toroidní cívkou a roztoky pod vlivem tepla

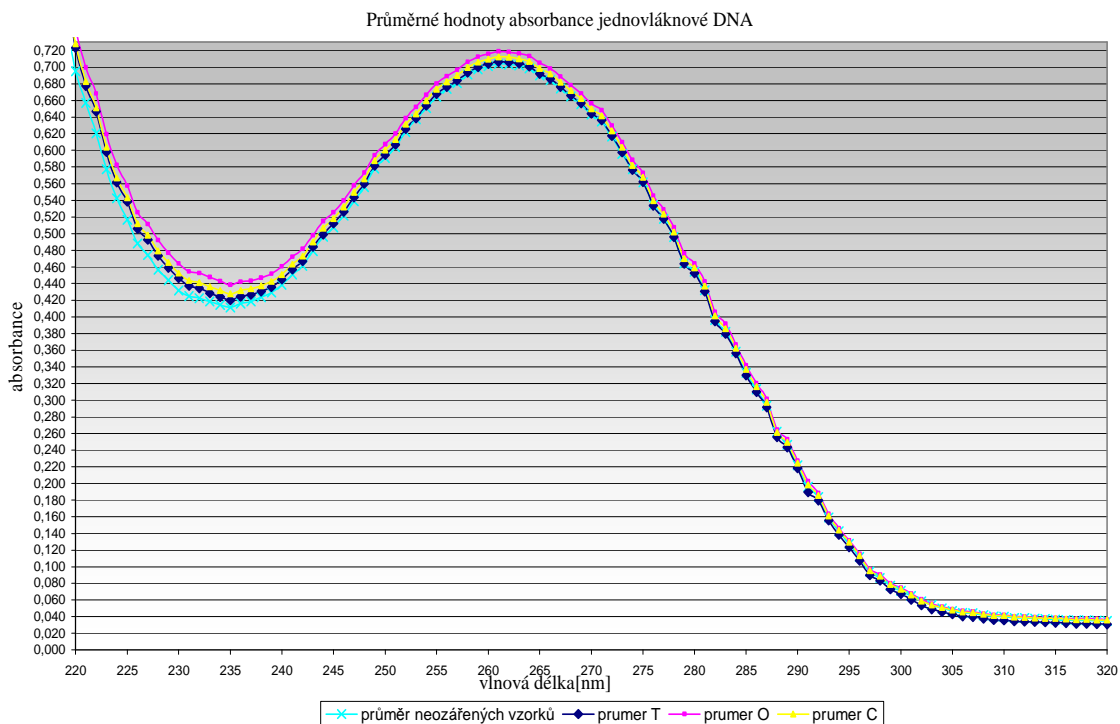


Obrázek 3.34: Graf pro analýzu rozptylu denaturovanou DNA s délkou impulsu 2 ms.

3.2.5 Denaturovaná DNA s délkou impulsu 0,1 ms

V těchto měřeních bylo provedeno 20 opakování. Používaná nastavení přístroje pro všechna tato měření byla: délka impulsu 0,1 ms, střída 1:32, kmitočet 16 Hz, proudový impuls 0,8 A, doba působení 20 min.

Průměrné výsledky absorbancí jsou zobrazeny v grafu na obrázku 3.35.



Obrázek 3.35 Graf pro průměrné hodnoty absorpance u ozářených s délkou impulsu 0,1 ms a neozařených vzorků.

Anovou byly testovány jednotlivé roztoky. Obrázky 3.36, 3.37, 3.38 srovnávají ozářené roztoky denaturované DNA s neozařenými. V prvním případě srovnáváme roztoky ozářené toroidní cívkou - T a neozařené roztoky - N. Pravděpodobnost rovnosti průměrů je větší než daná hladina významnosti $< 0,05$, tedy nulovou hypotézu, že střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné, přijímáme. A rozdíl odchylek mezi skupinami není významný. Větší odchylka je zaznamenána u testu, který srovnává vliv tepla - O a neozařený roztok - N, pravděpodobnost rovnosti průměrů je signifikantní. Nulovou hypotézu, že střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné, zamítáme. Pro roztoky ozářené magnetickým polem - C a neozařené - N je pravděpodobnost shodnosti středních hodnot statisticky nevýznamná. Na obrázcích 3.39, 3.40, 3.41 se testují jednotlivé ozářené roztoky mezi sebou. Pro roztoky ozářené toroidní cívkou - T a klasickou cívkou - C nulovou hypotézu, že střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné, zamítáme. Mezi roztoky ozářené klasickou cívkou - C a vystavené vlivu odporu - O dochází k významným odchylkám mezi průměry. U roztoků ozářených toroidní cívkou - T a roztoků vystavené vlivu odporu - O nulovou hypotézu, že střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné, zamítáme.

vzorek; Průměry MNC (denaturovaná 0,1 ms) Současný efekt: $F(1, 28)=,72418$, $p=,40200$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,706500	0,005709	0,694806	0,718194	10
2	N	0,700550	0,004037	0,692281	0,708819	20

Obrázek 3.36: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a neozářené roztoky..

vzorek; Průměry MNC (denaturovaná 0,1 ms) Současný efekt: $F(1, 28)=6,8032$, $p=,01443$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	O	0,718800	0,005713	0,707098	0,730502	10
2	N	0,700550	0,004040	0,692275	0,708825	20

Obrázek 3.37: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a neozářené roztoky.

vzorek; Průměry MNC (denaturovaná 0,1 ms) Současný efekt: $F(1, 28)=2,7699$, $p=,10721$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	C	0,712200	0,005715	0,700492	0,723908	10
2	N	0,700550	0,004041	0,692272	0,708828	20

Obrázek 3.38 Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu magnetického pole a neozářené roztoky

vzorek; Průměry MNC (denaturovaná 0,1 ms) Současný efekt: $F(1, 18)=12,078$, $p=,00270$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,706500	0,001160	0,704063	0,708937	10
2	C	0,712200	0,001160	0,709763	0,714637	10

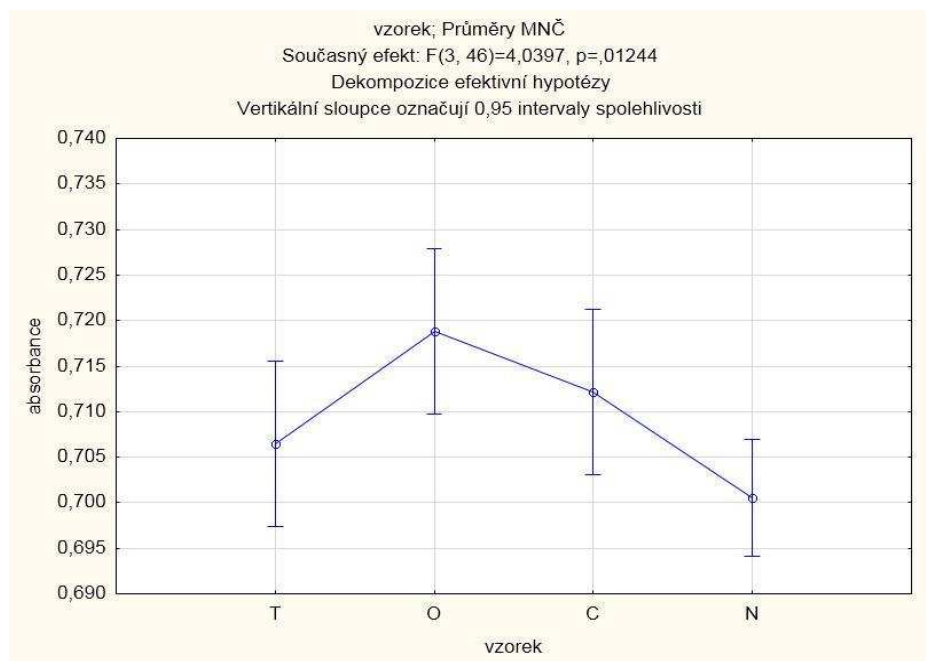
Obrázek 3.39: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní a klasickou cívkou.

vzorek; Průměry MNC (denaturovaná 0,1 ms) Současný efekt: $F(1, 18)=15,362$, $p=,00100$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	O	0,718800	0,001191	0,716298	0,721302	10
2	C	0,712200	0,001191	0,709698	0,714702	10

Obrázek 3.40: Analýza rozptylu pro ozářené klasickou cívkou a roztoky pod vlivem tepla

vzorek; Průměry MNC (denaturovaná 0,1 ms)						
Současný efekt: $F(1, 18)=58,164$, $p=,00000$						
Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,706500	0,001140	0,704104	0,708896	10
2	O	0,718800	0,001140	0,716404	0,721196	10

Obrázek 3.41: Analýza rozptylu pro ozářené toroidní cívkou a roztoky pod vlivem tepla

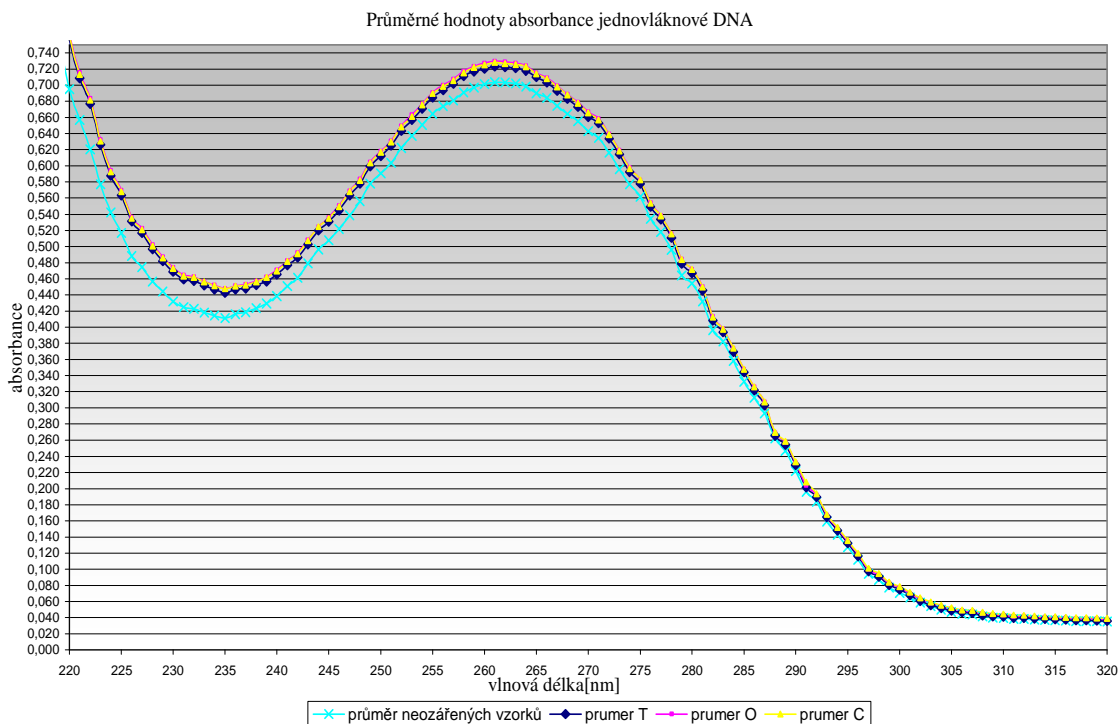


Obrázek 3.42 Graf pro analýzu rozptylu denaturovanou DNA s délkou impulzu 0,1 ms.

3.2.6 Denaturovaná DNA s délkou impulzu 10 ms

V těchto měřeních bylo provedeno 20 opakování. Používaná nastavení přístroje pro všechna tato měření byla: délka impulzu 10 ms, střída 1:32, kmitočet 16 Hz, proudový impuls 0,8 A, doba působení 20 min.

Průměrné výsledky absorbancí jsou zobrazeny v grafu na obrázku 3.3.



Obrázek 3.43: Graf pro průměrné hodnoty absorpance u ozářených s délkou impulsu 10 ms a neozařených vzorků

Anovou byly testovány jednotlivé roztoky. Obrázky 3.44, 3.45, 3.46 srovnávají ozářené roztoky denaturované DNA s neozařenými. V prvním případě srovnáváme roztoky ozářené toroidní cívkou - T a neozařené roztoky - N. Pravděpodobnost rovnosti odchylek od průměrů je menší než daná hladina významnosti $< 0,05$, tedy nulovou hypotézu, že střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné, zamítáme. Odchylka je zaznamenána u testu, který srovnává vliv tepla - O a neozařený roztok - N, pravděpodobnost $p = 0,00061$, tedy pravděpodobnost, že průměry se rovnají je malá a výsledek je statisticky významný. Pro roztoky ozářené magnetickým polem - C a neozařené - N je pravděpodobnost statisticky významná. Na obrázcích 3.47, 3.48, 3.40 se testují jednotlivé ozářené roztoky mezi sebou. Pro roztoky ozářené toroidní cívkou - T a klasickou cívkou - C nulovou hypotézu, že střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné, přijímáme. Pro roztoky ozářené klasickou cívkou - C a vystavené vlivu odporu - O nedochází k významným odchylkám mezi průměry, pravděpodobnost rovnosti středních hodnot je vysoká. U roztoků ozářených toroidní cívkou - T a roztoků vystavené vlivu odporu - O nulovou hypotézu, že střední hodnoty jednotlivých výběrů jsou shodné, zamítáme.

vzorek; Průměry MNC (denaturovana 10 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 28)=10,339$, $p=,00327$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,723200	0,005752	0,711418	0,734982	10
2	N	0,700550	0,004067	0,692219	0,708881	20

Obrázek 3.44: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a neozářené roztoky.

vzorek; Průměry MNC (denaturovana 10 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 28)=16,579$, $p=,00035$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	O	0,729700	0,005845	0,717726	0,741674	10
2	N	0,700550	0,004133	0,692083	0,709017	20

Obrázek 3.45: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a neozářené roztoky.

vzorek; Průměry MNC (denaturovana 10 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 28)=14,889$, $p=,00061$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	C	0,727900	0,005787	0,716045	0,739755	10
2	N	0,700550	0,004092	0,692167	0,708933	20

Obrázek 3.46: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a neozářené roztoky

vzorek; Průměry MNC (denaturovana 10 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 18)=3,2565$, $p=,08790$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,723200	0,001842	0,719331	0,727069	10
2	C	0,727900	0,001842	0,724031	0,731769	10

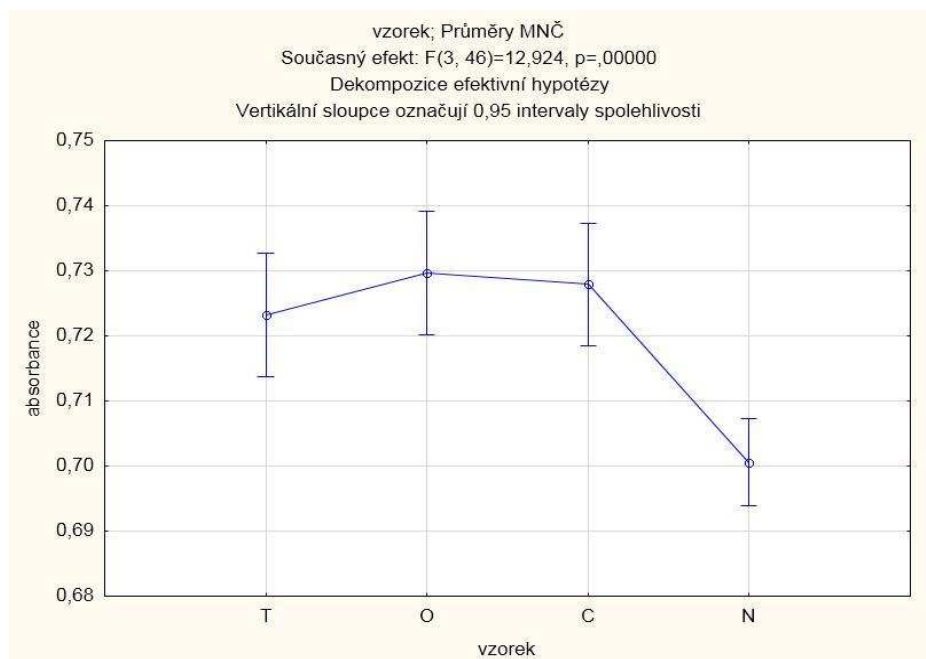
Obrázek 3.47: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní a klasickou cívkou.

vzorek; Průměry MNC (denaturovana 10 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 18)=,31869$, $p=,57936$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	O	0,729700	0,002255	0,724963	0,734437	10
2	C	0,727900	0,002255	0,723163	0,732637	10

Obrázek 3.48: Analýza rozptylu pro ozářené klasickou cívkou a roztoky pod vlivem tepla

vzorek; Průměry MNČ (denaturovana 10 ms DNA) Současný efekt: $F(1, 18)=4,7549$, $p=,04273$ Dekompozice efektivní hypotézy						
Č. buňky	vzorek	absorbance Průměr	absorbance Sm.Ch.	absorbance -95,00%	absorbance +95,00%	N
1	T	0,723200	0,002108	0,718772	0,727628	10
2	O	0,729700	0,002108	0,725272	0,734128	10

Obrázek 3.49: Analýza rozptylu pro ozářené toroidní cívkou a roztoky pod vlivem tepla



Obrázek 3.50: Graf pro analýzu rozptylu denaturovanou DNA s délkou impulsu 10 ms.

3.3 Diskuze

3.3.1 Nativní DNA

Všechna provedená měření by měla objasnit, zda dochází ke změnám ve struktuře DNA. A tedy jestli provedené experimenty prokáží účinný vliv proměnných magnetických polí respektive pole IVMP na dvouvláknovou DNA. Rozdíly v nastavení přístroje spočívaly v nastavení délky impulsu. Pro základní nastavení byla považována délka impulsu 2 ms. Délky 0,1 ms a 10ms byly doporučeny později (po provedených měřeních v základním nastavení) firmou ENJOY jako mezní, při kterých by se účinek mohl maximalizovat.

Předpokládalo se, že absorpční maxima ozářených roztoků budou mírně posunuty od absorpčních maxim neozářeného roztoku směrem k vyšším hodnotám odpovídajícím mírně

denaturaci. Proměnné elektrické pole, které je přiváděno generátorem na budiče, indukuje v klasické cívce proměnné magnetické pole a v okolí cívky teplo jako odpadní produkt, podobně u toroidní cívky. Pro vyloučení vlivu samotného tepla na vzorek se jako další kontrola použilo teplo produkované odporem. Ozáření DNA roztoku tedy mohlo dojít ke změnám ve struktuře DNA, k denaturaci DNA, a tedy k lepšímu pohlcení UV záření. Nejvýraznější změny by měly být pozorovatelné u klasické cívky a odporu. Tedy hodnoty absorbance ozářených vzorků by měly mít vyšší hodnoty než absorbance pro neozářenou DNA.

Pro statistické zpracování testu byla použita Anova. Metoda přispěla k ověření shody dvou neznámých rozdělení pravděpodobnosti pomocí dvou výběrů. Porovnáváním dvou výběrů (vždy se porovnávaly roztoky ozářené toroidní cívkou, klasickou cívkou a odporem s neozářenými roztoky a ozářené roztoky navzájem). Tedy pro každou kategorii (pro 2ms, 0,1ms, 10ms) vznikly tři testované výběry o dvou ozářených roztocích a tři srovnání pro ozářené a neozářené roztoky.

Srovnáním roztoků ozářených a neozářených u nativní DNA s nastavením délky impulsu 2 ms nebyl pozorován žádný vliv, který by způsoboval změny v absorbanci DNA. Jednotlivá porovnání ozářených roztoků také neprokázala, že by některý z působících faktorů vykazoval změny. Předpokládaný impulsní vektorový magnetický potenciál se působením neliší od pulsního magnetického pole vznikajícího v okolí cívky. A vliv těchto proměnných polí se neliší od působení tepla vznikajícího v okolí odporu.

Statistické výsledky nativní DNA s nastavenou délkou impulsu 0,1ms neprokázaly změny, které by poukazovaly na vliv způsobující změny DNA. Roztoky ozářené se průměrnými absorbancemi neliší od průměrných absorbancí neozářených roztoků, používané jako kontroly. Testováním ozářených roztoků navzájem se utvrdilo, že nedošlo k „rozvolnění“ struktury DNA. Předpokládaný impulsní vektorový magnetický potenciál se působením neliší od pulsního magnetického pole vznikajícího v okolí cívky. A vliv těchto proměnných polí se neliší od působení tepla vznikajícího v okolí odporu.

Výsledky pro nativní DNA s délkou impulsu 10 ms poukazují na to, že není výrazných odchylek od průměrů mezi porovnáním ozářených a neozářených roztoků, nejsou signifikantní. Pro jednotlivá srovnání dochází k významným odchylkám od průměrů pouze u působení toroidní cívky a odporu. Avšak předchozí testování ozářených roztoků vyšla neprůkazně. Protože odpor slouží jako kontrolní zdroj tepla a testování mezi působením cívky a vlivu tepla nebylo významné, eliminujeme tím zdroj tepla jako faktor způsobující změny. A

testování vlivu magnetických polí navzájem, také neprokázalo změny. Působení některého z vlivů nebyl prokázán.

3.3.2 Denaturovaná DNA

Roztok DNA byl pro tato měření denaturován, tedy pozvolna zahříván na 95°C. Na rozdíl od roztoku dvouvláknové DNA jsou absorpční maxima posunuta mnohem výše, což jde dobře vidět při srovnání grafů pro dvouvláknovou a jednovláknovou DNA. Je jasné, že při zahřívání roztoku došlo k denaturaci DNA. Tedy absorpce UV záření bude mnohem větší u jednovláknové DNA než u dvouvláknové. Navíc denaturovaná DNA je mnohem citlivější na změny teplot, tedy při ozáření roztoku, kdy se vzorky zahřívají, může absorpční maximum klesnout v důsledku pozvolné renaturace DNA ke které dochází i při laboratorní teplotě, případně může relativně vzrůst – pokud působící síly zamezí samovolné renaturaci. Tedy očekává se, že srovnáním denaturovaných roztoků ozářených a denaturovaných roztoků neozářených, zjistíme změny způsobené právě působícími poli či ohřevem při ozařování v absorpčních maximech.

Testováním roztoků denaturované DNA s délkou impulsu 2 ms ukázalo, že denaturované roztoky po ozáření zpětně renaturují rychleji než samovolným procesem.

S výsledky denaturované DNA s nastavenou délkou impulsu 0,1ms však ukázal poněkud jiný závěr. Zatímco průměry absorbancí pro předpokládané impulsní vektorové magnetické pole toroidu a pulsní vektorové magnetické pole cívky ve srovnání s průměrem neozářených roztoků není významný, u roztoků, které byly vystaveny působení tepla odporu, dochází ke změně v absorpčním maximu. Tedy tento rozdíl potvrdil působení tepla jako síly zrychlující renaturaci, zatímco působící magnetické pole i pole IVMP jaksi brzdí účinek tepla k urychlení denaturace. Nicméně nelze odlišit vliv proměnného magnetického pole a pole IVMP.

Srovnáním roztoků ozářených a neozářených u denaturované DNA s nastavením délky impulsu 10 ms byly pozorovány významné změny, v tomto případě ovšem ve smyslu zvýšení absorpčního maxima vůči neozářenému vzorku, svědčícímu spíše pro bránění samovolné renaturaci účinkem všech použitých „polí“ (proměnné magnetické pole, pole IVMP a teplo). Zároveň nejde odlišit působení těchto polí mezi sebou, vliv pole IVMP, proměnného magnetického i působení tepla způsobuje stejnou změnu absorpčního maxima. Tento výsledek tedy nepotvrzuje předchozí výsledky.

Pro objasnění bude třeba provést další měření, které se však z časových a technických důvodů nedaly do uzavření práce provést, hlavním důvodem pak byla nízká UV propustnost kyvet (přesto, že byla výrobcem garantovaná) používaných v prvních sadách měření a nemožnost velká množství již získaných výsledků do práce zařadit. Také nebylo možné zprovoznit zařízení pro elektroforézu, proto tato měření nebyla provedena.

4. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zjistit, zda proměnná magnetická pole či pole IVMP způsobují změny ve struktuře DNA a zejména pak zjistit zda se účinkem tato pole liší mezi sebou. Měření byla rozdělena podle přípravy roztoku deoxyribonukleové kyseliny na dvouvláknovou a jednovláknovou DNA a dále pak podle délky impulsu na 2 ms, 0,1ms a 10 ms. Nastavení hodnot 2 ms, 0,1 ms a 10 ms bylo doporučeno firmou ENJOY spol. s.r.o. Prvotním cílem bylo prošetřit působení proměnných magnetických polí na DNA. Případné změny by byly viditelné změnou velikosti absorbance. Pro nativní DNA s délkou impulsu 2ms, 0,1 ms, 2 ms nedošlo k rozdílům mezi průměry absorbancí. Nebyl pozorován žádný rozdíl mezi působením proměnného magnetického pole toroidu a cívky.

Denaturovaná DNA ozařovaná s délkou impulsu 2, 0,1 a 10 ms také neukázala rozdíl absorbancí pro pole toroidní a klasické cívky. Naměřená data neprokázala, že pole vytvářející se v okolí cívek má vliv na denaturačně-renaturační změny DNA. Statistickou významnost jen v některých případech prokázal odpor, pracující jako kontrola a zdroj tepla, pole IVMP proměnné magnetické pole se však ve všech případech chovala stejně.

Na základě naměřených dat není možné odlišit působení proměnného magnetického pole a pole IVMP, nicméně ukazují stejný vliv těchto polí na denaturačně-renaturační změny struktury DNA. Pro odlišení vlivu těchto polí, existuje-li, bude třeba využít citlivější metody, například na bázi molekulárně biologických metod.

5. Literatura

- [1] PETRŽÍLKA, V., ŠAFRATA, S. Elektřina a magnetismus. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd 1956. P.19-29.
- [2] SEDLÁK, B., ŠTOLL, I. Elektřina a magnetismus. Praha: ACADEMIA, 2002. P.127,240. ISBN 80-200-1004-1.
- [3] ČIČMANEC, P. Všeobecná fyzika 2, Elektřina a magnetismus. Bratislava, ALFA, 1980. P.27-28.
- [4] STAFFA, E. Měření parametrů elektromagnetického pole vyzařovaného zdravotnickými přístroji, diplomová práce, Masarykova univerzita Brno 2010.
- [5] ROZMAN, Jiří, kolektiv. Elektronické přístroje v lékařství, 1. vyd. Praha: ACADEMIA, 2006. ISBN 80-200-1308-3.
- [6] HALLIDAY D., RESNICK R., WALKER J.: FYZIKA Elektromagnetické vlny, optika, relativita. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2000. P. 890. ISBN 80-214-1869-9
- [7] RAMPL, I.: Research of digitally controlled pulse magnetic-laser field effects and the preparation of development of a new type of therapeutic device. Project of the Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic, No. FT-TA/007, 2003
- [8] PESHIN, M., TONOMURA, A.: The Aharonov-Bohm Effect. Lecture Notes in Physics. Springer Pub., ISBN-10: 0387515674, ISBN-13: 978-0387515670, 1989
- [9] www.enjoy.cz/vyzkum/ivmp [online]. 2010 [cit. 2010-29-11]. Projekt IVMP. Dostupné z WWW: <enjoy.cz>.
- [10] WERTHEIMER N., SAVITZ D.A., LEEPER E.: Childhood cancer in relation to indicators of magnetic fields from ground current sources. Bioelectromagnetics. 16 (2), 1995, P. 86-96.
- [11] SCHULGEN, G., OLSEN, J.H., AHLBOM, A. Magnetic fields and childhood cancer: A pooled analysis of two Scandinavian studies. European Journal of Cancer. 31A(12). 1995. P. 2035-2039.
- [12] AHLBOM, A., FEYCHTING, M., DAY, N. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia. Biological Abstracts British Journal of Cancer. 83(5). September, 2000. P. 692-698.

- [13] FEYCHTING, M., AHLBOHM, A., ULRICH, R.M., SAVITZ, D. A. Temporal characteristics of transmission-line loadings in the Swedish childhood cancer study. *Bioelectromagnetics*. 19(6). 1998. 354-365.
- [14] FEYCHTING, M. SÖDERBERG KC., NAUMBURG, E., ANGER, G. Childhood leukemia and magnetic fields in infant incubators. *Epidemiology*. 13(1). January, 2002. P. 45-9.
- [15] SEVERSON, R. K., KLEINERMAN, R. A., ROBINSON, L. L. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *New England Journal of Medicine*. 337(1). 1997. P. 1-7.
- [16] SEVERSON, R. K., STEVENS, R. G., KAUNE, W. T. Acute nonlymphocytic leukemia and residential exposure to power frequency magnetic fields. *American Journal of Epidemiology*. 128(1). 1988. P.10-20.
- [17] NAFZIGER, J., DEVEVEY, L., PATINOT, C. Absence of the effects of 50 Hz magnetic fields on the progression of acute myeloid leukaemia in rats. *International Journal of Radiation Biology*. 76(6). 2000. P. 853-62.
- [18] FEYCHTING, M. Occupational magnetic fields and female breast cancer: a case-control study using Swedish population registers and new exposure data. *American Journal of Epidemiology*. 161(3). 2005. P. 250-9.
- [19] SCHOENFELD, E. R., HENDERSON, K., O'LEARY, E. S. Wire coding in the EMF and Breast Cancer on Long Island Study: Relationship to magnetic fields. *Environmental Epidemiology*. 13 (4). 2003. P. 283-293.
- [20] SCHOENFELD, E. R., HENDERSON, K., O'LEARY, E. S. Magnetic field exposure assessment: a comparison of various methods. *Bioelectromagnetics*. 20(8). 1999. P. 487-96.
- [21] FEYCHTING, M., FORSSEN, U. M., RITQVIST, L. E. Occupational and residential magnetic field exposure and breast cancer in females. *Epidemiology*. 11 (1),2000, P. 24-29.
- [22] FEYCHTING, M., FORSSEN, U. M., RITQVIST, L. E., AHLBOM, A. Magnetic fields and breast cancer in Swedish adults residing near high-voltage power lines. *Epidemiology*. 9 (4). 1998. P. 392-397.
- [23] DAVIS, S., MIRICK, D.K. Residential magnetic fields, medication use, and the risk of breast cancer. *Epidemiology*. 18 (2). 2007. P. 266-269.
- [24] DAVIS, S., MIRICK, D.K., STEVENS, R. G. Residential magnetic fields and the risk of breast cancer. *American Journal of Epidemiology*. 155 (5). 2002. P.446-454.

- [25] ANGEW, K. C., VILLENEUVE, P.J., JOHNSON, K. C. P. Brain cancer occupational exposure to magnetic fields among men: results from a Canadian population-based case-control study, *Epidemiology*. 31. 2002. P. 210-217.
- [26] FEYCHTING, M., FORSSEN, U. M., AHLBOM, A. SAVITZ, D. A. Occupational magnetic field exposure and the risk of acoustic neuroma. *American Journal of Industrial Medicine*. 49 (2). 2006. P. 112-118.
- [27] FORSSEN, U. M., MEZEI, G., NISE, G., FEYCHTING, M. Occupational magnetic field exposure among women in Stockholm County, Sweden. *Occupational and Environmental Medicine*. 61 (7).2004. P. 594-602.
- [28] KAUNE, W. T., STEVENS, R. G., CALLAHAN, N. J., SEVERSON, R. K., THOMAS, D. B. Residential magnetic and electric fields. *Bioelectromagnetics*. 8(4). 1987. P. 315-35.
- [29] FORSSEN, U. M., FEYCHTING, M., AHLBOM, A. Relative contribution of residential and occupational magnetic field exposure over twenty-four hours among people living close to and far from a power line. *Bioelectromagnetics*. 23(3). 2002. P. 239-244.
- [30] ADAIR, R. K. Criticism of Lednev's mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems. *Bioelectromagnetics*. 12(2).1991. P.71-5.
- [31] GUSTAVSSON, P., JOHANSEN, C., OLSEN, J.H. Cancer incidence and magnetic field exposure in industries using resistance welding in Sweden. *Occupational & Environmental Medicine*. 59(7). 2002. P.481-486.
- [32] KHEIFETS, L., AHLBOM, A., JOHANSEN, C., FEYCHTING, M., SAVITZ, D. Extremely low-frequency magnetic fields and heart disease. *Environment and Health*. 33 (1),2007, P. 5-12.
- [33] AHLBOM, A., FEYCHTING, M., GUSTAVSSON, P., OLSEN, J. H. Occupational magnetic field exposure and myocardial infarction incidence. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*. 15 (4), 2004. P. 403-408
- [34] FEYCHTING, M., JOHNSON, F., PEDERSEN, N. L., AHLBOM, A. Occupational magnetic field exposure and neurodegenerative disease. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*. 14 (4). 2003. P. 413-419.
- [35] HUG, K., ROEOESLI, M., RAPP, R. Magnetic field exposure and neurodegenerative diseases - recent epidemiological studies. *Sozial- und Praeventivmedizin*. 51(4). 2006. P.210-220.

- [36] STRAŠÁK, Luděk. Vliv nízkofrekvenčních magnetického polí na bakterie. Dizertační práce. Masarykova univerzita Brno 2002.
- [37] HIGASHI, T., YAMAGISHI, A., DATE, M. Effects of static magnetic fields on erythrocyte rheology, *Bioelectrochem. and Bioenerg.* 1995. P. 101-108.
- [38] MARET, G., MAYER, A., DRANSFELD, K. Orientation of Nucleic Acid in High Magnetic Fields. 1995. P.398-400.
- [39] ROSEN, A.D. Inhibition of calcium channel activation in GH3 cells by static magnetic fields. 1996. P. 149.
- [40] HARKINS, T.T., GRISSOM, C.B. Magnetic field effects on B12 ethanolamine ammonia lyase. *Epidemiology.* 2004. P.958-960.
- [41] BLANK, M. Do electromagnetic fields interact with electrons in the Na,K-ATPase?. *Bioelectromagnetics.* 27(5). 2006. P. 335.
- [42] BLANK, M., SOO, L. Optimal frequencies for magnetic acceleration of cytochrome oxidase and Na,K-ATPase reactions. *Bioelectrochemistry.* 53(2). 2001. P. 171-4.
- [43] GALT, S., SANDBLOM, J., HAMNERIUS, Y., SAALMAN, E., HOJEVIK, P. Experimental search for combined AC and DC magnetic field effects on ion channels. *Bioelectromagnetics.* 14 (4). 1993. P. 315-327.
- [44] LIBURDY, R. P., CALLAHAN, D.E., HARLAND, J., DUNHAM, E. Experimental evidence for 60 Hz magnetic fields operating through the signal transduction cascade. Effects on calcium influx and c-MYC mRNA induction. *FEBS Letters.* 334 (3). 1993. P. 301-308.
- [45] YOST, M. G., LIBURDY, R. P. Time-varying and static magnetic fields act in combination to alter calcium signal transduction in the lymphocyte. *Febs letters.* 296 (2). 1992. P. 117-122.
- [46] FARRELL, J. M. BARBER, M., KRAUSE, D., LITOVITZ, T.A. Effects of low frequency electromagnetic fields on the activity of ornithine decarboxylase in developing chickens embryos. *Bioelectrochemistry & Bioenergetics.* 43(1). 1997. P.91-96.
- [47] FARRELL, J. M. BARBER, M., KRAUSE, D., LITOVITZ, T.A. The superposition of a temporally incoherent magnetic field inhibits 60 Hz-induced changes in the ODC activity of developing chick embryos. *Bioelectromagnetics.* 19(1). 1998. P. 53-56.
- [48] FARRELL, J. M., LITOVITZ, T.A., The effect of pulsed and sinusoidal magnetic fields on the morphology of developing chick embryos. *Bioelectromagnetics.* 18 (6). 1997. P. 431-438.

- [49] NAKASONO, S., Intermediate frequency magnetic fields do not have mutagenic, co-matagenic or gene conversion potentials in microbial genotoxicity tests. *Mutation Research*. 649(1-2). 2008. P. 187-200.
- [50] MCNAME, J. P., BELLIER, P.V., CHAUHAN, V., GAJDA, G.B., LEMAY, E. Evaluating DNA damage in rodent brain after acute 60 Hz magnetic-field exposure. *Radiation Research*. 164(6). 2005. P. 791-797.
- [51] YOKUS, B., CAKIR, D. U., AKDAG, M. Z. Oxidative DNA damage in rats exposed to extremely low frequency electromagnetic fields. *Free Radical Research*. 39(3). 2005. P.317-323.
- [52] WAHAB, M.A., PODD, J. V., RAPLEY, B. I., ROWLAND, R. E. Elevated sister chromatid exchange frequencies in dividing human peripheral blood lymphocytes exposed to 50 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 28(4). 2007. P. 281-288.
- [53] STRAŠÁK, LUDĚK. Vliv nízkofrekvenčních magnetických polí na bakterie. Dizertační práce. Masarykova univerzita, Brno. 2002.
- [54] [Http://www.biomag.cz/magnetoterapie-o-magnetoterapii/magnetoterapie-magneticke-pole-skodlive.php](http://www.biomag.cz/magnetoterapie-o-magnetoterapii/magnetoterapie-magneticke-pole-skodlive.php). [online]. 2006 [cit. 2010-11-14]. Dostupné z WWW: <biomag.cz>.
- [55] ŠIMURDA, Jiří. Bioelektrické jevy. Skripta. Vysoké učení technické, Brno. 2009.
- [56] Spektrofotometr. In wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) :Wikipedia Foundation, 25.11.2008, last modified on 13.7.2009 [cit.26.5.2011]. Dostupné z WWW: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Spektrofotometr> >.

6. Seznam obrázků

<i>Obrázek 2.1: Závislost intenzity E na čase t ve statickém poli.....</i>	5
<i>Obrázek 2.2: Závislost intenzity E na čase t v harmonickém poli.....</i>	5
<i>Obrázek 2.3: Závislost intenzity E na čase t v pulzním poli.....</i>	6
<i>Obrázek 2.4: Uspořádání měřící soustavy. [9].....</i>	10
<i>Obrázek 3.1: Sestava přístroje pro ozáření.....</i>	18
<i>Obrázek 3.2: Spektrofotometr Genesys 6.....</i>	18
<i>Obrázek 3.3: Graf pro průměrné hodnoty absorbancí u ozářených s délkou impulsu 2 ms a neozářených vzorků.....</i>	20
<i>Obrázek 3.4: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a neozářené roztoky.....</i>	21
<i>Obrázek 3.5: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a neozářené roztoky.....</i>	21
<i>Obrázek 3.6: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu magnetického pole a roztoky neozářené.....</i>	21
<i>Obrázek 3.7: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní a klasickou cívkou.....</i>	22
<i>Obrázek 3.8: Analýza rozptylu pro ozářené klasickou cívkou a roztoky pod vlivem tepla.....</i>	22
<i>Obrázek 3.9: Analýza rozptylu pro ozářené toroidní cívkou a roztoky pod vlivem tepla.....</i>	22

Obrázek 3.10: Graf pro analýzu rozptylu nativní DNA s délkou impulsu 2 ms.	22
Obrázek 3.11: Graf pro průměrné hodnoty absorpací u ozářených s délkou impulsu 0,1 ms a neozářených vzorků.	23
Obrázek 3.12: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a neozářené roztoky.	24
Obrázek 3.13: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a neozářené roztoky.	24
Obrázek 3.14: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu magnetického pole a neozářené roztoky.	24
Obrázek 3.15: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní a klasickou cívkou.	24
Obrázek 3.16: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené klasickou cívkou a roztoky pod vlivem tepla.	24
Obrázek 3.17: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a roztoky pod vlivem tepla.	25
Obrázek 3.18: Graf pro analýzu rozptylu nativní DNA s délkou impulsu 0,1ms.	25
Obrázek 3.19: Graf pro průměrné hodnoty absorpací u ozářených s délkou impulsu 10 ms a neozářených vzorků.	26
Obrázek 3.20: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a neozářené roztoky.	27
Obrázek 3.21: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a roztoky neozářené.	27
Obrázek 3.22: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu magnetického pole a neozářené roztoky.	27
Obrázek 3.23: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní a klasickou cívkou.	27
Obrázek 3.24: Analýza rozptylu pro ozářené klasickou cívkou a roztoky pod vlivem tepla.	27
Obrázek 3.25: Analýza rozptylu pro ozářené toroidní cívkou a roztoky pod vlivem tepla.	28
Obrázek 3.26: Graf pro analýzu rozptylu nativní DNA s délkou impulsu 10ms.	28
Obrázek 3.27: Graf pro průměrné hodnoty absorpací u ozářených s délkou impulsu 2 ms a neozářených vzorků.	29
Obrázek 3.28: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a neozářené roztoky.	29
Obrázek 3.29: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a neozářené roztoky.	30
Obrázek 3.30: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu magnetického pole a neozářené roztoky.	30
Obrázek 3.31: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní a klasickou cívkou.	30
Obrázek 3.32: Analýza rozptylu pro ozářené klasickou cívkou a roztoky pod vlivem tepla.	30
Obrázek 3.33: Analýza rozptylu pro ozářené toroidní cívkou a roztoky pod vlivem tepla.	30
Obrázek 3.34: Graf pro analýzu rozptylu denaturovanou DNA s délkou impulsu 2 ms.	31
Obrázek 3.35 Graf pro průměrné hodnoty absorpací u ozářených s délkou impulsu 0,1 ms a neozářených vzorků.	32
Obrázek 3.36: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a neozářené roztoky.	33
Obrázek 3.37: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a neozářené roztoky.	33
Obrázek 3.38: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu magnetického pole a neozářené roztoky.	33
Obrázek 3.39: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní a klasickou cívkou.	33
Obrázek 3.40: Analýza rozptylu pro ozářené klasickou cívkou a roztoky pod vlivem tepla.	33
Obrázek 3.41: Analýza rozptylu pro ozářené toroidní cívkou a roztoky pod vlivem tepla.	34
Obrázek 3.42: Graf pro analýzu rozptylu denaturovanou DNA s délkou impulsu 0,1 ms.	34
Obrázek 3.43: Graf pro průměrné hodnoty absorpací u ozářených s délkou impulsu 10 ms a neozářených.	35
Obrázek 3.44: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní cívkou a neozářené roztoky.	36
Obrázek 3.45: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a neozářené roztoky.	36
Obrázek 3.46: Analýza rozptylu pro roztoky vystavené vlivu tepla a neozářené roztoky.	36
Obrázek 3.47: Analýza rozptylu pro roztoky ozářené toroidní a klasickou cívkou.	36
Obrázek 3.48: Analýza rozptylu pro ozářené klasickou cívkou a roztoky pod vlivem tepla.	36
Obrázek 3.49: Analýza rozptylu pro ozářené toroidní cívkou a roztoky pod vlivem tepla.	37
Obrázek 3.50: Graf pro analýzu rozptylu denaturovanou DNA s délkou impulsu 10 ms.	37

7. Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Fyzikální veličiny popisující magnetické pole.	10
Tabulka 2.2: Srovnání účinků magnetických polí.	22

