

Studium možností generování ozonu pomocí elektricky nabitých vláknenných struktur a možnosti jejího využití při dekontaminaci škodlivin

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Autor práce:

Tomáš Potštejnský

Vedoucí práce:

doc. Ing. Pavel Pokorný, Ph.D.

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů





Zadání bakalářské práce

Studium možností generování ozonu pomocí elektricky nabitých vláknenných struktur a možnosti jejího využití při dekontaminaci škodlivin

Jméno a příjmení: **Tomáš Potštejnský**
Osobní číslo: T17000103
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní technologie, materiály a nanomateriály
Zadávací katedra: Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Student provede rešerši o dosud používaných systémech pro generování plynného ozonu.
2. Student provede návrh a konstrukci zařízení pro generování plynného ozonu na základě vláknenných struktur.
3. Student provede základní experimenty se zkonstruovaným zařízením a ověří jeho funkčnost a produktivitu tvorby ozonu.
4. Student provede diskuzi a zhodnocení výsledků práce.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
40-60 dle potřeby
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. doc. RNDr. Jiří Dřímál: Ozon v moderních technologiích úpravy pitné vody. www.ozon.cz [online]. [cit. 2010-10-25]. Dostupné v archivu pořízeném dne 2014-09-14.
2. Streng, A. G. (1961). „Tables of Ozone Properties“. *Journal of Chemical & Engineering Data*. 6 (3): 431-436. doi:10.1021/je00103a031.
3. Brown, Theodore L.; LeMay, H. Eugene, Jr.; Bursten, Bruce E.; Burdge, Julia R. (2003) [1977]. „22“. In Nicole Folchetti (ed.). *Chemistry: The Central Science* (9th ed.). Pearson Education. pp. 882-883. ISBN 978-0-13-066997-1.
4. Smith, L. I.; Greenwood, F. L. and Hudrlik, O. (1946). „A laboratory ozonizer“. *Organic Syntheses*. 26: 63.; Collective Volume, 3, p. 673

Vedoucí práce:

doc. Ing. Pavel Pokorný, Ph.D.
Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání práce:

20. dubna 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

29. května 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, 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 nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

21. května 2020

Tomáš Potštejnský

Abstrakt

Tato bakalářská práce studuje možnost generování ozonu pomocí elektricky nabitých vlákenných struktur a jeho následné využití při dekontaminaci škodlivých látek. V první fázi se práce zabývá rešerší dosud známých systémů výroby plynného ozonu, vlastnostmi ozonu a jeho využitím v praxi. V druhé fázi následuje konkrétní návrh zařízení pro generování plynného ozonu na základě vlákenných struktur za pomoci zkroucených měděných vodičů a jeho následná konstrukce. Poté jsou v práci popsány provedené základní experimenty se zkonstruovaným zařízením, hlavně ověření funkčnosti výroby ozonu a výkonu zařízení. Na závěr jsou zhodnoceny výsledky práce.

Klíčová slova: Ozon, zkroucené vodiče, vysoké napětí, dekontaminace.

Abstract

This bachelor thesis studies possibility of ozone generation with help of electrically charged fiber structures and the possibility of its use in decontamination of pollutants. In the first part of the thesis are described industrial production of gas ozone, ozone attributes and its use in practise. The second part of the thesis is focused on concrete design of a device, which generates ozone on the basic of fiber structures with help of twisted copper wires. Furthermore, it is also described its construction. Then functionality and performance are verified with help of several experiments. At the end are evaluated results of the experiments.

Keywords: Ozone, twisted wires, high voltage, decontamination.

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Pavlu Pokornému, Ph.D. za odborné vedení a poskytnuté rady při vypracovávání této bakalářské práce.

Obsah

Seznam zkratek	9
1 Úvod	10
2 Teoretická část	11
2.1 Vlastnosti a výskyt ozonu	11
2.2 Průmyslová výroba ozonu	14
2.2.1 Elektrolytická metoda	14
2.2.2 Fotochemická metoda	14
2.2.3 Výroba ozonu pomocí elektrického výboje	14
2.2.4 Příklady výrobců ozonizérů a jejich produktů	16
2.2.5 Výroba ozonu pomocí zkroucených vodičů do šroubovice	17
2.3 Využití ozonu	18
2.4 Stanovení ozonu	19
2.4.1 Chemické metody	20
2.4.2 Fotochemické metody	20
2.5 Působení ozonu na vybrané materiály	22
2.5.1 Sklo	22
2.5.2 Kaučuk	22
2.5.3 Uhlík	22
2.5.4 Plast	22
2.5.5 Kov	23
3 Praktická část	24
3.1 Nápad generace ozonu	24
3.2 Zařízení pro generaci ozonu	25
3.2.1 První část	26
3.2.2 Druhá část	28
3.2.3 Třetí část	28
3.2.4 Statistické zhodnocení naměřených dat	31

3.3	Zařízení pro generaci ozonu z textilních struktur	32
3.4	Výsledky a využití zařízení	38
4	Závěr	39
	Použitá literatura	41
	Seznam tabulek	43
	Seznam obrázků	44
	Seznam příloh	45

Seznam zkratek

cm	centimetr
cm²	centimetr čtvereční
cm³	centimetr krychlový
cm⁻³	centimetr na mínus třetí
e	Eulerovo číslo
g/mol	gram na mol
kg/m³	kilogram na metr krychlový
km	kilometr
kPa	kilopascal
kV	kilovolt
m	metr
M	molární
mg	miligram
ml	mililitr
mm	milimetr
nm	nanometr
N₀	Loschmidtovo číslo
ppb	parts per billion
ppm	parts per million
pF	pikofarad
P₀	tlak za normálních podmínek
T₀	teplota za normálních podmínek
tzv.	takzvaný
UV	ultrafialové
%	procento
°	stupeň
°C	stupeň Celsia

1 Úvod

Ozon se vyskytuje za normálních podmínek v plynném skupenství a je složen ze tří atomů kyslíku. V přírodě se nachází v troposféře a ve stratosféře. Zatímco ve stratosféře tvoří ozon tzv. ozonovou vrstvu - vrstvu, která chrání Zemi před UV zářením, v troposféře je výskyt ozonu nežádoucí a je také škodlivý.

Ozon dokáže zabít bakterie, viry, plísně i houby a likvidovat další různé škodliviny. Tuto schopnost má díky svým výborným oxidačním schopnostem. Oxidačních vlastností ozonu se průmyslově využívá například při úpravě vody, dezinfekci budov po povodních nebo vzduchu v místnostech. Dále lze ozon třeba využít k dezinfekci automobilů nebo v potravinářství strojního zařízení.

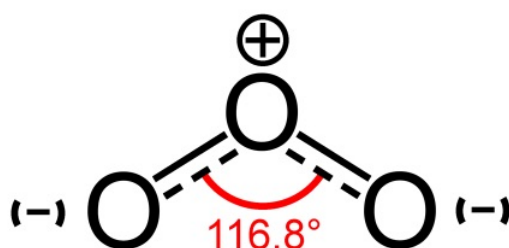
Vyrobít ozon lze různými metodami. V této práci je popsána výroba ozonu pomocí nejznámějších metod, jako je elektrolytická metoda, fotochemická metoda nebo metoda výroby ozonu pomocí elektrického výboje.

Praktická část této práce se zabývá konstrukcí a realizací funkčního vzorku textilní struktury, která bude v celé své ploše generovat plynný ozon. Díky oxidačním vlastnostem ozonu, který bude generovat upravená textilní struktura, bude docházet k likvidaci škodlivin a mikroorganismů v ploše, na které bude přiložen tento generátor ozonu.

2 Teoretická část

2.1 Vlastnosti a výskyt ozonu

Jak bylo zmíněno v úvodu, ozon je za normálních podmínek tříatomový plyn. Skládá se ze tří atomů kyslíku. Za normálních podmínek je také hodně reaktivní a má charakteristický zápach. Z hlediska barevného zbarvení je při normálních podmínkách bezbarvý a v malých koncentracích. Nad 15 - 20 % se ozon zbarvuje do modra. Taktéž v tekutém stavu je ozon modrý. Vyskytuje se ve třech skupenstvích. Ozon má silný oxidační účinek. Molekula ozonu má tvar rovnoramenného trojúhelníku s tupým úhlem $116,8^\circ$. [1]



Obrázek 2.1: Model molekuly ozonu [1]

Kvůli nahromaděné energii je tříatomová molekula ozonu hodně nestabilní a má snahu se samovolně rozpadat na dvouatomový kyslík. Například 45 minut trvá rozpad ozonu na kyslík při teplotě 20°C a tlaku $101,3\text{ kPa}$. Při zvýšení teploty o 5 stupňů trvá rozpad jen 20 minut. To znamená, že dochází ke zmenšení doby rozpadu při zvýšení okolní teploty. [1]

Tabulka 1: Důležité vlastnosti ozonu [1]

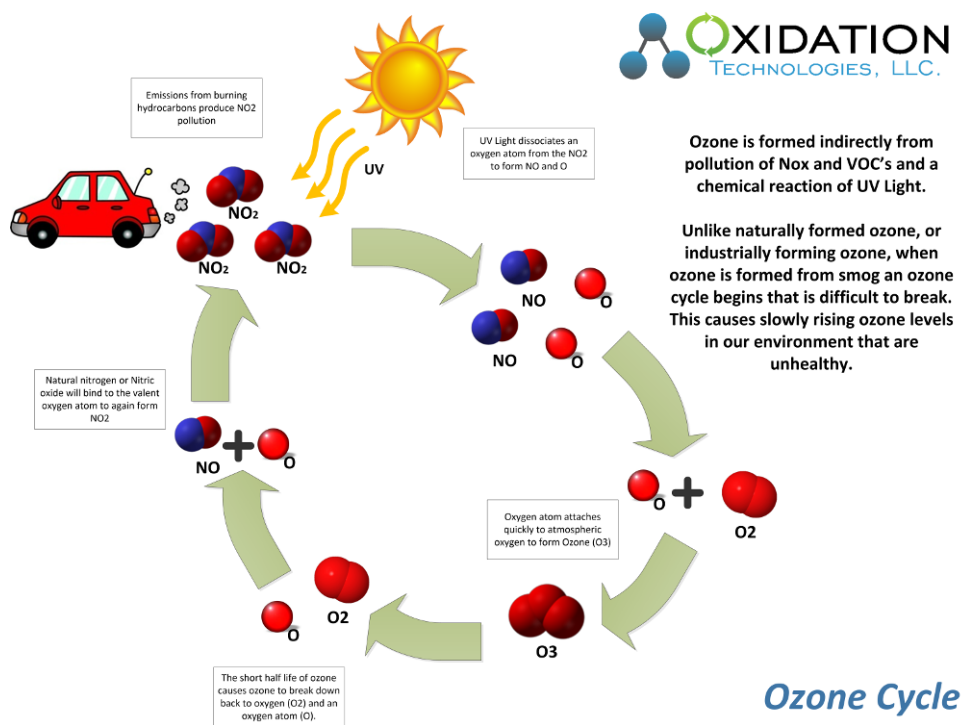
Vlastnost	Hodnota
Teplota tání	$-192,55^\circ\text{C}$
Teplota varu	$-111,85^\circ\text{C}$
Molekulová hmotnost	$47,998\text{ g/mol}$
Hustota při 0°C	$2,154\text{ kg/m}^3$
Magnetická vlastnost	diamagnetický

Jak bylo zmíněno výše, ozon je silný oxidant. Díky tomu má výborné dezinfekční a čistící vlastnosti. Dokáže zahubit veškeré druhy plísní, hub, bakterií nebo virů. Pro porovnání s ostatními činnidly je ozon 3000x rychlejší než chlór, má 25x větší účinnost než chlornan, 5000x než chloramin nebo 25x než kyselina chloritá.[1]

Další vlastností ozonu je schopnost redukovat pachy v prostředí, ve kterém nejsou žádoucí. Například pachy zvířat nebo kouř z cigaret či doutníků. Tomuto efektu se říká dezodorační efekt. Na rozdíl od jiných přípravků, které dokáží pachy pouze maskovat, ozon je rozloží a trvale odstraní.[1]

Chemické dezinfekční prostředky mohou po aplikaci způsobit dýchací potíže či alergické reakce. Ozon tyto problémy nezpůsobuje a celkově nenechává po aplikaci stopy.[1]

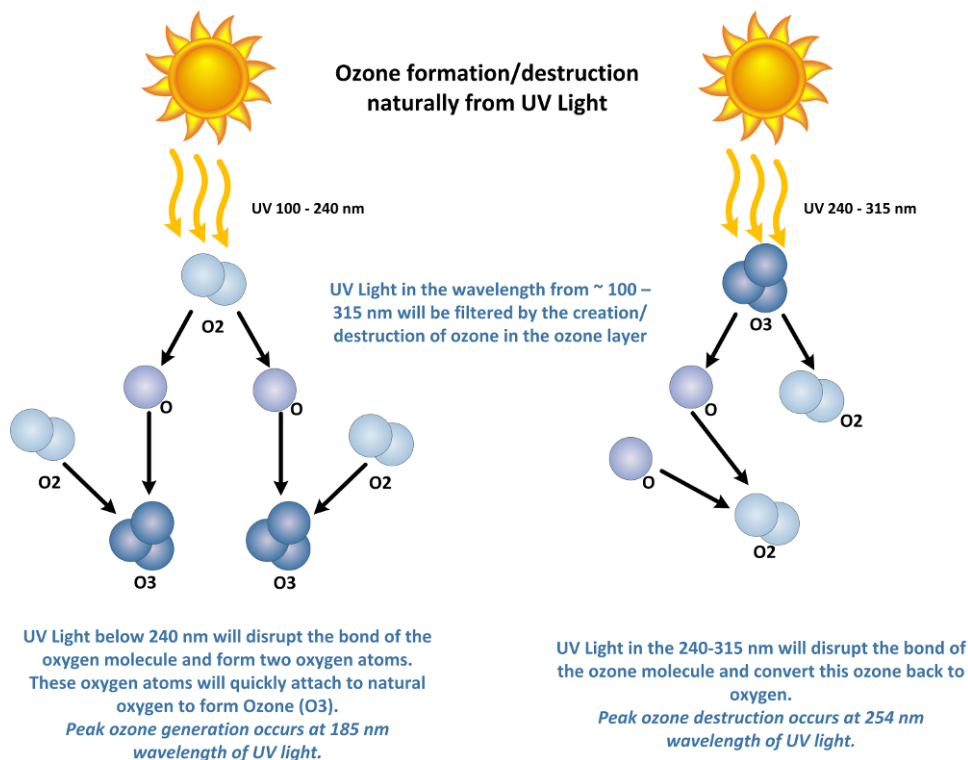
Ozon se vyskytuje v přírodě v troposféře a ve stratosféře. V troposféře je asi 10 % všeho ozonu na Zemi a je zde nežádoucí. Vzniká reakcí mezi oxidem dusičitým, těkavými organickými sloučeninami a UV zářením ze Slunce. Právě při spalování pohonných hmot vozidly vzniká oxid dusičitý. Následně ultrafialové záření tento oxid rozkládá na jeden atom kyslíku a oxid dusnatý. Volný atom kyslíku následně tvoří ozon s molekulou kyslíku. Protože je ale ozon nestabilní, molekula se rozpadá a vzniká opět volný atom kyslíku. Tento atom se opět váže na molekulu oxidu dusnatého a vytvoří oxid dusičitý. Tento cyklus se znova a znova opakuje. Jelikož se ozon v tomto cyklu nerozkládá na kyslík, ale tvoří znova oxid dusičitý, který je nezdravý, je to pro životní prostředí škodlivý cyklus. [2]



Obrázek 2.2: Schéma cyklu produkce ozonu ze smogu [2]

Ve stratosféře má ozon pozitivní a důležitou roli. Zde se nachází až 90 % ozonu na Zemi. Tvoří zde tzv. ozonovou vrstvu ve výšce 16 - 50 km s koncentrací od 2 do 8 ppm. Tato vrstva je nepostradatelná pro všechny živé organismy na Zemi a celkově pro život na Zemi. Ozonová vrstva ve stratosféře pohlcuje ultrafialové záření, které je škodlivé pro organismy. U člověka může ve větší míře ultrafialového záření vyvolat rakovinu kůže nebo poškození zraku. [2]

Ozonová vrstva má různou tloušťku. Tloušťka závisí na zeměpisné šířce nebo ročním období. Vytváří ji UV záření vlnové délky zhruba 100 - 240 nm z kyslíku. Při vlnové délce zhruba 200 - 315 nm naopak UV záření rozkládá ozon na kyslík. Mimo tento proces lze ozon rozkládat i volnými radikály. Jedná se hlavně o chlor, fluor, hydroxylové radikály nebo oxid dusnatý. Pouhý jeden radikál je schopen rozložit tisíce molekul ozonu. Ve větším množství dokážou tyto radikály narušovat ozonovou vrstvu. Dříve se používal jako hnací plyn do sprejů tzv. freon. Dostával se poté do stratosféry, kde se rozkládal na oxid chlornatý, chlor a fluor. Díky těmto freonům se velice ztenčovala ozonová vrstva, až se tvořily tzv. ozonové díry. Dnes jsou freony už zakázány. Dále má na ztenčování ozonové vrstvy velký vliv také pohyb letadel. Spalováním pohonných hmot letadly vzniká mimo jiné vodní pára, která se rozkládá na výše zmíněné hydroxylové radikály. K měření ozonu ve vertikálním sloupci atmosféry se používá Dobsonova jednotka (DU). Jedna DU odpovídá za standardních podmínek ($P_0 = 101,3 \text{ kPa}$, $T_0 = 0^\circ\text{C}$) vrstvě ozonu 10 000 nm, přesněji $2,69 \times 10^{20}$ molekul ozonu na čtvereční metr. [3, 2]



Obrázek 2.3: Vznik a zánik ozonu ve stratosféře [2]

2.2 Průmyslová výroba ozonu

Ozon lze vyrobit z kyslíku různými elektrochemickými, fotochemickými, chemickými, nebo i tepelnými metodami. Základ všech metod výroby je přerušení vazeb molekuly kyslíku a vytvoření molekuly ozonu. Liší se tedy typem použité energie přerušující vazbu.

2.2.1 Elektrolytická metoda

Elektrolytická metoda spočívá ve výrobě ozonu ve vodě s pomocí elektrolytických ozonových generátorů. Princip výroby je založen na rozdělení molekuly vody na vodík a kyslík. Následně se separuje molekula kyslíku na dva samostatné atomy. Tyto atomy poté reagují s molekulou kyslíku za vzniku molekuly ozonu. Nutná podmínka této metody je nutnost izolovat kyslík od vodíku a následně elektricky nabít molekulu kyslíku, aby mohla vzniknout molekula ozonu. Uvedený děj funguje pouze v čisté vodě. Elektrolytická metoda je energeticky náročná. Další nevýhoda je krátká životnost anody a katody generátoru. Mezi výhody patří nepotřebnost zařízení pro zavedení plynného ozonu do vody, protože se vyrábí přímo ve vodě. [2]

2.2.2 Fotochemická metoda

Při fotochemické metodě generuje ozon ultrafialové světlo vlnové délky pod 240 nm. Nejvíce ozonu vyrábí ultrafialové světlo při vlnové délce 185 nm. UV světlo vyrábí výbojky uložené v reaktorech. Při samotném procesu výroby ozonu dochází v reaktoru díky UV záření k rozdělení molekuly kyslíku na dva radikály. Tyto radikály se následně spojují s molekulami kyslíku a vznikají molekuly ozonu. V reaktoru se nachází UV výbojky obložené pouzdem z křemičitého skla a radiační komora. Křemičité sklo se používá z důvodu, že normální sklo nepropustí UV záření. [2]

Tato metoda se využívá hlavně v laboratořích, protože pro průmyslové použití je nevýhodná zejména díky velké energetické náročnosti a malému výkonu výroby ozonu v nízkých koncentracích. [4]

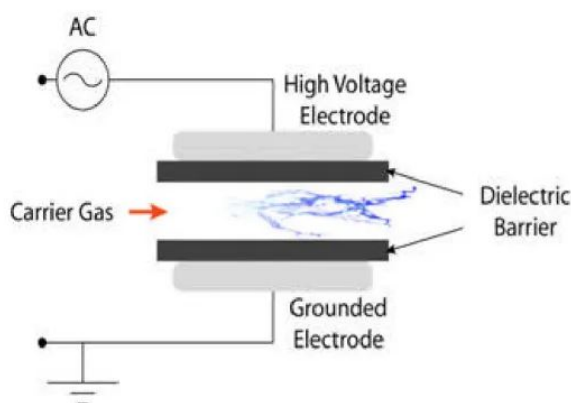
2.2.3 Výroba ozonu pomocí elektrického výboje

Ozon se v průmyslu nejvíce vyrábí pomocí elektrického výboje. Používají se elektrody s vysokým napětím (8 - 10 kV), které s pomocí výboje rozdělí molekulu kyslíku, který kolem nich proudí, na dva radikály. Existuje více typů výbojů, například doutnavý, tichý, obloukový, korónový nebo bariérový. [4]

Při tvorbě výboje s vysokým napětím vzniká v generátoru teplo. Generátor se proto musí chladit vzduchem nebo vodou. Pokud by bylo v generátoru velké teplo, produkce ozonu by klesala. Platí, že při zvýšení teploty se snižuje poločas rozpadu ozonu. [4]

Bariérový výboj

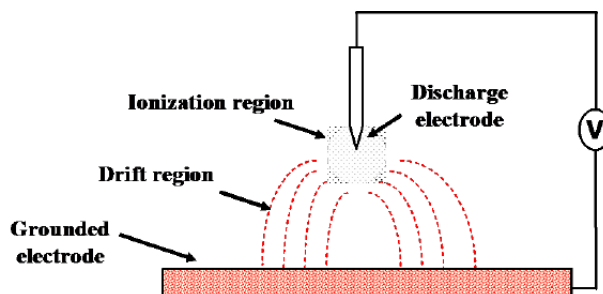
Výroba ozonu pomocí dielektrického bariérového výboje se řadí k velice efektivním metodám výroby ozonu. Zařízení pro výrobu ozonu tvoří dvě rovnoběžné desky, které jsou zároveň elektrodami. Na těchto deskách je vrstva dielektrika. Mezi deskami proudí vzduch nebo kyslík. K vytvoření molekuly ozonu je nutné rozbít vazbu mezi molekulou kyslíku. Volný atom utvoří vazbu s molekulou kyslíku za vzniku molekuly ozonu. Tento úkol zajišťuje dielektrický bariérový výboj, který vzniká v elektrickém poli mezi deskami. K vytvoření elektrického pole je třeba elektrody připojit na vysoké střídavé napětí. Při správně nastavených parametrech přístroje (napětí, frekvence nebo vzdálenost elektrod od sebe) lze dosáhnout vysoké koncentrace ozonu. [5, 4]



Obrázek 2.4: Schéma výroby ozonu pomocí bariérového výboje [5]

Korónový výboj

Tento způsob výroby ozonu spočívá ve vytvoření elektrického pole s vysokým napětím mezi rovinnou elektrodou a hrotovou korónovou elektrodou. Opět je třeba rozbít vazbu molekuly kyslíku a vytvořit radikály kyslíku, které se spojí s další molekulou kyslíku za vzniku ozonu. V elektrickém poli mezi elektrodami probíhají výboje, které rozbíjejí vazby v molekule kyslíku. Mezi elektrodami dochází k toku elektrického proudu díky ionizovanému plynu (vzduchu, kyslíku). [6, 4]



Obrázek 2.5: Korónový výboj [6]

2.2.4 Příklady výrobců ozonizérů a jejich produktů

Firma Wedeco

Firma Wedeco je velký výrobce ozonizérů ve Spojených státech amerických. Vyrábí ozonizéry k dezinfekci vody. Jako příklad jednoho z jejich produktů lze uvést SMOevo PLUS Ozone system nebo výkonější a větší PDOevo PLUS Ozone system. Oba generátory ozonu jsou určeny pro čištění odpadních vod a užitkové vody.

Na obrázku 2.6 je vidět fotografie elektrody, která v obou generátorech generuje ozon. Zařízení se skládá z uzemněné trubice a elektrody ze zapletených drátů. Uvnitř elektrody a mezi elektrodou a kovovou trubicí jsou skleněné trubice. Mezi elektrodou a kovovou trubicí je vysoké napětí. Skrz vzniklé elektrické pole proudí kyslík a některé jeho molekuly se rozdělí na radikály, které se následně spojí s dalšími molekulami kyslíku za vzniku molekul ozonu. [7, 8]



Obrázek 2.6: Fotografie elektrody, která generuje ozon [7]

Firma Ozotech

Tato firma ze Spojených států amerických vyrábí malé ozonizéry pro dezinfekci vody i vzduchu. Ozotech má ve své nabídce spoustu produktů, které se liší dle svého použití. Například systém BTU Series slouží k dezinfekci vody, mimo jiné v bazénech nebo i v myčkách aut. Systém Micro Max Air Sanitizer slouží k dezinfekci vzduchu. Umí odstraňovat i zvířecí pachy. [10, 9]

Systémy generující ozon od výrobce Ozotech se skládají z transformátoru, vysokonapěťové elektrody, izolačního materiálu a nízkonapěťové elektrody, která má zemnicí funkci. [11]

Firma OZON MORAVIA

OZON MORAVIA je česká firma, která se zabývá návrhem a výrobou ozonizérů. Tyto ozonizéry pak slouží pro úpravu a dezinfekci vody a vzduchu. OZON MORAVIA má ve své nabídce spoustu produktů, které se liší dle svého využití. Například systém DOG CN je určen pro likvidaci kyanidů, EDTA, herbicidů a pesticidů ve vodě. Systém DOG OS je vyroben pro úpravu a dezinfekci jezerní a rybníční

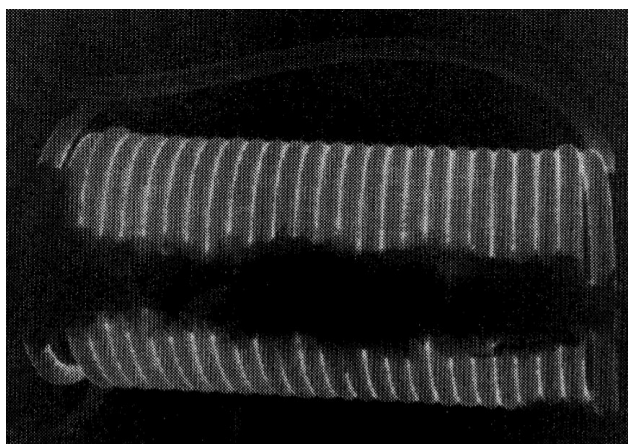
vody. Pro dezinfekci vzduchu v kancelářích a domácnostech lze využít systém GLO, který likviduje mikroorganismy (bakterie, viry nebo třeba plísň). [12]



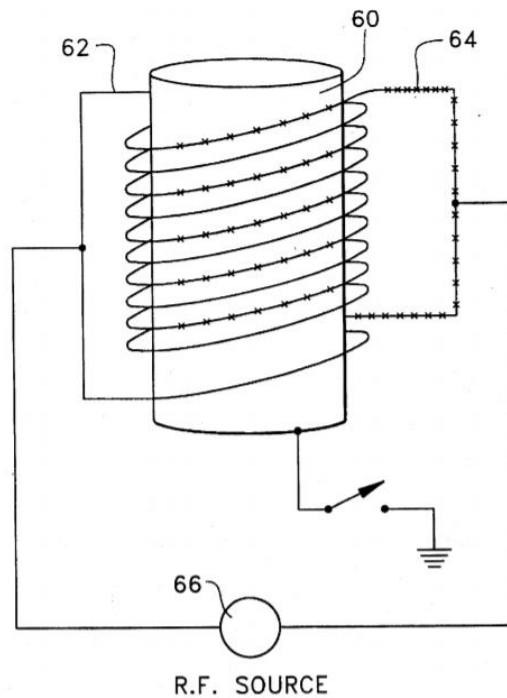
Obrázek 2.7: Systém DOG OS [13]

2.2.5 Výroba ozonu pomocí zkroucených vodičů do šroubovice

Ozon lze generovat i s pomocí dvou zkroucených vodičů do šroubovice a připojených na zdroj vysokého napětí. Patent US5669583A s názvem Method and apparatus for covering bodies with a uniform glow discharge plasma and applications thereof popisuje možnost zakrytí pláště válcového předmětu vodiči generující ozon. [14]



Obrázek 2.8: Zařízení generující ozon dle patentu US5669583A, foceno koro-kamerou [14]



Obrázek 2.9: Schéma zařízení generující ozon dle patentu US5669583A [14]

2.3 Využití ozonu

Jak bylo zmíněno výše, ozon má velké dezinfekční schopnosti. Ničí různé mikroorganismy, jako jsou bakterie, viry, houby nebo plísně. Likviduje je oxidačními procesy. Mikroorganismus není odolný vůči oxidaci a dochází u něj k rozbití buněčné stěny. V takto narušeném mikroorganismu dochází k úniku komponentů buňky mikroorganismu mimo tuto buňku. Mimo to ozon ještě ničí nukleové kyseliny rozbitím vazby mezi dusíkem a uhlíkem. [15, 16]

Dezinfekčních schopností ozonu se ve velké míře využívá při úpravě pitné nebo i odpadní vody, protože ozon má větší účinnost než různé sloučeniny chloru. Ozon mimo zbavení vody mikroorganismů dokáže odstranit z vody i železo a mangan, oxidovat organické látky nebo zničit mutagenní a karcinogenní sloučeniny. Díky tomu pak má pitná voda lepší pach, barvu nebo chuť. Při dezinfekci odpadní vody ozon také zlepšuje pach a barvu vody a navíc odstraňuje fenoly a kyanidy. Dále se ozon využívá při úpravě vody v bazénech, protože má větší účinnost než chlor. [16]

Po povodních se ve vyplavených budovách tvoří plísně a další mikroorganismy. Dokonce po vysušení domu některé organismy přežijí. Avšak po aplikaci ozonem tyto organismy oxidují a zanikají. [16]

Zajímavé je využití ozonu k obnově rybníků a nádrží. Usazování přírodního materiálu na dně rybníku či nádrže podporuje tvorbu sinic na hladině a tím útlum života ve vodě. Použití ozonu podporuje rozklad usazenin a aerobní procesy. Tím dochází ke zlepšení života ve vodním prostředí. [16]

Při průmyslové výrobě nebo rozkladu organické hmoty v anaerobních podmínkách (hniloba) vzniká zápach. Konkrétně se tvoří plyny (oxid uhličitý, sulfan nebo různé sloučeniny dusíku), díky nimž vzduch zapáchá. Ozon dokáže odstranit ze vzduchu tento zápach. Na vytvoření ozonu se zde používá ultrafialové záření. Takto vytvořený ozon zoxiduje organické látky, i ty těžko rozložitelné, hlavně na vodu, uhlík a oxidy a vzduch je následně čistý. Lze tento vzduch porovnat se vzduchem po bouřce. Tímto procesem lze v praxi ze vzduchu odstranit například zápach kouřících cigaret nebo pachy zvířat. [17]

Ozon se využívá i k dezinfekci zápchů v automobilech. Hodně mikroorganismů se tvoří v klimatizacích, kde dobré prostředí pro růst bakterií tvoří právě kondenzát klimatizace. V autoservisech se napojí na klimatizaci ozonizér a odstraní všechny mikroby v klimatizaci a také v celém autě. [16]

Dále se ozon používá v potravinářství ke zvýšení kvality výrobků nebo k jejich dekontaminaci od mikrobů. Díky ošetření ozonem se i zvýší doba trvanlivosti potravin bez chemické, fyzikální nebo nutriční změny potravin. Ozon na potraviny působí buď v plynné, nebo ve vodné fázi. Koncentrace ozonu, který působí na potraviny, se nastavuje dle úrovně kontaminace. Ozon lze použít v potravinářství také k dezinfekci strojního zařízení vyrábějící potraviny. [16, 4]

Jednobarevné textilie lze prát ve vodě s ozonem pro dosažení výborných čistících vlastností a odstranění mikrobů. Toho se využívá v prádelnách nebo nemocnicích. Ozonem lze i bělit bavlnu či buničinu. [16]

Ozon lze také použít k terapii nebo k léčbě. Díky oxidačním vlastnostem dokáže ozon ničit bakterie, viry nebo prvoky. Dále dokáže podporovat krevní oběh nebo imunitu. Lékaři se proto snaží ozon využít ve zdravotnictví. Problémem je, jak z plynného ozonu vyrobit lék (tabletu). Po požití nesmí ozon nijak pacienta ohrozit. Zatím se využívá ozon k povrchové aplikaci. Například k léčení infekcí (v chirurgii nebo v zubním lékařství), povrchových ran, poruch arteriální cirkulace nebo revmatické artritidy. Na tyto aplikace se ozon používá v plynné formě (směs kyslíku a ozonu) a v kapalně formě (ionizovaná voda či olej). Ozonem lze dále léčit různé alergie, akné nebo i AIDS a rakovinu. Vedlejší účinky působení ozonu jsou minimální a je to bezpečný způsob. Dále lze ve zdravotnictví využít ozon k dezinfekci a ochraně míst, kde je zvýšené riziko přenosu infekce (čekárny, operační sály nebo i sanitky). [16, 4]

2.4 Stanovení ozonu

Ke stanovení ozonu se využívá více metod. Tyto metody se dělí na dvě skupiny - chemické a fotochemické. Jedna z hojně využívaných metod se jmenuje jodometrická titrace a patří do chemických metod. Dále sem ještě patří Schönbeinova metoda. Mezi důležité fotochemické metody se řadí pohlcení záření při průchodu látkou, chemiluminiscenční a fluoroscenční metody. [4]

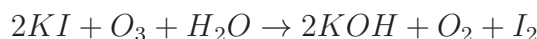
2.4.1 Chemické metody

Schönbeinova metoda

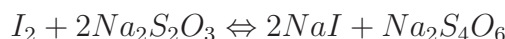
Christian Schönbein v roce 1840 objevil ozon. Zároveň i vymyslel metodu na změření ozonu, který je v atmosféře. Zakládá se na reakci směsi škrobu a jodidu draselného, která je natřena na filtrační papír, a vzduchu. Reakce běží několik hodin. Protože ozon je oxidant, tak oxiduje jodid draselný na jod, který zbarvuje filtrační papír fialově až hnědě. [4]

Jodometrická metoda

Díky této metodě lze přesně stanovit ozon vyrobený z kyslíku. Nevýhoda této metody je, že průběžné měření nelze provádět. Reaguje zde ozon s roztokem jodidu draselného za vzniku kyslíku a molekuly jodu. [4]



Roztok se obarví díky jodu do žluta až do hněda. V druhé fázi se provádí titrace roztokem thiosíranu sodného do úplného odbarvení roztoku. Pro citlivost reakce a zbarvení roztoku do modra se přidává ještě škrob. Ke spočítání množství ozonu je třeba znát spotřebované množství thiosíranu sodného během titrace. Platí, že 1 ml 0,05 M roztoku spotřebovaného thiosíranu sodného je 1,2 mg ozonu. [4]



2.4.2 Fotochemické metody

Pohlčení UV záření při průchodu látkou

Důležitá fotochemická metoda spočívá v pohlčení UV záření při průchodu látkou. Na rozdíl od jodometrické metody lze zde stanovit množství ozonu kontinuálně. Pochází z Lambert-Beerova zákona. Posuzuje se zde schopnost pohlčení záření jistě vlnové délky pomocí částic. Tuto schopnost charakterizuje absorpční koeficient $k(v)$ nebo absorpční účinný průřez $\sigma(v)$. Lambert-Beerův zákon tyto dva koeficienty definuje. Díky Loschmidtovu číslu lze určit mezi těmito koeficienty vztah. Loschmidtovo číslo udává počet molekul, které se nachází v 1 cm^3 za normálních podmínek ($P_0 = 101,3 \text{ kPa}$, $T_0 = 0^\circ\text{C}$) a má velikost $N_0 = 2,687 \cdot 10^{19}$ molekul $\cdot \text{cm}^{-3}$. [4]

První rovnice definuje dle Lambert-Beerova zákona absorpční účinný průřez $\sigma(v)$. Tento průřez je vyjadřován v jednotkách Megabarn (Mb). Platí, že $1 \text{ Mb} = 10^{-18} \text{ cm}^2$. Rovnice má tvar

$$I(v) = I_0(v)e^{-\sigma(v)N},$$

kde intenzitu prošlého záření vyjadřuje $I(v)$, intenzitu dopadajícího záření, které pohlcuje sloupec plynu, vyjadřuje $I_0(v)$ a počet částic, které se nacházejí ve válci s plochou podstavy 1 cm^2 a pohlcují UV záření, vyjadřuje ve vzorci N . [4]

Při vlnové délce UV světla 254 nm lze ozon nejlépe pohlcovat a tzn., že i absorpční koeficient bude při této vlnové délce největší. Proto ultrafialové světlo musí být monochromatické. [4]

Pro vypočítání absorpčního koeficientu $k(\nu)$ je nutné zapsat Lambert-Beerův zákon v níže uvedeném tvaru. Ovšem tato rovnice platí pouze za normálních podmínek ($P_0 = 101,3 \text{ kPa}$, $T_0 = 0^\circ\text{C}$). Druhá rovnice má tvar

$$I(\nu) = I_0(\nu)e^{-k(\nu)l},$$

kde l vyjadřuje dráhu, kterou paprsek prošel v daném prostředí. [4]

Při měření pomocí druhé rovnice při jiných podmínkách než normálních je třeba v Lambert-Beerově zákoně zaměnit l (skutečná dráha paprsku) za x (tzv. redukovaná tloušťka). Redukovaná tloušťka má tvar

$$x = \frac{pT_0}{p_0T}l,$$

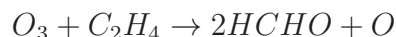
kde T_0 je teplota při normálních podmínkách ($T_0 = 0^\circ\text{C}$), p_0 je tlak při normálních podmínkách ($p_0 = 101,3 \text{ kPa}$), T je skutečná teplota v prostředí při měření a p je skutečný tlak v prostředí při měření. [4]

Fluorescenční metoda

Fluorescenční metoda je založena na reakci ozonu s akridinem. Akridin pohlcuje záření v ultrafialové oblasti spektra a vypouští fluorescenční záření. Toto záření má maximum při vlnové délce 482 nm. Ovšem tato metoda se příliš nevyužívá. [18]

Chemiluminiscenční metoda

Pro stanovení menších koncentrací plynného ozonu se využívá chemiluminiscenční metoda. Přístroje v této metodě pracují hlavně s reakcí ethylenu s ozonem. Koncentraci ozonu v okolním vzduchu lze dobře měřit právě pomocí této, níže uvedené reakce. [18]



Díky reakci ethylenu s ozonem je produkováno záření úměrné koncentraci ozonu. Produkované záření se pohybuje v oblasti vlnových délek 300 až 600 nm, přičemž největší je při 435 nm. [18]

Další chemiluminiscenční metoda je reakce ozonu s kyselinou galovou a rhominem B. Ovšem tato reakce se příliš nevyužívá. [18]

2.5 Působení ozonu na vybrané materiály

2.5.1 Sklo

Sklo odolává oxidačním účinkům ozonu. Z tohoto důvodu se například křemičité sklo používá v generátorech ozonu jako elektroda. Sklo má ale nevýhodu, a tou je křehkost nebo náchylnost k tepelnému šoku při vysokých teplotách. [19]

2.5.2 Kaučuk

Ozon degraduje kaučukové výrobky, například pneumatiky, kabelové izolace nebo těsnění. Už v nižších koncentracích ozonu (11 - 30 ppb) jsou tyto materiály degradovány a objevují se zde po pár dnech působení praskliny. Kaučuky, které mají hlavní řetězec s dvojnými vazbami, ozon degraduje nejlépe. Ozon se zde připojuje na dvojnou vazbu mezi uhlíky, a díky tomu se řetězec štěpí. Tomuto jevu se říká ozonolýza. [4]

Ozonolýza u kaučuků, které jsou pod tlakem, probíhá pomalu, ale do hloubky materiálu, neboť vrchní vrstva je rozrušena mechanicky. Výsledkem jsou trhliny v materiálu a jeho selhání. U kaučuků, které nejsou pod tlakem, probíhá ozonolýza naopak rychleji. Ovšem materiál je degradován do menší hloubky než v prvním případě, zhruba 0,5 m. Na povrchu materiálu se tvoří bílé povlaky. [4]

Přírodní kaučuk a syntetické polymery z polyizoprenu, polybutadienu, akrylonitrilbutadienu a styrenbutadienu jsou působením ozonu nejméně odolné. Větší odolnost má isobutan izopren a polychloropren. Nejvíce odolné ozonu jsou terpolymery ethylenu propyleny. [4]

2.5.3 Uhlík

Ozon dokáže reagovat s různými formami uhlíku (aktivní uhlí, grafit, saze). U různých modifikací uhlíku probíhají reakce různě. Jedna z možných reakcí je úplná oxidace uhlíku za vzniku plyných oxidů uhlíku nebo částečná oxidace za vzniku funkční skupin, které obsahují kyslík. Čím je vyšší teplota při reakci, tím spíše poběží první možnost. [20, 4]

2.5.4 Plast

Různé plasty reagují na působení ozonu odlišně. Některé druhy plastu se působením ozonu degradují, některé jsou naopak ozonu odolné. Plasty, které vydrží působení ozonu, se využívají v generátorech ozonu. Můžou i nahradit kovové součásti, protože působením ozonu na kovu vzniká koroze. [21]

Mezi plasty z první jmenované skupiny patří například neopren a polypropylen. Působením ozonu v delším časovém intervalu tyto materiály měknou a ztrácí pevnost. Naopak například polytetrafluorethylen, polyvinylchlorid nebo polykarbonát

ozonu celkem odolává. První jmenovaný navíc odolává výborně i vysokým teplotám. Díky tomu se používá jako ochranný povlak na jiných materiálech. Druhý jmenovaný sice odolává ozonu, ale je náchylný ke korozi nebo ke změnám barvy. [21]

2.5.5 Kov

Katalytický rozklad ozonu lze urychlit působením většiny kovů. Pro příklad lze uvést platinu, wolfram, měď, paladium. Čím je vyšší oxidační stav kovů, tím se zvyšuje katalytická aktivita oxidů kovů, která rozkládá ozon. Nejvyšší katalytickou aktivitu mají oxidy přechodných kovů. Konkrétně lze uvést oxid mangančitý. Tento oxid má velkou redukční schopnost, ale zároveň nízkou redukční teplotu. [20, 4]

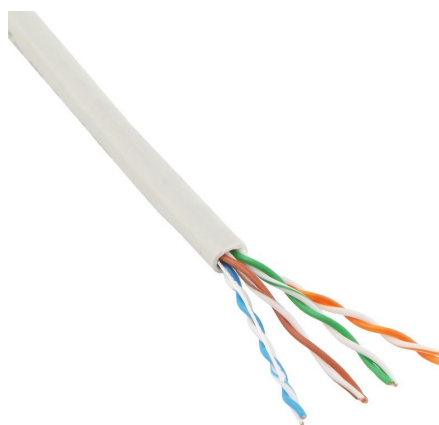
3 Praktická část

Po prostudování literárních pramenů, patentové literatury a firemních prospektů byl zvolen pro splnění cílů této práce jednoduchý a praktický přístup k řešení daného úkolu. Cílem práce bylo navrhnout, vyrobit a otestovat textilní flexibilní strukturu, která by dokázala v celé ploše generovat plynný ozon. Taková flexibilní struktura by mohla být použita v nejrůznějších aplikacích, například jako plošný dekontaminační prostředek použitelný v terénu, jako součást filtrů v klimatizačních jednotkách pro sterilizaci klimatizovaného vzduchu a podobně.

3.1 Nápad generace ozonu

Patent zmíněný v teoretické části, původem ze Spojených států amerických, popisuje generaci ozonu pomocí zkroucených vodičů do šroubovice. První konce vodičů jsou zde připojeny na zdroj vysokého napětí. Druhé konce jsou volně ve vzduchu. Oba vodiče mají izolaci.

Tento poznatek byl využit v rámci návrhu zařízení pro generaci ozonu z textilních struktur. V první fázi bylo třeba najít vhodné vodiče, které by takto generovaly ozon. Využil se nestíněný síťový UTP kabel. Tento kabel se skládá ze čtyř párů vodičů. Pro experimenty v této práci byl využit modrý pár vodičů (šroubovice), protože měl nejvíce zákrutů na 1 metr.

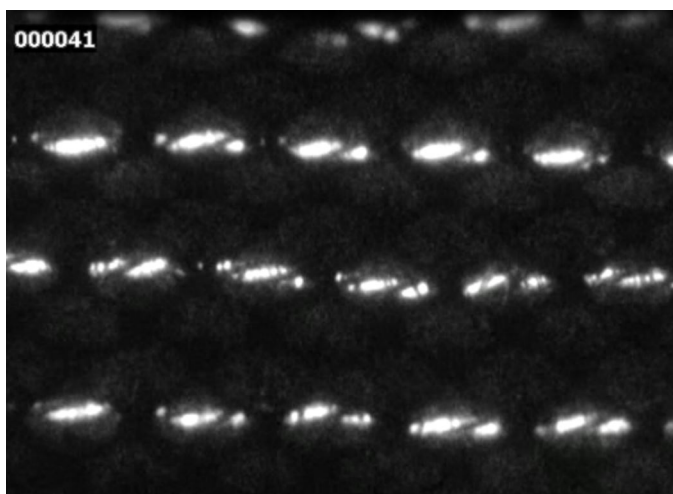


Obrázek 3.1: UTP kabel [22]

Šroubovice má 100 zákrutů na jeden metr. Každý ze dvou vodičů šroubovice je složen ze sedmi měděných žil o průměru 0,18 mm. Celý vodič bez izolace má průměr 0,55 mm, s izolací pak 0,97 mm.

3.2 Zařízení pro generaci ozonu

Nejdříve bylo potřeba zjistit, zda výše zmíněný poznatek funguje se šroubovicí UTP kabelu. Zprvu byla připojena 50 cm dlouhá šroubovice ke zdroji vysokého střídavého napětí dle přiloženého schématu v příloze 1. Zdroj byl dříve vyroben v dílně Katedry netkaných textilií a nanovláknenných materiálů jako nízkovýkonový zdroj vysokého napětí pro cvičení a pokusy studentů. Speciální koro-kamerou (CoroCam UVIRCO) bylo pozorováno, zda šroubovice generuje ozon. Po zapnutí zdroje bylo díky kameře zjištěno, že se kolem šroubovice vytváří UV záření z bariérového výboje, a lze očekávat, že v důsledku tohoto procesu bude vznikat i ozon. Což bylo také spolehlivě detekováno také čichem.



Obrázek 3.2: Několik šroubovic generujících ozon vedle sebe, foceno koro-kamerou

V dalším experimentu byla ke zdroji připojena šroubovice dlouhá tři metry. Ovšem v této délce při daném zdroji už šroubovice ozon netvořila, což je dáno omezeným výkonem použitého zdroje vysokého napětí. Do textilních struktur byla potřeba co nejdelší šroubovice generující ozon, aby vznikla plošná textilie generující ozon. To znamená, že v dalších experimentech byla šroubovice zkracována ze tří metrů tak dlouho, dokud nebyla v koro-kameře vidět generace ozonu. Při daném zdroji to byla délka 163 cm. Kapacita jednoho vodiče dlouhého 163 cm byla 76,5 pF.

V následující fázi bylo třeba zjistit, jak velkou oblast takto vytvořený ozon zasáhne za jednotku času. K tomu bylo potřeba hlavně sestavit zařízení pro jednoduchou vizuální detekci oblasti zasažené ozonem. Pro tento účel nelze prakticky využít metody detekce a stanovení ozonu uvedené v teoretické části. Jako reálná metoda se jeví využít nasycený filtrační papír roztokem 10 % jodidu draselného a 0,5 % škrobu

v destilované vodě. Takto připravený materiál by měl reagovat na přítomnost ozonu ztmavnutím.

Pro zjištění rozměrů tmavé oblasti upraveného filtračního papíru v několika experimentech, a následné statistické vyhodnocení těchto naměřených dat, bylo postupně potřeba:

- 1) sestavit zařízení pro toto měření a zjistit, zda opravdu vybrané činidlo reaguje na působení ozonu, a jak,
- 2) zjistit, jak dlouho je třeba na filtrační papír napuštěný činidlem působit ozonem pro získání relevantních dat šířky tmavé oblasti,
- 3) provést několik experimentů za stejných podmínek se sestaveným zařízením a statisticky naměřená data vyhodnotit.

3.2.1 První část

Nejdříve bylo sestaveno zařízení pro zjištění šířky tmavé části upraveného filtračního papíru. Filtrační papír ztmavěl působením ozonu, který generuje šroubovice.

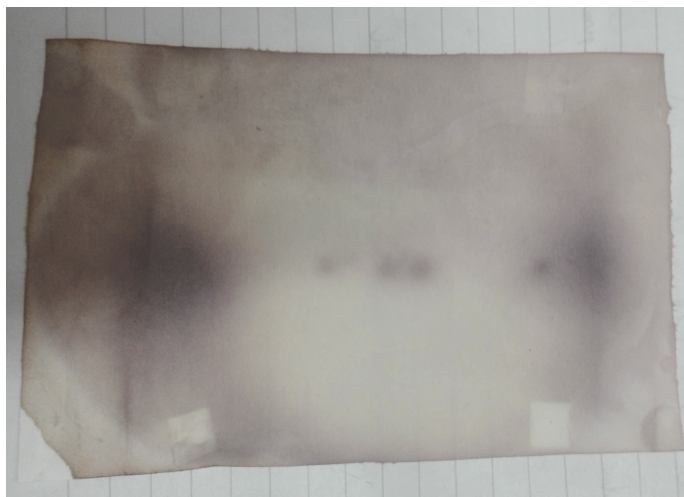
Zařízení se skládalo z výše uvedeného zdroje vysokého střídavého napětí. K němu byla připojena 163 cm dlouhá šroubovice generující ozon. Šroubovice byla upevněna lepicí páskou ke kádince (vodorovně s okrajem kádinky, protínající pomyslný střed kruhu tvaru kádinky). Několik milimetrů nad šroubovicí byla dřevěná destička, která byla připevněna ke stojanu. K destičce byl připevněn filtrační papír napuštěný výše zmíněným činidlem. Destička musela být dřevěná a kolíčky, které držely filtrační papír, plastové, protože tyto materiály zřejmě příliš neovlivňují elektrické pole. Na obrázku 3.3 je možno vidět toto zařízení.



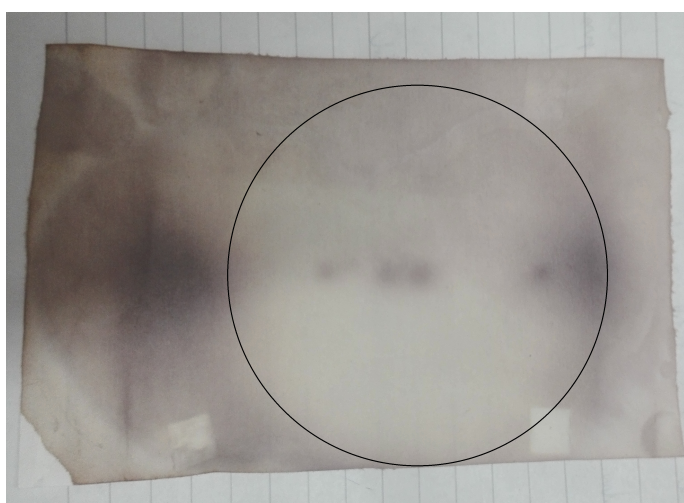
Obrázek 3.3: Zařízení pro zjištění šířky tmavé části upraveného filtračního papíru zasaženého ozonem, který generuje šroubovice.

Na začátku experimentu se filtrační papír napustil výše zmíněným roztokem. Následně se nechal chvíli zavadnout a připevnil se na dřevěnou destičku kolíčky. Zdroj vysokého napětí se zapnul a měřil se stopkami čas.

Výsledky experimentu je možné vidět na obrázku 3.4. Působením ozonu se upravený filtrační papír v některých místech obarvil do modra až fialova. To znamená, že činidlo reaguje na působení ozonu.



Obrázek 3.4: Fotografie zabarveného filtračního papíru působením ozonu



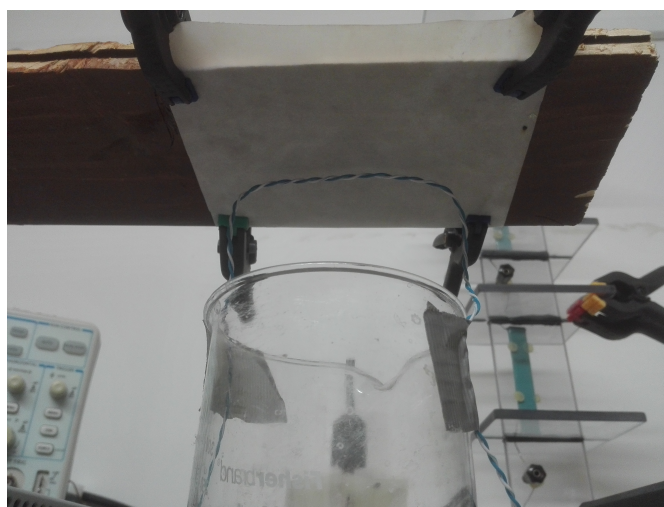
Obrázek 3.5: Fotografie zabarveného filtračního papíru působením ozonu s kružnicí, která znázorňuje hranu kádinky

Dále je z obrázku 3.4 patrné, že se nejvíce ozonu tvořilo v místě, kde šroubovice byla připevněná, a tím pádem v těchto místech doléhala na hrany kádinky. Dále ještě byla zvýšená koncentrace ozonu kolem celé hrany kádinky. Část filtračního papíru, která byla přímo u šroubovice uprostřed kádinky, byla velice málo obarvená. Hrana kádinky podstatně ovlivnila šíření ozonu, kdy nejvíce ozonu bylo právě kolem hrany

kádinky. Na obrázku 3.4 lze při pozornějším zkoumání dokonce vidět kruhový tvar kádinky. Pro lepší představu tento kruhový tvar znázorňuje kružnice na obrázku 3.5. Kružnice kopíruje místa, kde byla zvýšená koncentrace ozonu kolem hrany kádinky.

Z tohoto experimentu bylo tedy patrné, že hrana kádinky zkresluje měření. Nešlo proto určovat šířku tmavé části upraveného filtračního papíru. Bylo potřeba navrhnout jiné uchycení šroubovice.

V dalším experimentu byla na uchycení šroubovice použita kádinka, ovšem šroubovice nebyla uchycena vodorovně od hrany kádinky k protější hraně. Šroubovice byla od hrany kádinky zahnutá směrem kolmo vzhůru asi 5 cm. Teprve ve výšce 5 cm nad kádinkou byla šroubovice zahnutá a vedla vodorovně nad kádinkou ve zmíněné výšce. Takoveto uchycení znázorňuje obrázek 3.6.



Obrázek 3.6: Fotografie uchycení šroubovice

3.2.2 Druhá část

Cílem experimentů v druhé části bylo zjistit optimální čas tvorby tmavých míst na filtračním papíře nasyceném výše uvedeným roztokem. Tmavé místo muselo být dobře rozeznatelné a zároveň filtrační papír nesměl celý změnit barvu.

Bylo provedeno několik měření při různém čase, od 30 sekund až po jednu minutu. Při daném zdroji a dané vzdálenosti filtračního papíru od šroubovice bylo zjištěno, že nejvhodnější doba generace ozonu je 40 sekund. Následně u všech dalších experimentů v této části trvala generace ozonu ze šroubovice 40 sekund.

3.2.3 Třetí část

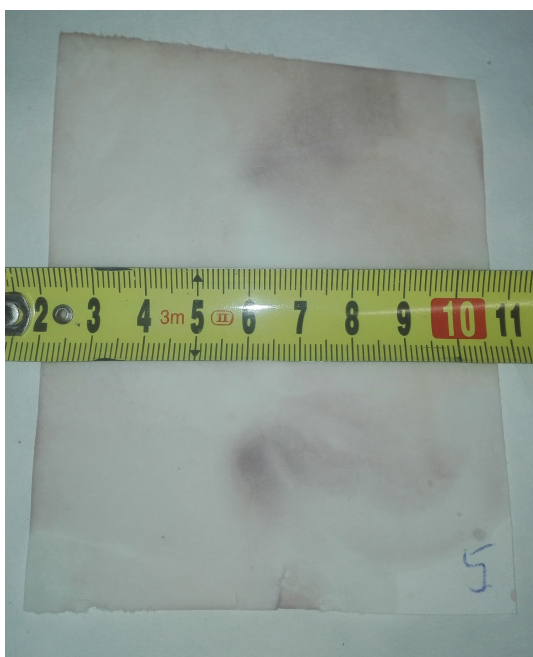
V předchozích fázích bylo sestrojeno, vyladěno a ozkoušeno zařízení pro generaci ozonu. Také bylo zjištěno, že upravený filtrační papír působením ozonu ztmavne.

Rovněž byl zjištěn čas působení ozonu na upravený filtrační papír pro jeho vhodné ztmavnutí. V této části experimentů byla konečně zjišťována šířka tmavé části filtračního papíru, která vznikla působením ozonu.

Při daném čase 40 sekund a dané vzdálenosti šroubovice od filtračního papíru bylo ve dvou různých dnech prováděno vždy 10 experimentů s cílem zjistit šířku tmavé části na papíře, která vznikla díky působení ozonu. Vždy se tmavá část změřila ve směru 90° od směru, ve kterém byla šroubovice v blízkosti papíru a údaj se zapsal. V tabulce 2 jsou pak uvedeny výsledky 10 experimentů provedených 8. ledna 2020.

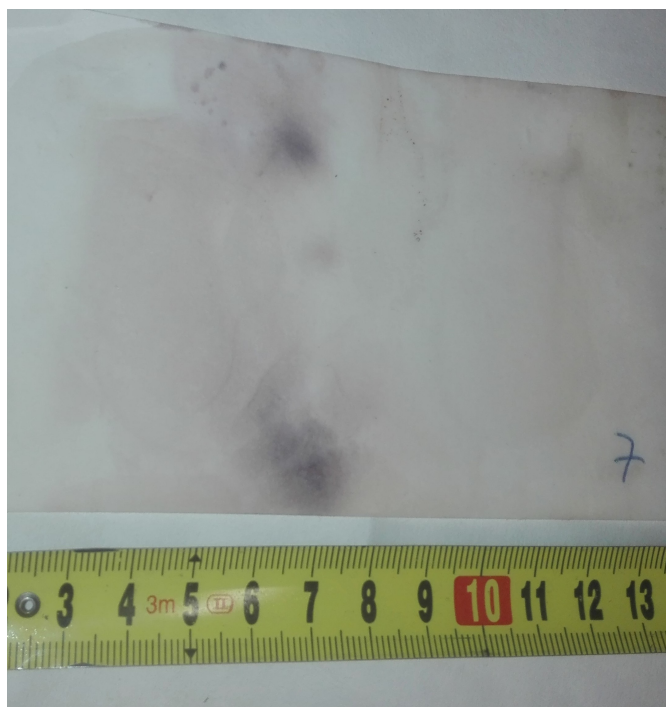
Tabulka 2: Výsledky experimentů z 8. 1. 2020

Číslo experimentu	Hodnota [cm]
1	4,5
2	3,5
3	3
4	2,5
5	3,5
6	3
7	3,5
8	3
9	3,5
10	4



Obrázek 3.7: Experiment č.5

Z obrázků 3.7 (experiment č.5) a 3.8 (experiment č.7) je patrné, že se na filtračním papíru napuštěným roztokem jodidu draselného se škrobem vytvořily tmavé



Obrázek 3.8: Experiment č.7

skvrny v místech, kde byla šroubovice. Nejvíce byl filtrační papír tmavý v místech, kde se šroubovice ohýbala. Fotografie trochu zkreslují, proto je špatně vidět zabarvení filtračního papíru po celé délce šroubovice, ovšem i tam byl filtrační papír obarven.

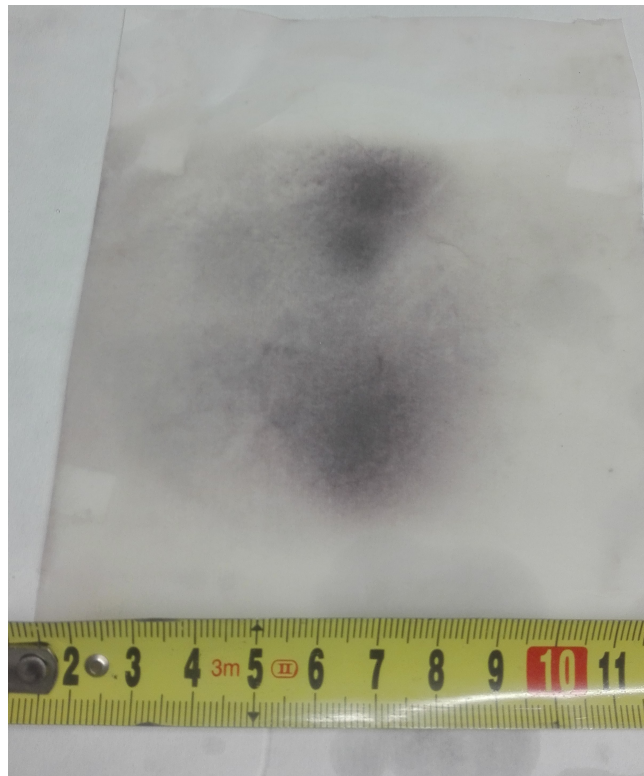
Dalších deset měření za stejných podmínek bylo provedeno 13. ledna 2020. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 3.

Tabulka 3: Výsledky experimentů z 13. 1. 2020

Číslo experimentu	Hodnota [cm]
11	3,5
12	3,5
13	4
14	5
15	4
16	3,5
17	3
18	3
19	4
20	4,5

Na obrázku 3.9 (experiment č.15) je možné pozorovat modro-fialové skvrny, které vznikly na filtračním papíru napuštěným výše zmíněným roztokem díky působení ozonu. Opět jsou tyto skvrny tmavší v místě ohybu šroubovice. Ovšem obrázek 3.9

je povedenější než obrázky v minulém pokusu, proto je možné pozorovat obarvení filtračního papíru v celé délce šroubovice.



Obrázek 3.9: Experiment č.15

3.2.4 Statistické zhodnocení naměřených dat

Naměřená data mají normální rozdělení. Z naměřených dat byl nejdříve vypočítán aritmetický průměr dle vzorce

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N},$$

kde x_i je jednotlivá naměřená hodnota v cm a N je počet měření.

$$\bar{x} = \frac{72}{20}$$

$$\bar{x} = 3,6 \text{ cm}$$

Následně byla vypočtena směrodatná odchylka dle vzorce

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2},$$

kde N je počet měření, x_i jednotlivá naměřená hodnota a aritmetický průměr vypočtený výše představuje \bar{x} .

$$s = \sqrt{\frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} (x_i - 3,6)^2}$$

$$s = 0,604 \text{ cm}$$

Nakonec byl spočítán 95 % interval spolehlivosti střední hodnoty dle vzorce

$$\mu = \bar{x} \pm t_{0,025}(n-1) \frac{s}{\sqrt{N}},$$

kde $t_{0,025}(n-1)$ je kvantil Studentova rozdělení (pro 20 měření je roven 2,09), s je směrodatná odchylka a N je počet měření.

$$\mu = 3,6 \pm 2,09 \frac{0,604}{\sqrt{20}}$$

$$\mu = 3,6 \pm 0,265 \text{ cm}$$

$$\mu = \langle 3,335 - 3,865 \rangle \text{ cm}$$

Aritmetický průměr naměřených šířek tmavých míst filtračního papíru byl 3,6 cm. Směrodatná odchylka byla 0,604 cm. Poslední vypočítaná veličina, 95% interval spolehlivosti střední hodnoty, se pohybovala od 3,335 cm do 3,865 cm.

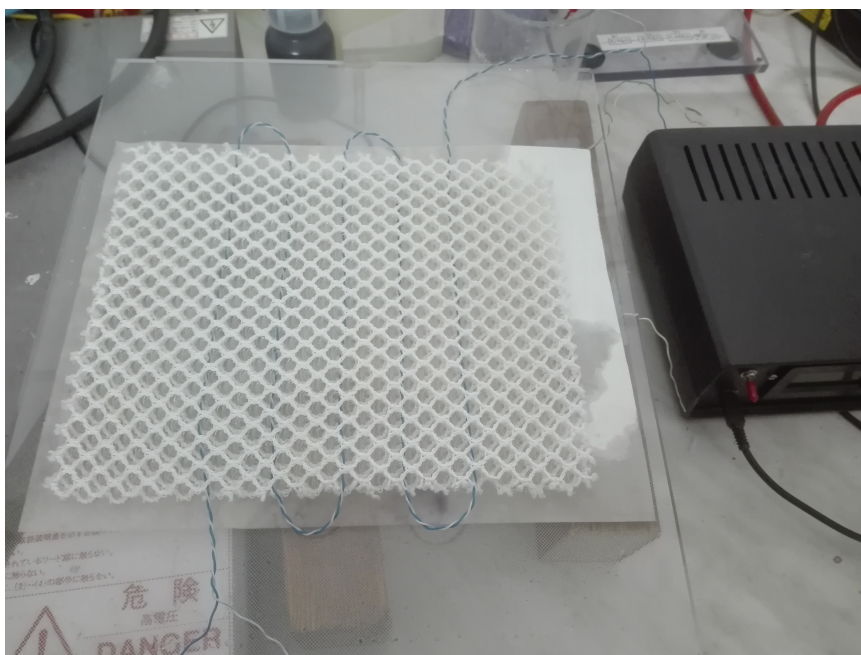
3.3 Zařízení pro generaci ozonu z textilních struktur

V předchozí kapitole byla zjištěna průměrná šířka tmavých míst, které vznikly působením ozonu na filtračním papíru napuštěným roztokem 10 % jodidu draselného a 0,5 % škrobu v destilované vodě.

Při dalších experimentech bylo třeba ověřit teorii, která říká, že pokud bude textilní struktura propletena šroubovicí generující ozon s danou vzdáleností od sebe, bude textilní struktura plošně generovat ozon. Tuto danou vzdálenost se podařilo zjistit pomocí experimentů v předchozí části a je rovna 3,6 cm.

Na Katedře textilních technologií Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci byla obdržena distanční textilní pletenina o rozměrech 24 cm x 19,5 cm s tloušťkou 1 cm. Oka v pletenině měla průměr 1 cm.

Do této pleteniny byla pomocí drátu ručně propletena šroubovice z UTP kabelu délky 163 cm. Rozteč šroubovice v pletenině byla 3,5 cm. Tato vzdálenost byla



Obrázek 3.10: Propletená textilie šroubovicí

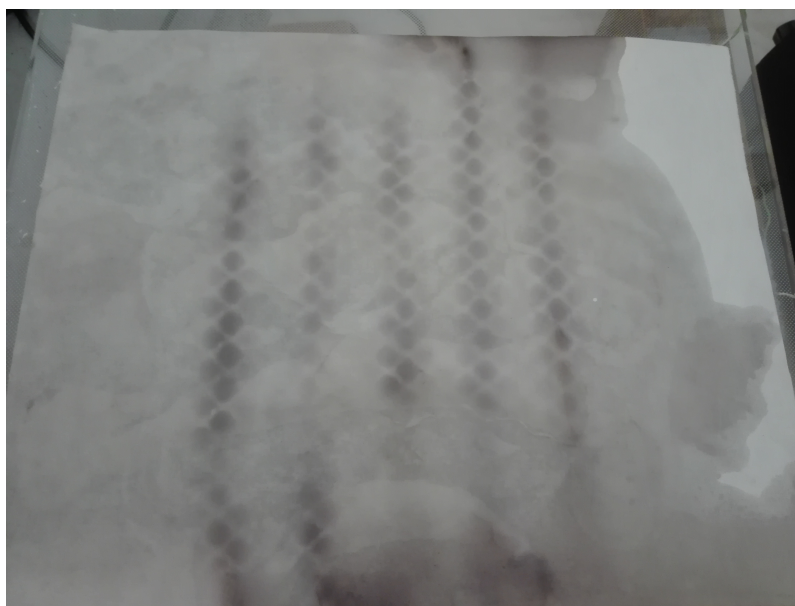
o jeden milimetr zkrácena, než byla vypočtená průměrná hodnota 3,6 cm. Bylo to kvůli tomu, aby se jednotlivé tmavé oblasti na filtračním papíru, vzniklé působením ozonu, lehce překrývaly a nebyla zde místa, kde ozon působí slabě nebo vůbec. Propletenou textilii šroubovicí lze vidět na obrázku 3.10.

Následně bylo sestrojeno zařízení ověřující, že takto propletená textilie šroubovicí generující ozon souvisle ztmaví filtrační papír napuštěný výše zmíněným roztokem. Zařízení se skládalo z výše uvedeného zdroje vysokého střídavého napětí. K němu byla připojena šroubovice UTP kabelu dlouhá 163 cm. Tato šroubovice byla propletena skrz textilii (obrázek 3.10). Druhý konec šroubovice byl zhruba 10 cm rozpletený a zhruba 5 cm od sebe volně ve vzduchu. Filtrační papír napuštěný výše zmíněným roztokem byl volně položen na textilii.

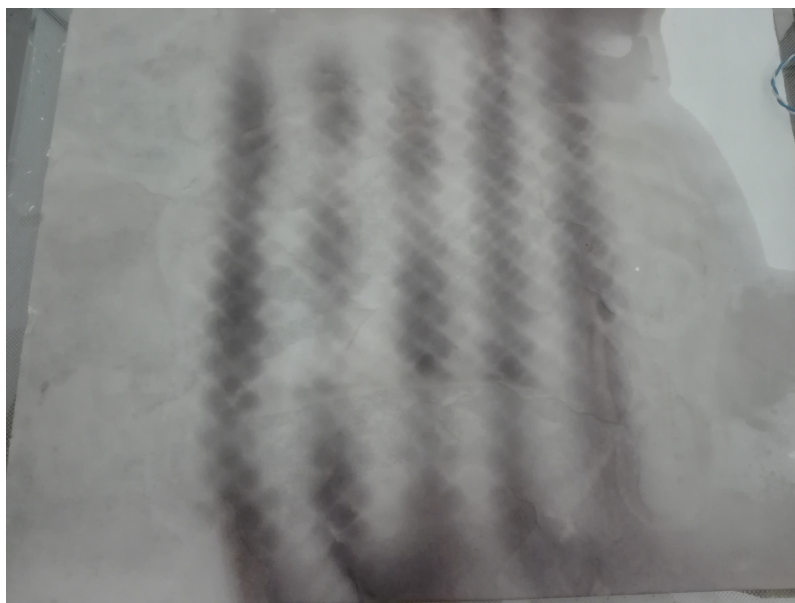
Při takto postaveném zařízení byla provedena tři měření. Při prvním měření bylo zařízení spuštěno po dobu 30 sekund, při druhém 45 sekund a při třetím 60 sekund. Po vypnutí přístroje byl každý vzorek změřen a vyfotografován. Fotografie jsou zobrazeny níže.

Z fotografií (obrázky 3.11 - 3.13) lze vidět, že se experiment nezdařil. Filtrační papír měl být po 45 sekundovém a 60 sekundovém působení ozonu celý tmavý. Byl však tmavý jen kolem šroubovice a dále už byl hodně světlý. Lze říci, že teorie, která se v tomto experimentu ověřovala, nefunguje, protože cílem bylo, aby upravený filtrační papír po vykonání experimentu byl stejnoměrně plošně tmavý.

Minulé experimenty v této kapitole byly rozdílné oproti experimentům v kapitole 3.2, kde byl upravený filtrační papír vzdálen jen několik milimetrů (maximálně 5 mm) od šroubovice. Protože textilie má velkou tloušťku a šroubovice byla textilií propletena v půlce její tloušťky, tak samotná vzdálenost mezi šroubovicí a uprave-



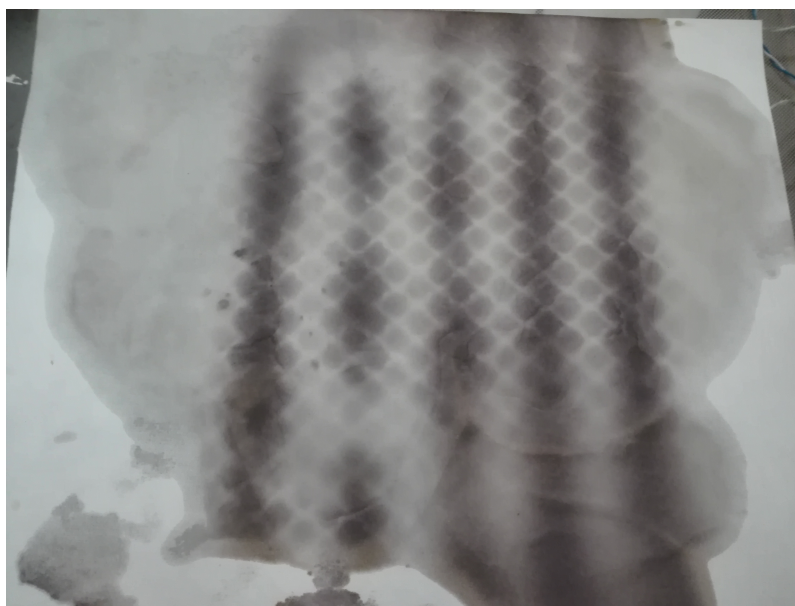
Obrázek 3.11: Obarvený filtrační papír po 30 sekundách působení ozonu



Obrázek 3.12: Obarvený filtrační papír po 45 sekundách působení ozonu

ným filtračním papírem byla minimálně o 10 milimetrů větší než při experimentech v kapitole 3.2. Lze usuzovat, že větší vzdálenost mezi papírem a šroubovicí ovlivnila ztmavnutí upraveného filtračního papíru neboli koncentraci ozonu v blízkosti filtračního papíru. Dále taktéž mohla textilní struktura ovlivnit šíření ozonu od šroubovice k filtračnímu papíru.

Ze dvou výše popsaných důvodů byl učiněn závěr, že je třeba snížit rozteč mezi šroubovicemi. Při menší vzdálenosti šroubovic v textilií od sebe by měl upravený filtrační papír ztmavnout konečně celý.



Obrázek 3.13: Obarvený filtrační papír po 60 sekundách působení ozonu

Pro ověření teorie popsané v odstavci výše bylo použito stejné zařízení jako v předchozích pokusech. Pouze byla snížena vzdálenost šroubovic od sebe z 3,5 cm na 2 cm. Byla tedy snížena o 1,5 cm, neboť dle fotografií předchozích experimentů jsou světlá místa široká zhruba 1,5 cm.

S takto postaveným zařízením byla provedena 3 měření. Při prvním měření bylo zařízení spuštěno po dobu 30 sekund, při druhém 45 sekund a při třetím 60 sekund. Po vypnutí přístroje byl každý vzorek změřen a vyfotografován. Fotografie jsou zobrazeny níže.

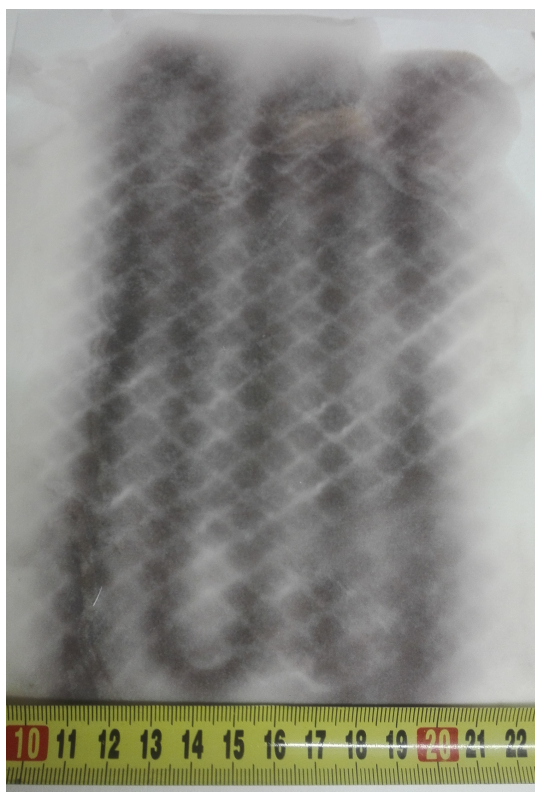
Z fotografií provedených experimentů je patrné, že po zmenšení roztečí šroubovic na 2 cm upravený filtrační papír ztmavl více stejnoměrně než v experimentech s roztečí šroubovic 3,5 cm. Už po 30 sekundách působení ozonu byl filtrační papír tmavý (obrázek 3.14). Jsou zde ale k vidění místa s tmavší a světlejší barvou. Tmavší místa byla tam, kde byl filtrační papír nejbližší šroubovici. Světlejší místa pak v ostatních částech filtračního papíru.

Po 45 sekundách působení ozonu upravený filtrační papír opět celý ztmavl (obrázek 3.15). Jsou zde zase k vidění tmavší a světlejší místa. Ovšem tmavší místa jsou větší než v předchozím případě. Míst se světlejší barvou je méně než v předchozím experimentu. Opět místa s tmavou barvou opisují šroubovici.



Obrázek 3.14: Obarvený filtrační papír po 30 sekundách působení ozonu

Po 60 sekundách působení ozonu na upravený filtrační papír došlo prakticky k ztmavnutí celého filtračního papíru do tmavší fialové barvy (obrázek 3.16). Světlá místa jsou zde vidět jen minimálně nebo vůbec. Jednotlivé fialové pruhy, které vznikly kolem jedné šroubovice, se slévají dohromady a tvoří souvislou obarvenou plochu.



Obrázek 3.15: Obarvený filtrační papír po 45 sekundách působení ozonu



Obrázek 3.16: Obarvený filtrační papír po 60 sekundách působení ozonu

3.4 Výsledky a využití zařízení

Podařilo se sestrojít zařízení, které dokáže generovat ozon. Zařízení se skládá z distanční textilní pleteniny, která je propletena šroubovicí vodičů z UTP kabelu s roztečí 2 cm od sebe. Šroubovice je prvními konci připojena na výše uvedený zdroj vysokého střídavého napětí, druhé konce jsou od sebe rozpleteny (5 cm od sebe) a nechány volně ve vzduchu.

Důkaz generování ozonu se prováděl pomocí filtračního papíru napuštěného roztokem 10 % jodidu draselného a 0,5 % škrobu v destilované vodě. Takto upravený filtrační papír byl při měření položen na textilií a působením ozonu vždy ztmavl.

Po zapnutí zařízení s daným zdrojem na dobu 60 sekund upravený filtrační papír prakticky celý ztmavl. Podařilo se tedy vytvořit textilní strukturu, která souvisle a plošně generuje ozon do svého okolí za pomoci šroubovice vodičů z UTP kabelu, připojeného na zdroj vysokého napětí.

Toto zařízení může posloužit jako základ k vytvoření jednoduchého plošného generátoru ozonu. Takto vyrobený generátor lze využít například jako dekontaminační zařízení v terénu pro dekontaminaci území zasaženého škodlivými látkami.

Je však zřejmé, že tuto prvotní myšlenku je nutné ještě dopracovat a optimalizovat proto, aby vzniklo opravdu široce použitelné zařízení pro plošné generování ozonu ve vzduchu.

4 Závěr

Ozon je velice důležitý plyn pro život na Zemi. Za normálních podmínek má namodralou barvu a je nestabilní. Ozon, který se vyskytuje ve stratosféře, vytváří tzv. ozonovou vrstvu, která chrání Zemi před škodlivými UV paprsky. Dále se ozon ještě nachází v troposféře (přízemní ozon), který je ovšem pro člověka nežádoucí.

Protože je ozon silný oxidant, dokáže likvidovat mikroorganismy, jako jsou houby, plísně, viry, bakterie nebo prvoky. Tato vlastnost ozonu je velice důležitá a následně se průmyslově využívá. Jako oxidant je účinnější než jiné běžně používané látky.

Silné oxidační vlastnosti ozonu se využívá hlavně k dezinfekci a dekontaminaci prostředí v místě působení ozonu. Proto bylo v práci postupně sestrojeno zařízení z textilních struktur, které využívá těchto oxidačních vlastností. Zařízení bylo složeno ze vzorku textilní pleteniny, do kterého byla vpletena šroubovice vodičů z UTP kabelu.

Nejdříve byl ověřen poznatek z rešerše, že jednu z variant využití tzv. bariérového výboje lze použít jako generátor ozonu ze šroubovice UTP kabelu připojeného na zdroj vysokého napětí. Následně byla zjištěna maximální délka šroubovice připojené na daný zdroj vysokého napětí, při které se ještě tvoří ozon. Tato délka byla dána výkonem daného zdroje vysokého napětí a měla hodnotu 163 cm. Optimalizace zdroje pro maximální efektivitu generování ozonu nebyla cílem této práce.

V další fázi bylo třeba zjistit jaká má být vzdálenost jednotlivých šroubovic propletených textilní strukturou od sebe, aby struktura generovala z celé své plochy souvisle ozon. Proto bylo v několika experimentech zjišťováno, jak vysoká je koncentrace ozonu, v závislosti na vzdálenosti od šroubovice. Toto bylo měřeno pomocí samotné šroubovice napojené na zdroj vysokého napětí a filtračního papíru napuštěného roztokem jodidu draselného a škrobu. Ozon vytvořil vždy na filtračním papíře tmavý pruh v blízkosti šroubovice. V místě největší koncentrace ozonu byl filtrační papír nejtmaší.

Po vyladění zařízení a změření 20 dat byla vypočtena průměrná šířka tmavých míst, které vytvářel ozon na filtračním papíře napuštěným roztokem. Tato hodnota byla 3,6 cm. Z tohoto experimentu vyplývalo, že je reálné zkonstruovat na této bázi ozonový generátor.

V další fázi se šroubovice UTP kabelu vpletla do vzorku textilie s roztečí 3,5 cm. Rozteč byla o milimetr zkrácena, aby se jednotlivé pruhy vzniklé ozonem na filtračním papíru překrývaly. Následně bylo provedeno několik měření ověřujících, že struktura generuje z celé své plochy souvisle ozon. Ovšem tyto experimenty se nezdařily.

Bylo to z důvodu větší vzdálenosti upraveného filtračního papíru od šroubovice než v předchozích experimentech. Vzdálenost se nedala snížit, protože textilie měla velkou tloušťku a filtrační papír už při měření ležel na textili. Proto byla zmenšena rozteč šroubovic ve vzorku textilie z 3,5 cm na 2 cm.

Poté bylo opět provedeno několik měření která ověřila funkčnost zařízení. Tentokrát se experimenty zdařily. Po 60 sekundách působení ozonu byl prakticky celý filtrační papír v místě, kde působil ozon, tmavý.

Podařilo se vytvořit vzorek textilní struktury, který za pomoci dvou vodičů zamotaných do šroubovice, souvisle a plošně generuje ozon do svého okolí.

Tato práce může posloužit jako základ k vytvoření jednoduchého a technicky nenáročného plošného generátoru ozonu. Takový generátor může sloužit například jako dekontaminační zařízení v terénu pro dekontaminaci území zasaženého škodlivými látkami.

Je však nutné vyřešit problém s omezenou délkou vodiče a nutností použití zdroje vysokého napětí. Dále je třeba optimalizovat zapojení a konstrukci zdroje vysokého napětí, neboť se jedná o tzv. středofrekvenční zdroj napětí. Možnou cestou, jak optimalizace dosáhnout, je zapojení krouceného vodiče do rezonančního obvodu zdroje a minimalizovat tak energetické požadavky zdroje.

Použitá literatura

- [1] *Co je ozon?* [online]. Praha: Profi ozon s.r.o., b.r. [Cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://profiozon.cz/co-je-ozon/>.
- [2] *Ozone Production* [online]. Inwood: Oxidation technologies, b.r. [Cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.oxidationtech.com/ozone/ozone-production.html>.
- [3] *Jednotka Dobsonova* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 0204 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/fulltext/jednotka%5C%20Dobsonova>.
- [4] TOMEČKOVÁ, Klára. *Generace ozónu fotochemickými procesy v O₂ a příměsích*. Brno, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [5] BERGANZA, Carlos; HOFFMANN, Clotilde; ZHANG, John. *Cold Atmospheric Plasma: methods of production and application in dentistry and oncology* [online]. London: Medical Gas Research, 2013 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://medicalgasresearch.biomedcentral.com/articles/10.1186/2045-9912-3-21>.
- [6] *Electrohydrodynamic enhancement of heat and mass transfer in food processes* [online]. Naples: ResearchGate, 2007 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/230815647_Electrohydrodynamic_enhancement_of_heat_and_mass_transfer_in_food_processes.
- [7] *PDOevoPLUS ozone system* [online]. USA: Wedeco, b.r. [Cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://www.xylem.com/en-us/products-services/treatment-products-systems/disinfection-and-oxidation/ozone-systems/PDOevoPLUS-ozone-system>.
- [8] *SMOevoPLUS Ozone Systems* [online]. USA: Wedeco, b.r. [Cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://www.xylem.com/en-us/brands/wedeco/wedeco-products/smoevoPLUS-ozone-system>.
- [9] *Air Max Series* [online]. USA: Ozotech, b.r. [Cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <http://ozotech.com/home-2/products/air-max-series-2/>.
- [10] *BTU Series* [online]. USA: Ozotech, b.r. [Cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <http://ozotech.com/home-2/products/btu-system/>.

- [11] *How An Ozone Generator Works*: [online]. USA: Ozotech, b.r. [Cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <http://ozotech.com/ozone-technology/inside-an-ozone-generator/>.
- [12] *Dodávky* [online]. Brno: Ozon moravia, b.r. [Cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <http://ozonmoravia.cz/dodavky/>.
- [13] *Fotogalerie* [online]. Brno: Ozon moravia, b.r. [Cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <http://ozonmoravia.cz/fotogalerie-ozonmoravia/>.
- [14] ROTH, John. *Method and apparatus for covering bodies with a uniform glow discharge plasma and applications thereof*.
- [15] *Ozone Effect on Pathogens* [online]. Inwood: Oxidation technologies, b.r. [Cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://www.oxidationtech.com/ozone/pathogens.html>.
- [16] *Ozón a jeho použití* [online]. Praha: Aplikace o3, b.r. [Cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <http://www.aplikaceo3.cz/?page=3%5C&subp=2>.
- [17] UNČOVSKÝ, Ondřej. *Zápach s metody jeho odstranění - čištění vzduchu* [online]. Brno: Asio, 2012 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/122.zapach-a-metody-jeho-odstraneni-cisteni-vzduchu>.
- [18] KREJSKOVÁ, Eliška. *Studium rozkladu ozónu na pevných površích*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [19] *Glass vs. Ceramic: What's Better for Ozone Generators?* [online]. Fayetteville: Promolife, b.r. [Cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://www.promolife.com/glass-or-ceramic-whats-better-for-ozone-generators>.
- [20] BATAKLIEV, Todor; GEORGIEV, Vladimir; ANACHKOV, Metody; RAKOVSKY, Slavcho. *Ozone decomposition* [online]. Warsaw: Sciendo, 2014 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://content.sciendo.com/view/journals/intox/7/2/article-p47.xml>.
- [21] *Top 8 ozone safe plastics* [online]. Hudson: Craftech industries, b.r. [Cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://www.craftechind.com/top-8-ozone-safe-plastics/>.
- [22] *LAN kabel 1m, drát, CAT5e* [online]. Vinařice: Lukáš Havlina IT servis, b.r. [Cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://ithavlina.cz/produkt/datacom-sitovy-kabel-1m-drat-cat5e/?cli_action=1590441210.74.

Seznam tabulek

Tabulka 1 Důležité vlastnosti ozonu

Tabulka 2 Výsledky experimentů z 8. 1. 2020

Tabulka 3 Výsledky experimentů z 13. 1. 2020

Seznam obrázků

2.1	Model molekuly ozonu [1]	11
2.2	Schéma cyklu produkce ozonu ze smogu [2]	12
2.3	Vznik a zánik ozonu ve stratosféře [2]	13
2.4	Schéma výroby ozonu pomocí bariérového výboje [5]	15
2.5	Korónový výboj [6]	15
2.6	Fotografie elektrody, která generuje ozon [7]	16
2.7	System DOG OS [13]	17
2.8	Zařízení generující ozon dle patentu US5669583A, foceno koro-kamerou [14]	17
2.9	Schéma zařízení generující ozon dle patentu US5669583A [14]	18
3.1	UTP kabel [22]	24
3.2	Několik šroubovic generujících ozon vedle sebe, foceno koro-kamerou	25
3.3	Zařízení pro zjištění šířky tmavého části upraveného filtračního papíru zasaženého ozonem, který generuje šroubovice.	26
3.4	Fotografie zabarveného filtračního papíru působením ozonu	27
3.5	Fotografie zabarveného filtračního papíru působením ozonu s kružnicí, která znázorňuje hranu kádinky	27
3.6	Fotografie uchycení šroubovice	28
3.7	Experiment č.5	29
3.8	Experiment č.7	30
3.9	Experiment č.15	31
3.10	Propletená textilie šroubovicí	33
3.11	Obarvený filtrační papír po 30 sekundách působení ozonu .	34
3.12	Obarvený filtrační papír po 45 sekundách působení ozonu .	34
3.13	Obarvený filtrační papír po 60 sekundách působení ozonu .	35
3.14	Obarvený filtrační papír po 30 sekundách působení ozonu .	36
3.15	Obarvený filtrační papír po 45 sekundách působení ozonu .	37
3.16	Obarvený filtrační papír po 60 sekundách působení ozonu .	37

Seznam příloh

1. Příloha Použitý zdroj vysokého napětí při experimentech

VN Zdroj 0 až 30 kV

Martin Brož - DELTA4



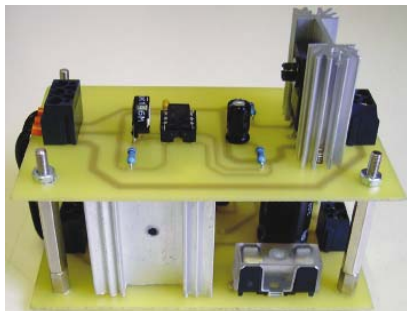
VN Zdroj tak pod tímto názvem se ukrývá zařízení které dokáže generovat vysoké napětí od 0 do 30 000 V. Již mnohokrát bylo toto zařízení popsáno, a jistě najdete mnoho variant zapojení. Univerzálnost tohoto zařízení je však v popisu, jak zapojit jeden z dnes nejpoužívanějších VN transformátorů od firmy HR, které jsou špičkou mezi těmito transformátory.

Technické údaje

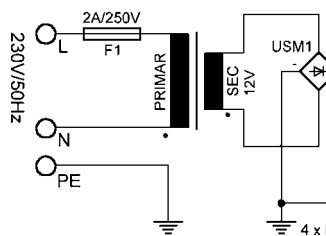
Napájecí napětí: 12 až 30 V/46 VA.
 Výstupní napětí: 0 až 30 000 V.
 Regulace: napěťová.
 Indikace: zapnuto zařízení,
 zapnut oscilátor.
 Délka jiskry: 0 až 40 mm.
 (záleží na napájení).

Upozornění

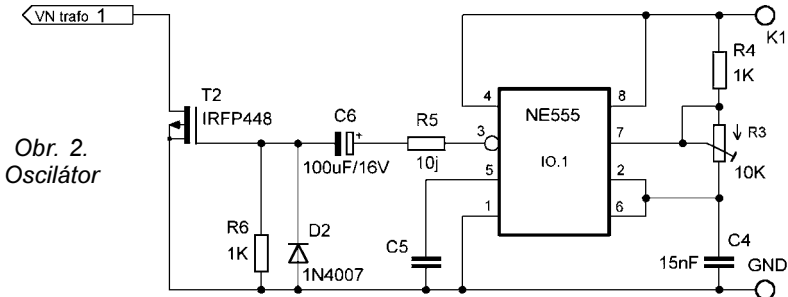
Nemějte mi za zlé, že než se pustíme do stavby přístroje, dám vám malé kázání ohledně vysokého napětí, se kterým se v tomto zapojení určitě setkáte! Takže prvním pravidlem je dávat maximální pozor, abyste se nedotýkali živých částí (konce vodičů)



Obr. 1. Napájecí zdroj s regulátorem



Obr. 2. Oscilátor



pokud jsou pod proudem! Druhým život zachraňujícím pravidlem je: všechny úpravy dělat při vypnutém napájení (nemyslí se vypnutím vypínače, ale odpojením transformátoru od síťového napětí). Další možnosti ochrany je použít oddělovací transformátor, případně ochranné pomůcky jako jsou například dobré gumové rukavice (ne ty na mytí WC), dobře odizolované nářadí a další.

Popis zapojení

V zapojení jsou dobře znatelné tři hlavní části. První z nich je Napájecí obvod s regulátorem výkonu, druhou je pak následně AKO (Astabilní Klopný Obvod), a třetí je koncová část z VN transformátorem.

Napětí do obvodu jde ze sítě přes transformátor, nebo z nějakého vnějšího zdroje, který je schopen dodávat střídavé napětí od 12 do 30 V a příkon okolo 46 VA. Když tedy vlastníme použitelný transformátor, lze vybudovat obvod usměrňovačem.

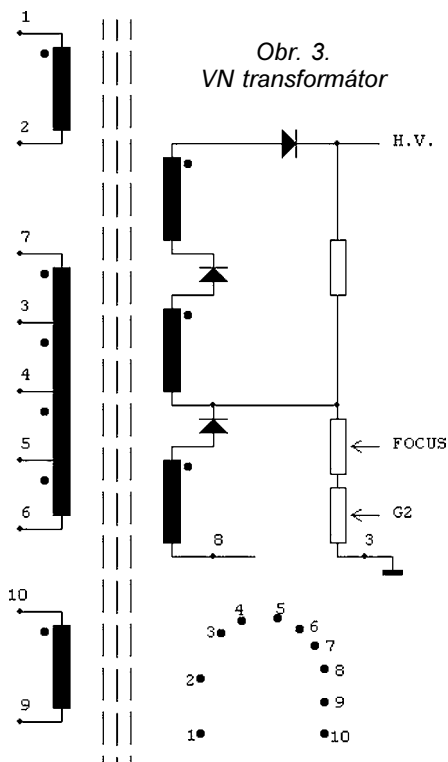
V našem případě USM1 lze použít již připraveného můstku, nebo lze



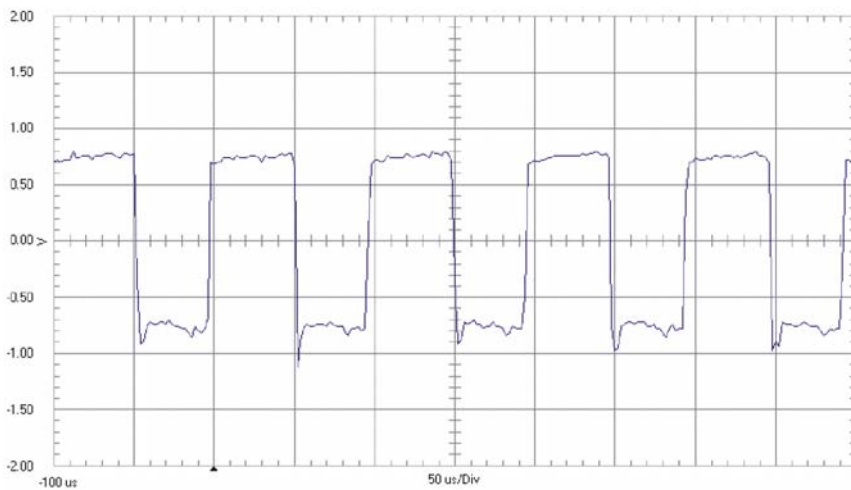
můstek složit z diod, např. KY711. Dobře se také osvědčily různé diody ze starých počítačových zdrojů. Které jsou většinou sprázeny v pouzdrch po dvou! Na Internetu jsou tyto pouzdra dobře zdokumentována. V každém případě nezapomínejte vybavit usměrňovač chladičem. Po usměrnění napětí, je dále do obvodu zařazen filtrační kondenzátor C1, který má jen jediný úkol a tím je odfiltrování nejen různých záněhů, které se vrací od VN transformátoru, ale hlavně vyhladit napájecí napětí. Jednou z důležitých součástek obvodu je pojistka, ve schématu pod označením F1 a F2, tu volíme podle parametrů napájecího zdroje, nejčastěji však stačí 2 A/250 V. LED1 signalizuje napájecí napětí. R1 pro napětí odvodíme ze vzorce:

$$R = (U_t - U_d) / I_d$$

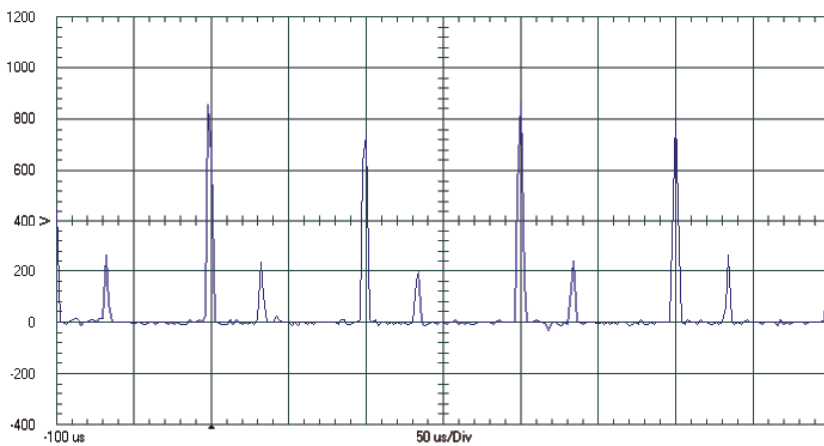
U_t je napětí celkové, U_d je napětí diody 2 V a I_d je proud diody 0,02 A (červená LED).



Obr. 3. VN transformátor



Obr. 4. Výstupní napětí na vývodu 3 IO1



Obr. 5. Upravený signál pro buzení VN transformátoru

Pro napájení oscilátoru (AKO) je zde připojen ještě stabilizátor 7812 (IO2) který dodává stabilizované napětí 12 V, Pozor jen pro zajímavost podotýkám, že stabilizátor je určen pro napětí od 14 do 30 V, takže pokud v obvodu máte větší napětí, může se stát, že stabilizátor se s vámi ani nerozloučí a „odejde“. A protože se v obvodu za stabilizátorem vyskytují také kondenzátory je stabilizátor opatřen diodou D3, která zamezuje zničení stabilizátoru zpětným napětím. Kondenzátory C2 a C3 jsou zde pouze jako filtrační. K regulaci výkonu je použit tranzistor, do jehož báze (Gate) je vpouštěno napětí přes potenciometr R8 a P1, který v tomto případě pracuje se stejným principem jako

napěťový dělič. Tím jsme dokončili první funkční celek a tím je zdroj s regulátorem výkonu.

Druhým blokem je Oscilátor (AKO). Ten generuje frekvenci pro buzení primárního vnutí VN transformátoru o kmitočtu asi 15 kHz (Ze zkušenosti:

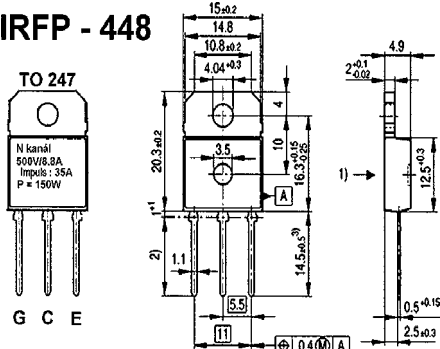


Obr. 8. Měření vinutí

Je to u každého transformátoru jiné.) Což je však také frekvence, která je předepsaná pro tyto transformátory, a při které mají nejlepší vlastnosti. Generování tohoto kmitočtu zajišťuje již dobře známý obvod časovače NE555 (IO1), který pracuje v astabilním režimu. Nastavujeme u něj délku činnosti a nečinnosti odporovým trimrem R3 (volba správné pracovní frekvence) R4 a C4. Na obr. 4 můžete vidět jak vypadá výstupní napětí, které lze naměřit na vývodu 3 u IO1.

Tento průběh není však moc vhodný pro buzení transformátorů, protože jeho poměr délky impulsu ZAP/VYP by měl být co nejmenší. Tedy signál log. 1 by měl být velmi krátký, a signál log. 0 by měl být natolik dlouhý, aby v transformátoru mohlo zaniknout magnetické pole. Proto jsou do obvodu zařazeny další součástky - kondenzátor C6 a rezistor R5, R6 a dioda D2. Ty nám zajišťují, že poměry log. 1 a log. 0 budou

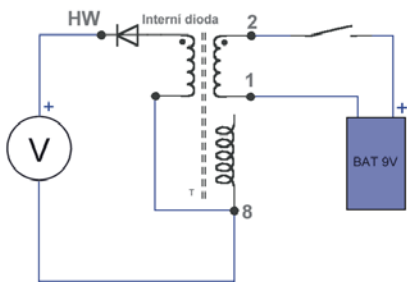
IRFP - 448



Obr. 6. Pouzdro tranzistoru IRFP448

Obr. 7. VN transformátor HR





Obr. 9. Měření transformátoru

nastaveny optimálně. Výsledné hodnoty signálů jsou na obr. 5.

Tento signál je „vpouštěn“ do báze (Gate) tranzistoru T2, zajímavostí je, že tento tranzistor se dá sehnat v každém starém monitoru, kde je užíván pro napájení monitoru v spínaném zdroji. Jeho cena není zanedbatelná, takže když budete rozebírat starý monitor, jistě ho vypájejte, ušetříte tak 100 Kč, a máte dokonalý tranzistor MOS, který spíná až 14 A při 500 V.

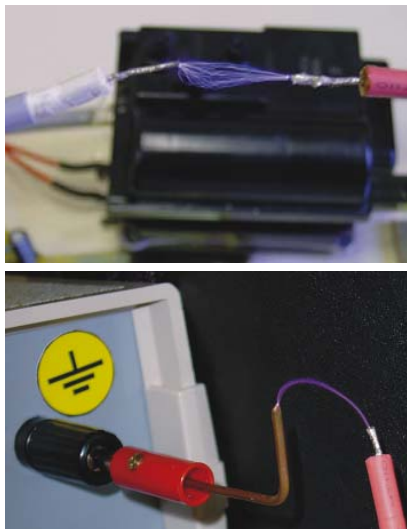
Pokud se vám tranzistor i přesto hřeje, je dobré ho umístit na nějaký starší chladič z PC, a někdy ho lze i opatřit malým větráčkem. Avšak to jde pouze o krajní případy.

Tímto jsem se dostal až k další části, a tou je VN transformátor s jiskřištěm. Ten si však popíšeme až v konstrukčním provedení.

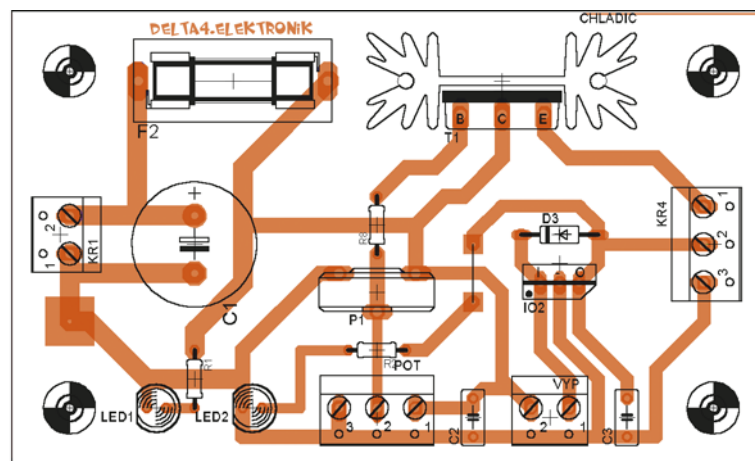
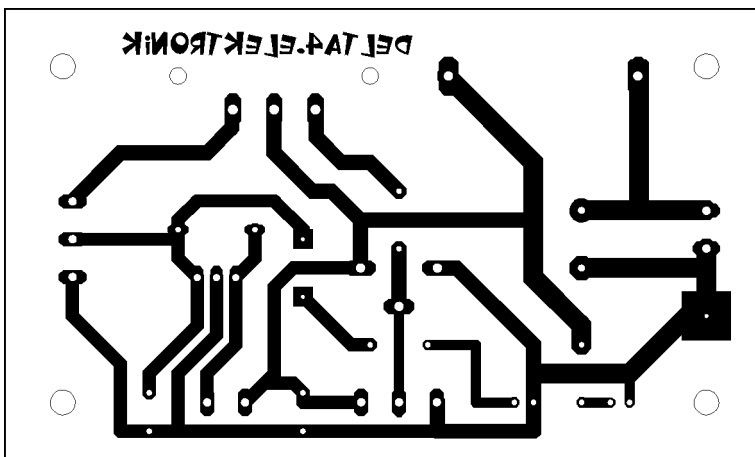
Konstrukční část

Vezměme si to tedy ještě jednou od začátku. Nejprve jsme zkonstruovali napájecí část, nadále oscilátor z koncovým členem, a nyní nám již jen chybí připojit VN transformátor. Jak tedy na to? Důležitým faktorem pro správnou funkčnost je vlastnictví jednoho nebo dokonce více kusů nějakého VN transformátoru, a to nejlépe od firmy HR, takový transformátor je na obr. 7.

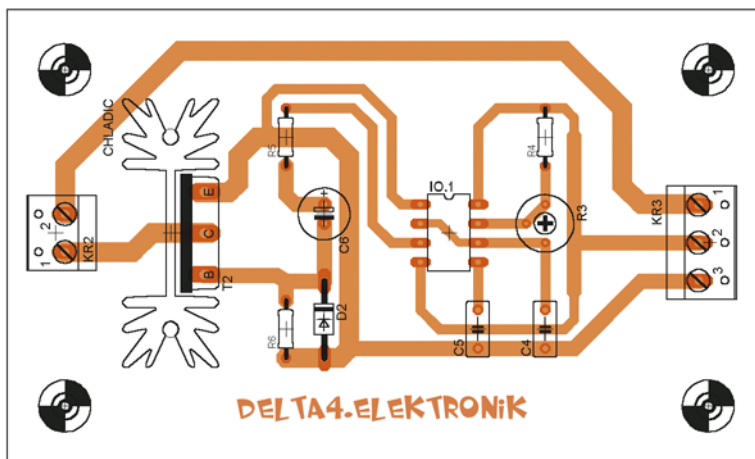
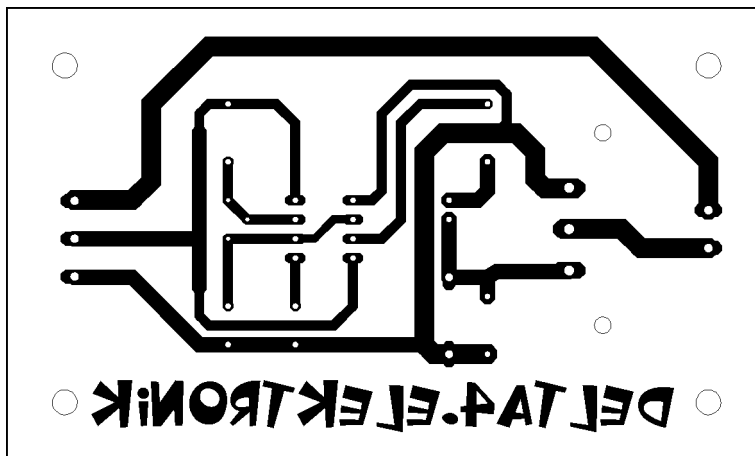
Pokud však nevlastníme transformátor zrovna od firmy HR, může nastat problém z vnitřním zapojením



Obr. 10. Jiskra



Obr. 11. Deska s plošnými spoji zdroje s regulátorem



Obr. 12. Deska s plošnými spoji oscilátoru

transformátoru. Potom máme dvě možnosti sehnat dokumentaci nebo transformátor proměřit a pokusit se zjistit jak je vnitřně uspořádán. Postačí k tomu voltmetr a ohmmetr + baterie 9 V. Nejprve zjistíme, který z vývodů je primární vynutí. Nejčastěji i na cizích transformátorech jsou to vývody 1 a 2, ty poznáme podle toho, že mají mezi sebou větší rozteč vývodů než ostatní. Pokud jsi nejsme jisti, můžeme vzít na pomoc ohmmetr a proměřit si vynutí mezi sebou. Primární cívka by měla v tomto případě mít odpor něco mezi 0,6 až 0,9 Ω (nejčastěji 0,8 Ω).

Jestliže tedy primární vynutí lze považovat za funkční (někdy se může stát, že primární vynutí je přepálené nebo zkratované) lze přikročit k otestování funkcí. K tomuto účelu budeme potřebovat baterii a voltmetr na co největší napětí. Pokud takovýto voltmetr nemáte k dispozici, stačí vám obyčejná doutnavka - např. z vyřazeného startéru zářivky. Připojíme tedy kontakty podle obr. 9, přičemž dáváme pozor na správné zapojení začátku a konce cívek.

V tomto okamžiku pokaždé když stisknete kontakt tlačítka, indukuje se v transformátoru napětí, které se objeví na výstupu HW a lze buď měřit pomocí voltmetru, nebo indikovat doutnavkou. Tímto lze celkem bez obav detekovat, že jak primární vynutí, tak i sekundární je v pořádku, a lze připojit na zdroj s oscilátorem. Jen pro zajímavost při napájení baterií 9 V vzniká na kontaktech napětí okolo 150 V.

Uvedení do provozu

Nejprve ze všeho zkontrolujeme správné osazení/zapojení všech obvodových součástek, hlavně tranzistorů a diod. Nadále pak musíme zkontrolovat pájení, kde největší pozor dáme na studené spoje a zkraty, jelikož ty budou po zapnutí první věc, která by vás mohla připravit o mnoho času při hledání chyby. A taky při 15 kHz se indukuje i na primární cívce dostatečně velké zpětné napětí, na které není příjemné si sahat.

Proto dávejte maximální pozor při oživování pod proudem. Pokud máme zkontrolovány desky s plošnými spoji, můžeme přikročit k jejich propojení dvěma vodiči. Výhodnou možností je také osadit obě desky s plošnými spoji nad sebe, pomocí čtyř distančních sloupků. Následně zbývá jen připojit VN transformátor podle schématu, připomínám ještě jednou, dávejte pozor na to, kde začíná vynutí, pokud ho přehodíte, nebude transformátor dávat žádné napětí. Taky je vhodné na konce vodičů, které pájíte na transformátor, dát do smršťovací

bužírky a po převlečení je smrštít. Tímto bychom měli dokončeno zapojení primárního vynutí. Pokud jde o sekundární vynutí, je celá věc komplikovanější, jelikož odizolovat napětí okolo 30 kV, je velmi obtížné. Nejlépe je dát mezi vývody, které srší, doutnavku, aby se napětí na těchto kontaktech nějak eliminovalo. Nejčastěji se to stává mezi vývody 8, 7 a 6. Vývod 8 je také zem celého sekundárního vynutí, lze jí vyvést jako svorku. HW kontakt nechte tak jak je, tedy můžete zde připájet prodlužovací drát, avšak nezapomeňte ho opravdu pořádně izolovat, jinak vám v místě pájení bude sršet, což zmenšuje výkon.

Pokud máme vše zapojeno, můžeme připojit napájení a zkusit regulaci, mělo by se ozvat jemné bzučení, z bezpečnostních důvodů nedoporučuji na žádnou součástku kromě potenciometru sahat. Správnou frekvenci nastavíme tak, že do jedné ruky si vezmeme šroubovák (izolovaný), kterým ladíme odporový trimr, a druhou se snažíme oddalovat nulový vodič od HW výstupu tak daleko, dokud nám drží jiskru. Pokud se nám vzdálenost zmenšuje, vrátíme potenciometr o kousek zpět, jelikož pracovní bod jsme již přejeli.

Na desce s plošnými spoji není umístěn usměrňovač USM1.

Seznam součástek

R1	Podle napětí viz text
R2, R4, R6	1 k Ω
R3	10 k Ω , trimr, 5 mm
R5	10 Ω
R8	220 Ω
P1	47 k Ω /N

C1	2200 μ F/35 V
C2, C3	10 nF, keram.
C4	15 nF, keram.
C5	100 nF, keram.
C6	100 μ F/16 V
D2	1N4007
D3	1N4148
LED1, LED2	zel. LED, 5 mm
T1, T2	IRFP448 nebo jiný
IO1	NE555 (Nesmí být CMOS)
IO2	7812
KR1, KR2	AKR210/2
KR4, KR3	AKR210/3
F1, F2	2 A/250 V (skleněná)
USM1	4x KY711 nebo jiné
Tr1	230 V/12 V (45 VA)
Tr2	VN transformátor z TV nejlépe HR
Vyp1	vypínač páčkový
Chladič	ze starého PC zdroje
Držák pojistky	KS20-01
Distance	4x Distanční sloupek
DT1	Doutnavka

Závěr

Závěrem bych vám rád popřál mnoho úspěchů, a hlavně co nejméně úrazů. Pokud budete mít čas a zajímá vás problematika ohledně úrazů elektrickým proudem, zamiřte na webové stránky mého kolegy KPR.

Jinak všechny výše uvedené texty a obrázky a ještě mnoho dalších zajímavostí lze nalézt i na našich internetových stránkách delta4.webpark.cz v elektronické podobě! Sem můžete psát i své problémy, nebo také na: Martin Brož, Nádražní 1532, 39 701 Písek (Delta4@centrum.cz).

Literatura

<http://delta4.webpark.cz>
<http://www.sweb.cz/kpr>

