

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA CHEMIE

**OZON JAKO VÝZNAMNÝ FENOMÉN SOUČASNÉ
SPOLEČNOSTI**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Markéta Vojtajová

Učitelství pro SŠ, obor chemie - biologie

Vedoucí práce: Doc. Mgr. Václav Ríchnr, CSc.

Plzeň, 2013

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

Plzeň, 24. července 2013

.....
vlastnoruční podpis

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu své práce, Doc. Mgr. Václavu Richtrovi, CSc. za bezbřehou trpělivost, pomoc a podporu, kterou mi poskytoval během psaní této práce stejně jako po celou dobu mého studia.

Klíčová slova

Ozon, ozonizátor, testování ozonizátoru

Key words

Ozone, ozonizer, testing of ozonizer

Anotace

Ozon jako významný fenomén současné společnosti

Tato diplomová práce pojednává o ozonu jako významném fenoménu současné společnosti. Jsou zde uvedeny jeho vlastnosti, průmyslové využití i funkce v přírodě. Významná část práce je věnována stavbě a funkci ozonizátoru a testování různých variací tohoto zařízení.

Summary

Ozone as a significant phenomenon of current society

This diploma thesis deals with ozone as a significant phenomenon of current society. The main characteristics of ozone, its industrial applications and even its function in nature are described here. The important part of this thesis is concerned with construction and function of an ozonizer and also with testing of different variations of this device.

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta pedagogická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Markéta VOJTAJOVÁ**
Osobní číslo: **P11N0223P**
Studijní program: **N7504 Učitelství pro střední školy**
Studijní obory: **Učitelství biologie pro střední školy**
Učitelství chemie pro střední školy
Název tématu: **Ozon jako významný fenomén současné společnosti**
Zadávací katedra: **Katedra chemie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznámit se s dostupnými materiály, pojednávajícími o vzniku, vlastnostech a využití ozonu.
2. Uřídít získané materiály jako základ hlubšího studia.
3. Zaměřit se na možnosti laboratorní přípravy ozonu pro výzkumné a didaktické aplikace.
4. Navrhnout didaktické aplikace studované problematiky na základní, eventuálně střední a vysoké škole.
5. Pokusit se na základě osobní zkušenosti a soustředěných materiálů navrhnout a experimentálně ověřit praktické návody pro demonstraci didaktických, eventuálně výzkumných cílů.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy: **40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:

Greenwood N.N., Earnshaw A.: Chemie prvků. Informatorium, Praha 1993.
Keil B. a kol.: Laboratorní technika organické chemie. ČSAV, Praha 1963.
Skálová I.: Ozonizace malých množství organických sloučenin. Diplomová práce. PF ZČU, Plzeň 1997.

Časopisy:

Chemické listy

Biologie - Chemie - Zeměpis

Přírodní vědy ve škole

Naturwissenschaften im Unterricht Chemie

Journal of Chemical Education


Vedoucí diplomové práce: **Doc. Mgr. Václav Richtr, CSc.**
Katedra chemie

Datum zadání diplomové práce: **15. prosince 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **31. března 2013**


Doc. PaedDr. Jana Coufalová, CSc.
děkanka




Doc. Mgr. Václav Richtr, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. prosince 2011



V Plzni dne 26.3.2013
č.j. ZCU/9819/2013/B

Rozhodnutí

Dle ust. čl. 55 odst. 3 Studijního a zkušebního řádu v platném znění (dále jen studijní a zkušební řád) rozhodl děkan

takto:

Studentce **Markétě VOJTAJOVÉ**, nar. **28.2.1988**, bytem **Sportovní 341, Kaznějov** studující ve studijním programu navazujícího magisterského studia **Učitelství pro střední školy**, studijní obor **biologie – chemie** se určuje náhradní termín odevzdání diplomové práce s názvem **„Ozon jako významný fenomén současné společnosti“** na **31.3.2014**.

Odůvodnění:

Student byl povinen odevzdat kvalifikační práci dle jejího zadání nejpozději do 31.3.2013. Student, aniž by odevzdal kvalifikační práci, podal k děkanovi včas podle čl. 55 odst. 2 studijního a zkušebního řádu žádost o stanovení náhradního termínu odevzdání kvalifikační práce.

Děkan s ohledem na důvody uvedené v žádosti vyhověl žádosti studenta a v souladu s ust. čl. 55 odst. 3 studijního a zkušebního řádu stanovil studentovi náhradní termín pro odevzdání kvalifikační práce.

Poučení:

Proti tomuto rozhodnutí není opravného prostředku.

V Plzni dne 26. března 2013

Doc. PaedDr. Jana Coufalová, CSc.
děkanka FPE

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	TEORETICKÁ ČÁST	2
2.1	Vlastnosti ozonu.....	2
2.1.1	Fyzikální vlastnosti.....	2
2.1.2	Chemické vlastnosti.....	4
2.2	Využití ozonu	7
2.3	Fyziologické působení ozonu.....	8
2.4	Ozon a životní prostředí	9
2.4.1	Ozonová vrstva	9
2.4.2	Ohrožení ozonové vrstvy a ozonová díra	9
2.4.3	Freony	10
2.4.4	Troposférický ozon.....	11
2.4.5	Ultrafialové záření	12
2.4.6	Mezinárodní úmluvy o ochraně ozonové vrstvy	12
2.4.7	Analýza ozonové vrstvy	13
2.4.8	Ozon a skleníkový efekt	14
2.5	Titrace	15
2.6	Stavba ozonizátoru	16
2.6.1	Průtokoměr	16
2.6.2	Ozonizační trubice.....	19
2.6.3	Zdroj vysokého napětí	23
3	PRAKTICKÁ ČÁST	26
3.1	Kalibrace průtokoměru.....	26
3.2	Testování ozonizátoru	29
3.3	Výsledky měření	33

3.3.1 Ruhmkorffův induktor a série tři trubice.....	33
3.3.2 Ruhmkorffův induktor a trubice odlišné konstrukce.....	40
3.3.3 Vysokonapěťový komerční transformátor a trubice odlišné konstrukce.....	44
3.3.4 Zdroj z automobilové cívky a trubice odlišné konstrukce.....	46
3.3.5 Ruhmkorffův induktor a modifikovaná trubice.....	48
3.3.6 Zdroj z automobilové cívky a modifikovaná trubice	54
3.3.7 Zdroj z automobilové cívky a modifikovaná trubice při změněné frekvenci.	59
3.3.8 Zdroj z automobilové cívky a modifikovaná trubice při použití kapilárního průtokoměru	65
3.3.9 Zdroj z automobilové cívky a několik modifikovaných trubice	67
3.4 Shrnutí výsledků měření	69
3.4.1 Vliv zapojení regulátoru tlaku do systému ozonizátoru	69
3.4.2 Vliv vloženého napětí z akumulátoru na Ruhmkorffův induktor.....	70
3.4.3 Vliv délky vnitřní elektrody u modifikované trubice	71
3.5 Didaktická část	73
3.5.1 Didaktika chemie.....	73
3.5.2 Výuková jednotka a její realizace.....	73
3.5.3 Návrh na pokus dokazující dezinfekční účinky ozonu.....	74
4 ZÁVĚR	75
5 SEZNAM LITERATURY	77
6 RESUMÉ	80
Seznam obrázků.....	81
Seznam tabulek	82
Seznam grafů	84
Přílohy.....	88

1 ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá ozonem, který se v současnosti stává skutečně fenoménem naší společnosti. Hlavním cílem této práce je podat ucelenou informaci o problematice ozonu, a to jak z pohledu čistě chemického, tak i z pohledu ochrany životního prostředí. Nejrozsáhlejší část práce je věnována stavbě ozonizátoru a jeho testování. V tomto ohledu bylo cílem sestavit spolehlivý ozonizátor ze snadno dostupných materiálů a zařízení. Jako další aplikace této studie se jeví její didaktické možnosti. Práce přímo poskytuje nebo odkazuje na návod, jak ozonizátor sestavit a nadále i testovat. Dále jsou zde uvedeny studijní materiály, zabývající se touto problematikou, určené primárně na základní a střední školy.

Průběžné výsledky experimentů, prováděných v rámci řešení této diplomové práce, byly prezentovány ve formě posteru na Mezinárodní konferenci „Aktuálne trendy vo vyučovaní prírodných vied“, kterou pořádala katedra chemie Pedagogické fakulty Trnavské univerzity ve Smolenicích ve dnech 15. – 17. října 2012. Zpracovaná data získaná testem didaktické aplikace dané problematiky byla zveřejněna na Mezinárodní konferenci „Súčasnosc' a perspektívy didaktiky chémie III“ pořádané ve dnech 29. – 31. května 2013 katedrou chemie Fakulty přírodních věd Univerzity Mateja Bela v Donovalech. Práce byla částečně financována z prostředků projektu SGS 2013.

Diplomová práce je členěna do dvou hlavních částí, a to teoretické a praktické. Teoretická část popisuje vlastnosti ozonu z fyzikálního i chemického hlediska. Dále jsou zde uvedeny poznatky o průmyslovém využití ozonu a jeho fyziologických účincích. Rozsáhlá kapitola je věnována ozonu z pohledu problematiky životního prostředí, ve které je charakterizována ozonová vrstva a ozonová díra, freony, vznik troposférického ozonu, metody analýzy ozonosféry apod. V neposlední řadě teoretická část práce obsahuje popis ozonizátoru jako zařízení sloužícího k přípravě ozonu. Velmi stručně je zde zmíněna také teorie odměrné analýzy (titrace), což byla jedna z hlavních metod analytické chemie použita při vlastním měření v laboratoři.

Praktická část diplomové práce obsahuje metodiku a výsledky experimentů, které byly v souvislosti s touto prací realizovány. Jsou zde uvedeny veškeré vztahy použité při vlastním zpracování. V neposlední řadě je v rámci praktické části popsána možnost didaktické aplikace problematiky ozonu a jeho přípravy ve školních podmínkách (viz Přílohy).

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Vlastnosti ozonu

2.1.1 Fyzikální vlastnosti

Ozon O_3 je alotropická modifikace kyslíku O_2 . Za standardních podmínek se jedná o bleděmodrý plyn s charakteristickým zápachem¹. Základní vlastnosti ozonu jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 Vlastnosti ozonu (převzato z literatury²)

Veličina		Jednotka	Hodnota pro ozon
M_r	Relativní molekulová hmotnost	-	48,00
ρ	Hustota	g/dm^3 (při tlaku 101,325 kPa, teplotě $0^\circ C$)	2,144
t_t	Teplota tání	$^\circ C$ (při tlaku 101,325 kPa)	-192,7
t_v	Teplota varu	$^\circ C$ (při tlaku 101,325 kPa)	-111,9
t_{kr}	Kritická teplota	$^\circ C$	-12,10
p_{kr}	Kritický tlak	MPa	5,53
ρ_{kr}	Kritická hustota	g/cm^3	0,537
C_p°	Standardní molární tepelná kapacita při konstantním tlaku	J/mol.K	39,25
S°	Standardní molární entropie	J/mol.K	238,8
ΔH°	Standardní molární slučovací teplo	kJ/mol	142,3
ΔG°	Standardní molární slučovací Gibbsova energie	kJ/mol	162,7
ΔH_t	Molární teplo tání	kJ/mol	2,1
ΔH_{vyp}	Molární výparné teplo	kJ/mol	15,19
ϵ_r	Relativní permitivita	- (při teplotě $0^\circ C$)	1,00190
p	Tlak nasycených par	kPa (při teplotě $-172,1^\circ C$)	0,13332
s	Rozpustnost ve vodě	ml plynu/100 g rozpouštědla (při teplotě $0^\circ C$)	49,4

Původně byl ozon považován za vyšší oxid vodíku, později bylo však dokázáno, že je složen pouze z kyslíku. Lze jej vyrobit ze suchého kyslíku a opět se v kyslík mění, přičemž dva objemové díly ozonu poskytnou tři objemové díly kyslíku. Dle Avogadrova zákona tedy pro ozon plyne vzorec O_3 . Tento vzorec byl později prokázán stanovením hustoty plynného ozonu³.

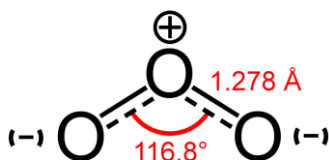
Ozon byl pojmenován dle svého charakteristického zápachu (řecky „ὄζειν“ („ozein“) = páchnouti). Tohoto pachu si všiml již Van Marun roku 1785 při práci s indukční elektřinou. Ozon však nakonec pojmenoval až Schönbein roku 1840, který zjistil, že tento plyn vzniká při elektrolýze zředěné kyseliny sírové³.

Ozon je diamagnetický plyn. Diamagnetismus je typický pro většinu látek. Tyto látky vykazují v magnetickém poli menší magnetickou indukci, než má ve stejném poli vakuum a mají sklon se v nehomogenním magnetickém poli pohybovat právě do míst s nejnižší magnetickou indukcí. Diamagnetismus vzniká z toho důvodu, že se účinkem vnějšího magnetického pole změní pohyb elektronů v látce a atomy tak získají malý magnetický moment opačného směru, než je magnetické pole. Hodnota magnetické susceptibility χ_m je negativní. Magnetická susceptibilita je vyjádřena vztahem (1):

$$\chi_m = \mu_r - 1, \quad (1)$$

kde μ_r je relativní permeabilita⁴.

Ozon kondenzuje na tmavě modrou kapalinu při teplotě $-111,9^\circ\text{C}$ a při teplotě $-192,7^\circ\text{C}$ se mění na tmavě fialovou krystalickou látku. Molekula ozonu je lomená s vazebným úhlem $116,8^\circ$ a je tvořena dvěma vazbami σ a delokalizovanými elektrony π , které jsou rozprostřeny přes všechny tři atomy kyslíku. Koncové atomy kyslíku mají dva elektronové páry a středový atom pouze jeden pár. Délka vazby v molekule ozonu je $1,278 \pm 0,003 \text{ \AA}$. Jelikož délka vazby O-O v HOOH (jednoduchá vazba) je $1,49 \text{ \AA}$ a v O_2 (dvojná vazba) je to $1,21 \text{ \AA}$, je zřejmé, že vazba mezi atomy kyslíku v molekule O_3 má podstatný podíl dvojných vazeb⁵.

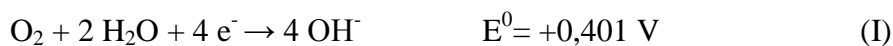


Obr. 1 Molekula ozonu (převzato z literatury⁶)

Optické vlastnosti ozonu jsou velmi důležité, jak u přírodně se vyskytujícího ozonu, tak i u jeho průmyslových aplikací. V plynném stavu ozon absorbuje infračervené, viditelné i ultrafialové světlo stejným způsobem. Jeho absorpce je velmi silná v oblasti ultrafialového záření, kde při vlnové délce 255,3 nm dosahuje absorpční konstanta svého maxima. Další maxima v oblasti UV se objevují při vlnových délkách 313,5 nm a 343,9 nm. Spektrum pro viditelné světlo odhaluje absorpční maximum při vlnové délce 600 nm, což je mimo jiné důvodem modrého zabarvení všech tří skupenských stavů ozonu⁷.

2.1.2 Chemické vlastnosti

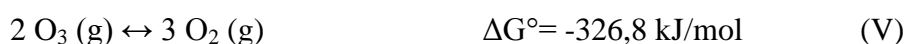
Chemické vlastnosti ozonu vyplývají z jeho molekulové struktury. Jeden z atomů kyslíku může být velmi snadno odštěpen, což z ozonu dělá jedno z nejsilnějších oxidačních činidel vůbec⁷. Toto velmi silné oxidační činidlo reaguje s mnoha látkami za podmínek, kdy dvouatomová molekula kyslíku, taktéž molekula se silnými oxidačními účinky, ještě nereaguje⁵. Například převádí černý sulfid olovnatý na bílý síran olovnatý, bílý hydroxid olovnatý na hnědý oxid olovičitý či černě barví kovové stříbro vznikajícím peroxidem stříbra³. Oxidační sílu ozonu a kyslíku ve vodném roztoku nastiňují následující potenciály uvedené u příslušných rovnic⁵ (I) a (II):



Svémi redoxními potenciály ozon předčí pouze fluor, atomární kyslík a difluorid kyslíku, případně několik málo dalších látek. V kyselém prostředí se ozon redukuje na vodu a kyslík, což uvádí reakce⁴ (III):

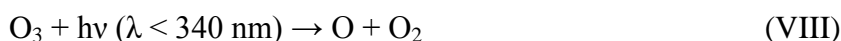


Ozon se nejčastěji připravuje působením tichého elektrického výboje v ozonizátoru (viz kapitola 2.6). Tento výboj dodává dostatek energie ke vzniku ozonu z kyslíku¹ (IV).

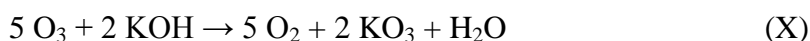


Při rozkladu ozonu (V) se uvolňuje velké množství tepla, což činí čistý ozon velmi výbušný. Zředěný ozon se za běžné teploty rozkládá pomalu. Tento rozklad se dá urychlit zvýšením teploty nebo přítomností některých katalyzátorů (oxid manganičitý, oxid olovičitý) či ozářením ultrafialovým zářením³.

Samovolně vzniká ozon ve stratosféře působením krátkovlnného ultrafialového záření ($\lambda < 242$ nm) z dvouatomové molekuly kyslíku. Tato molekula se nejprve rozpadá na jednoatomový kyslík, který při reakci s dvouatomovou molekulou kyslíku poskytuje tříatomový ozon. Působením části spektra ultrafialového záření o delší vlnové délce ($\lambda < 340$ nm) se pak ozon rozpadá zpět na běžný kyslík a velmi reaktivní jednoatomový kyslík. Tento kyslíkový radikál pak při reakci s ozonem vytváří dvě molekuly standardního dvouatomového kyslíku. Mezi těmito procesy existuje za normálních podmínek rovnováha. Jednotlivé reakce⁸ jsou znázorněny dále (VI) – (IX).



Ozon se dále v chemii využívá jako reaktant při tzv. kryochemických reakcích. Je možné takto připravit např. superoxid vodíku, který vzniká reakcí mezi atomem vodíku a kapalným ozonem při teplotě 77 K. Kryochemické reakce zahrnují také vznik tzv. anorganických ozonidů. Jedná se o barevné látky, které nejčastěji obsahují alkalický kov. Je možné je připravit z hydroxidu či superoxidu daného kovu v přítomnosti směsi plynného ozonu a kyslíku za teploty nižší než 273 K. Příklady těchto reakcí jsou uvedeny dále, přičemž rovnice (X) popisuje vznik ozonidu draslíku z hydroxidu draselného a reakce (XI) vznik stejné látky ze superoxidu draslíku⁷.

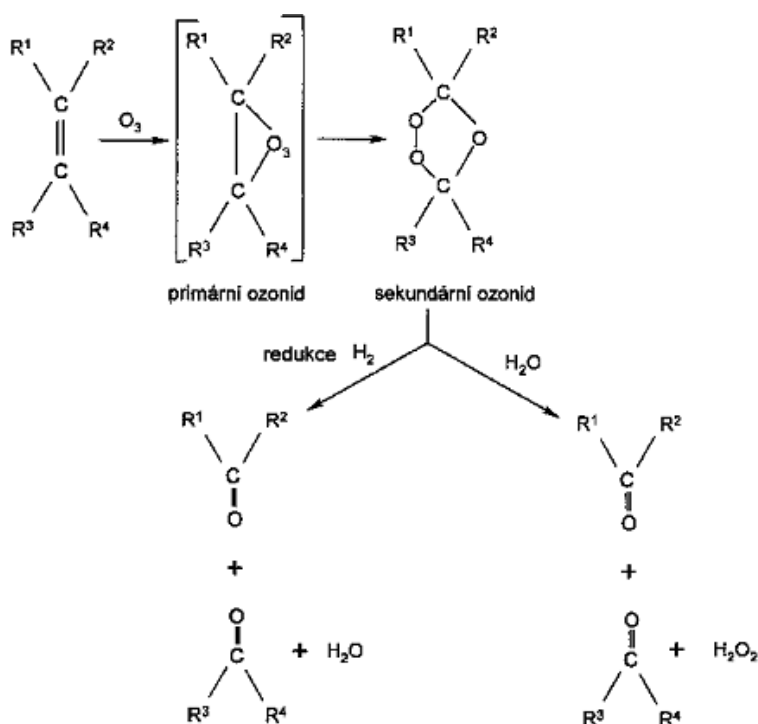


Ozon působí na organické látky velmi prudce již za obyčejné teploty. Bělí organická barviva a některé látky jako např. alkohol či ether se v jeho přítomnosti vzněcují³. Významné reakce ozonu s organickými látkami však zpravidla probíhají třemi základními mechanismy. Prvním z nich je běžná oxidace, jejímž příkladem může

být reakce ozonu s thioethery za vzniku sulfonů. Druhým typem mechanismu je vznik peroxidů. Příkladem tohoto působení může být reakce fenanthrenu s ozonem za přítomnosti methylalkoholu. Třetím mechanismem působení ozonu na organické látky je jeho reakce s nenasycenými uhlovodíky, která se označuje jako ozonizace⁷.

Ozonizace je název reakce, při které se molekula ozonu aduje na dvojnou vazbu již za laboratorní teploty za vzniku cyklického produktu, který se označuje jako molozonid, případně primární ozonid. Tento cyklický meziprodukt se poté rychle přesmykuje na vlastní, sekundární ozonid. Ozonidy, které mají nízkou molekulovou hmotnost, jsou silně explozivní a z tohoto důvodu se nikdy neizolují. Okamžitě se působením redukčního činidla (např. zinku v kyselině octové) převádějí na příslušné karbonylové sloučeniny. Vznik karbonylových sloučenin adicí ozonu na dvojnou vazbu se označuje jako ozonolýza⁹.

Schéma 1 – **Ozonolýza alkenů** (převzato z literatury⁸)



Je-li na místě R¹, R², R³, R⁴ odlišný substituent nežli vodík, je možno rozklad ozonidu provést pomocí vody. V případě vzniku aldehydu je lépe použít redukční štěpení ozonidu. Ozonolýza má krom přípravy karbonylových látek také historický význam zejména při studiu struktury nenasycených organických sloučenin¹⁰.

Ozonizací organických sloučenin se na katedře chemie FPE ZČU v Plzni ve své diplomové práci zabývali např. Skálová¹¹, Skuhrovcová¹², či Honz¹³.

2.2 Využití ozonu

Ozon má díky svým silným oxidačním vlastnostem rozsáhlé průmyslové využití. Má dezinfekční účinky, což znamená, že zabíjí bakterie, viry i plísň. Dezinfekce funguje na principu narušení buněčné stěny (u bakterií a plísní) či deaktivace virů¹⁴.

Nejčastěji se této vlastnosti ozonu využívá při dezinfekci pitné vody. Ačkoli má tato metoda mnoho výhod oproti použití chloru či jeho sloučenin, je v dnešní době používána jen občas, a to hlavně z důvodu vysokých finančních nákladů. Jednou z výhod této metody dezinfekce vody je, že nehrozí nebezpečí předávkování vody ozonem. Průmyslové ozonizátory fungují na principu tichého výboje, který vyrábí ozon ze vzduchu nebo z kyslíku¹⁵.

Využití ozonu k dezinfekci pitné vody s sebou nese výhodu také při kontrole chuti a zápachu vody. Většina zápachů a chutí se do vody dostává kontaminací organickým materiálem. Dochází zde například k rozkladu humusových látek či produkci metabolitů řas apod. Ozon dokáže většinu těchto pachů odstranit. Dále dokáže z vody odstranit těžké kovy jejich převedením do vyššího oxidačního stavu, ve kterém většina z nich tvoří méně rozpustné oxidy, a ty jsou poté odstraněny filtrací. Je možno takto odstranit např. železo, arzen, kadmium, chrom či olovo¹⁴.

Úprava pitné vody ozonem umožňuje také zbavit vodu nežádoucích zbarvení. Hlavně povrchové vody jsou často zbarveny organickými látkami, jako jsou fulvokyseliny, huminové kyseliny či taniny. Tyto látky obsahují velké množství dvojných vazeb, které ozon velmi účinně narušuje¹⁴.

Dezinfekční účinky O₃ jsou využívány také v potravinářském průmyslu k čištění výrobních hal, vyplachování lahví ve stáčírňách a plnínách a v masokombinátech¹⁴.

Další využití ozonu a jeho oxidačních vlastností se nachází v oblasti průmyslu chemického zpracování dřeva. Používá se zde k tzv. dodatečné delignifikaci, neboli bělení vláknin. Vlákniinou se rozumí vláknitý poloprodukt, který se získává z rostlinných surovin. Ozonu se zde využívá jako činidla oxidačního bělení převážně u polochemických vláknin, kde se lignin způsobující zbarvení z vlákniny přímo neodstraňuje, ale pouze se rozrušují jeho chromofory¹⁵.

Mezi jedno z nejmodernějších využití ozonu patří jeho aplikace v medicíně, a to hlavně ve stomatologii. Tato léčba se označuje jako ozonoterapie a zažívá v posledních letech nebývalý rozmach. Principem působení ozonu jsou zde opět jeho silné oxidační účinky, díky kterým dokáže účinně ničit mikroorganismy, a to bez rizika jejich budoucí rezistence. Nejmodernější přístroje používané v zubních ordinacích jsou uzavřené generátory ozonu, což znamená, že plyn se vytváří pouze tehdy, když je v místě finálního působení vyloučena jakákoli netěsnost. Díky tomu je v místě působení dosaženo dostatečné koncentrace ozonu a přitom není ohroženo zdraví pacienta. Ozonoterapie se nejčastěji využívá k bezbolestnému odstranění počínajícího zubního kazu, k prevenci vzniku zubního kazu, léčbě aftů či citlivých krčků¹⁶.

2.3 Fyziologické působení ozonu

Některé fyziologické účinky ozonu byly známy téměř okamžitě po jeho objevení. Jeho ostrý zápach a dráždivé účinky byly zcela zřejmé. Vdechování ozonu způsobuje celou řadu symptomů, od nepříjemných pocitů způsobených jeho zápachem, přes edém plic až po letální otravu. Hlavním drážděným orgánem jsou plíce. Dochází zde k otoku sliznice nacházející se u vstupu do plicního sklípku, což způsobí částečnou blokadu proudění vdechovaného vzduchu a také snížení využitelného povrchu sklípku. Reakce sliznice horních dýchacích cest na ozon se projevuje pocitem suchých úst, nosu a krku. Dále může dojít k ostré bolesti v krku, slzení a otoku očí. Mezi další běžné příznaky patří kašel, bolest hlavy, závrať či pocení. Po delším vystavení dochází k projevu vážnějších symptomů otravy. Objevuje se vyčerpání, zvyšování tepové frekvence a nevolnost. V nejhorších případech dochází k překrvení plicní tkáně, krvácení z nosu a nakonec k úmrtí. Celá škála těchto symptomů je řazena do kategorie toxikózy a označuje se jako otrava ozonem⁷.

Od padesátých let byly podrobněji zkoumány jednotlivé účinky ozonu na člověka i menší laboratorní zvířata. Kromě výše zmíněných prokázaných účinků bylo takto zjištěno, že má ozon vliv i na lidský čich. Pravděpodobným vysvětlením může být jeho paralytické působení na některé čichové nervy⁷.

Jako velmi významné se jeví pokusy na zvířatech, které dokázaly přiblížit mnohem závažnější účinky ozonu na živé organismy. Pomocí těchto pokusů byla také stanovena LD₅₀, což je v tomto případě koncentrace inhalované látky, která je smrtelná pro 50% pokusných subjektů. Nakonec byla tato hodnota stanovena na koncentraci 0,2

ppm při expozici 5 hodin denně po dobu 21 dnů. Zvířata zemřela na šok způsobený edémem plic a krvácením. Tyto pokusy bezpochyby prokázaly, že ozon patří mezi jednu z nejjedovatějších látek vůbec. Ještě více zarážející je zjištění, že ozon působí na živé buňky podobně jako ionizující záření. Je tedy možné, aby vyvolal chromozomové aberace, podobně jako např. ultrafialové záření⁷.

2.4 Ozon a životní prostředí

2.4.1 Ozonová vrstva

Ve výšce zhruba od 15 do 50 km od zemského povrchu se nachází část atmosféry označována jako stratosféra. V této sféře se vyskytuje plynný ozon, jehož největší koncentrace (10 ppm) je ve výšce asi 20 až 25 km. Tato oblast atmosféry se označuje jako ozonoféra či ozonová vrstva. Tato vrstva se udržuje jako výsledek rovnováhy mezi produkcí ozonu a jeho zánikem. Dochází také k jeho přesunu pomocí proudění vzduchu. Důsledkem těchto přesunů jsou pak denní fluktuace a sezonní a roční odchylky v koncentraci ozonu¹⁷.

Ozonová vrstva chrání povrch Země před průnikem krátkovlnného ultrafialového záření v pásmech B (280 – 320 nm) a C (100 – 280 nm). Ozon zde vzniká působením UV záření na molekuly O₂ (tzv. fotochemický vznik). Molekula O₃ má v oblasti UV spektra elektromagnetického záření extrémně vysokou absorpci, silnější než jakýkoli kov ve viditelném světle. Z tohoto důvodu stačí jen jeho nepatrná vrstva v ozonoféře k ochraně veškerého života na Zemi¹⁸.

Množství ozonu se ve vertikálním sloupci vzduchu nad zemským povrchem udává v tzv. Dobsonových jednotkách (D. U.). Tyto jednotky jsou pojmenovány po profesoru G. Dobsonovi z Univerzity v Oxfordu. Jedna D. U. představuje celkové množství ozonu ve vertikálním sloupci atmosféry, který vytvoří při tlaku 101,3 kPa a teplotě 15°C 10⁻³ cm silnou vrstvu¹⁸.

2.4.2 Ohrožení ozonové vrstvy a ozonová díra

V průběhu posledního století se stále stupňuje působení člověka na biosféru. Příčiny lze hledat v růstu lidské populace a také spotřebním způsobu života, který souvisí s vysokou průmyslovou produkcí a také významným čerpáním nerostných

a energetických surovin. Antropogenní vliv na ozonosféru se řadí mezi nejvýznamnější globální problémy životního prostředí na naší planetě¹⁹.

První předpovědi o tom, že lidská činnost může způsobit narušení ozonové vrstvy, se objevily již počátkem sedmdesátých let. Roku 1971 byla předpovězena destrukce ozonu katalytickou reakcí s oxidy dusíku jako důsledek letů nadzvukových letadel. Kolem roku 1974 F. S. Rowland a M. J. Molina z kalifornské univerzity přišli s teorií narušování molekul ozonu působením chloru¹⁷.

Definitivní potvrzení těchto hypotéz se odehrálo až roku 1985, kdy jedna z pozemských stanic umístěna v Halleyově zátocě v Antarktidě, kde pracoval vědecký tým Britského antarktického průzkumu vedený J. C. Farmanem, přišel s údaji, které dokazují, že zde od konce sedmdesátých let vždy pravidelně v měsících září a říjnu dochází k významnému poklesu úrovně ozonu. Tento jev začal být označován jako ozonová díra. Zjistilo se, že v zimních měsících se nad Antarktidou vytváří obrovský rotující vír, v němž jsou uzavřené vzduchové masy izolovány od okolního vzduchu. Teploty zde mohou klesnout až na -90°C . V této mase vzduchu je pak na počátku jara vždy pozorován nejen pokles ozonu, ale současně také velmi vysoká koncentrace chloru¹⁹. Hlavní látky sloužící jako zdroj tohoto chloru jsou tzv. freony.

Aktuální stav ozonové díry nad Antarktidou je možné sledovat na internetových stránkách NASA (Americký úřad pro letectví a vesmír)²⁰.

2.4.3 Freony

Termín „freon“ je obchodní označení pro nízkomolekulární alifatické a cyklické uhlovodíky, jejichž vodíkové atomy jsou většinou plně substituovány chlorem a fluorem. Některé freony mohou obsahovat nesubstituovaný vodíkový atom, a tyto látky se poté označují jako tzv. neúplně halogenované freony. Pokud látky tohoto typu obsahují atom bromu, označují se jako tzv. halony¹⁸.

Jedná se o bezbarvé, snadno zkapalnitelné plyny, které se vyznačují vysokou chemickou a termickou stabilitou. Mají nízký bod varu a nízkou viskozitu. Jsou relativně málo toxické. Tyto látky mají velmi široké uplatnění, používají se jako propelanty do aerosolových rozprašovačů, pracovní látky v chladírenské technice a hasicí prostředky¹⁸.

Pro freony byla již ve třicátých letech vytvořena alfa numerická notace. Podle této normy se každá látka CFC označuje písmenem R a několika číslicemi. Zcela

vpravo je číslice označující počet atomů fluoru. Nalevo od této je uvedena číslice o jedna vyšší, než je počet atomů vodíku v molekule. Počet atomů chloru je poté roven rozdílu těchto dvou číslic a do vzorce se neuvádí. Zcela nalevo je uvedena číslice udávající počet atomů uhlíku méně jedna (př. dichlordifluormethan = R 12)¹⁸.

Mechanismus rozrušování ozonové vrstvy pomocí freonů je vcelku složitý. Tuto schopnost mají pouze sloučeniny, které ve své molekule obsahují kovalentní vazbu C-Cl či C-Br. Tyto vazby mají v porovnání s ostatními relativně nízkou disociační energii. Z tohoto důvodu je možné, aby došlo k rozpadu této vazby slunečním zářením (200 – 360 nm) a k uvolnění radikálu Cl·. Tento radikál reaguje s molekulou ozonu a vzniká radikál ClO· a dvouatomová molekula O₂. Obdobný mechanismus funguje i u sloučenin obsahujících atom bromu. U freonů se stanovuje hodnota tzv. ODP (= ozone depletion potential = potenciál ničení ozonu). Hodnota ODP se získává pomocí modelových výpočtů. Je však nutné brát v úvahu také znalost kinetiky fotochemických dějů u dané látky za daných atmosférických podmínek¹⁸.

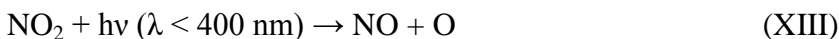
2.4.4 Troposférický ozon

Zhruba 10-20% z celkového množství ozonu je přítomno ve spodní vrstvě atmosféry, tzv. troposféře, která dosahuje až do výšky kolem 10 km nad zemským povrchem. Jeho koncentrace se v této vrstvě atmosféry pohybuje od asi 0,02 ppm na venkově až po 0,5 ppm ve větších městech. Troposférický ozon vzniká fotochemickými reakcemi z nejrůznějších prekurzorů. Nejvýznamnější prekurzory jsou oxidy dusíku (NO_x), těkavé organické látky (VOC = Volatile Organic Compounds), oxid uhelnatý a methan¹⁸.

Princip vzniku troposférického ozonu je uveden v rovnicích (XII) a (XIII).



kde M je třetí neutrální kolizní částice (např. dusík apod.)



Rovnováhu tohoto systému zajišťuje reakce (XIV), přičemž výsledná koncentrace ozonu je závislá na poměru koncentrací NO₂ a NO a okamžité intenzitě elektromagnetického záření s vlnovou délkou $\lambda < 400 \text{ nm}$ ¹⁸.



2.4.5 Ultrafialové záření

Ultrafialové (UV) záření je ta část elektromagnetického vlnění, která se nachází mezi viditelným světlem a rentgenovým zářením. Vlnová délka UV záření se pohybuje od 400 do 10 nm. S ohledem na biologický účinek se rozlišují menší rozsahy UV záření, a to UV-A (400-320 nm), UV-B (320-280 nm) a UV-C (100 - 280 nm). Chemický účinek tohoto záření spočívá v jeho absorpci a následné excitaci příslušných elektronů v molekule¹⁸. Této vlastnosti se využívá při analytické metodě UV spektrofotometrii, o které je možno se dočíst v literatuře^{21,22}.

K biologickým účinkům ultrafialového záření na člověka patří ztmavnutí pokožky následkem tvorby melaninu. Ačkoliv je tento proces vítán jak z estetického, tak i zdravotního hlediska (tvorba vitamínu D z podkožního cholesterolu), existují zde rizika z důvodu fototoxických účinků záření. Vystavení intenzivnímu záření zejména z oblasti UV-B může vést k popáleninám, kožním nekrotickým a až ke vzniku zhoubného onemocnění kůže, tzv. melanomu (rakovina)¹⁸. Příčinou vzniku zhoubných nádorů melanomového typu jsou mutagenní účinky tohoto záření. Nadměrná expozice UV záření poškozuje také zrakové orgány a snižuje u člověka jeho přirozenou obrannou schopnost danou imunitním systémem. UV záření však působí škodlivě i na ostatní živé organismy krom člověka, a to jak na živočichy, tak i na rostliny. Pro rostliny je nepříznivé zejména UV-B záření, které způsobuje nižší vzrůst, drobnější listy, nižší výživnou hodnotu i odolnost vůči škůdcům a chorobám. Z vodních organismů je na UV záření nejvíce citlivý zooplankton žijící v blízkosti vodní hladiny. Problémy vyvolává i u fytoplanktonu, který je tímto zářením odbarvován, a tím je mu znemožněna fotosyntéza¹⁹.

Pozitivní využití škodlivých účinků UV záření je možno nalézt např. v medicíně. Jelikož je složka UV-C silně toxická pro nižší organismy, používá se k dezinfekci a sterilizaci nástrojů. Intenzita UV záření na povrchu Země je samozřejmě ovlivňována i dalšími faktory, než jen obsahem ozonu ve stratosféře. Jsou to především roční doba, meteorologické faktory, stav znečištění ovzduší, vulkanismus, kouř, exhalace či doprava¹⁸.

2.4.6 Mezinárodní úmluvy o ochraně ozonové vrstvy

První kroky k ochraně ozonové vrstvy v mezinárodním měřítku jsou datovány do počátku osmdesátých let dvacátého století. V roce 1984 byla v rámci Programu pro

životní prostředí Spojených národů (UNEP) zorganizována ve Vídni mezinárodní konference, na které byla vyhlášena naléhavost akcí vedoucích k ochraně ozonoféry. Ke konkrétnímu postupu při omezování výroby a emisí škodlivých freonů a halonů se však státy zavázaly až roku 1987, kdy došlo k podepsání tzv. Montrealského protokolu o látkách, které porušují ozonovou vrstvu¹⁹.

Montrealský protokol vešel v platnost 1. ledna 1989, kdy byl podepsán zástupci 29 států z celého světa. Tento dokument reguluje výrobu a použití celkem pěti freonů a tří halonů. Dále specifikuje omezení spotřeby dalších freonů a popisuje sankce proti státům, které se rozhodly do protokolu nezapojit. Přibližně ve stejném období, kdy byl Montrealský protokol podepsán, bylo uskutečněno několik velmi rozsáhlých výzkumů ozonové vrstvy a jejího úbytku. Závěry vědců však nebyly příliš pozitivní, neboť se ukázalo, že i po přijetí protokolu a omezení výroby a emise freonů do ovzduší, nedojde ke snižování halogenů v atmosféře. Limity těchto látek by musely být mnohem nižší, avšak jejich největší producenti nenavrhují zastavit výrobu, ale pouze postupně nahradit tvrdší freony tzv. lehčími, které obsahují vodík a snáze se v atmosféře rozkládají²³.

Z těchto důvodů ochránářské organizace i vědci dále naléhali na urychlení tempa omezování freonů a některé státy se k tomu připojily sepsáním samostatných závazků. K formulaci těchto závazků došlo např. v Helsinkách roku 1989 či v Londýně roku 1990. Poslední zpřísnění Montrealského protokolu pak proběhlo na schůzce signatářů v dánské Kodani v listopadu 1992¹⁹.

2.4.7 Analýza ozonové vrstvy

Zásadní zlom v monitoringu ozonové vrstvy nastal po 1. světové válce vývojem přístrojů, které umožňovaly analyzovat změny v ultrafialové části spektra slunečního záření po jeho průchodu ozonovou vrstvou a vypočítat z těchto údajů celkové množství ozonu ve vertikálním sloupci atmosféry. Standardním přístrojem uvedeného typu je Dobsonův spektrofotometr, který je celosvětově používán více než šedesát let. Princip měření spočívá v rozkladu dopadajícího záření pomocí křemenného hranolu. Z takto vytvořeného spektra jsou vybrány celkem tři vlnové délky z oblasti UV-B, při kterých ozon výrazně absorbuje ultrafialové záření. Pomocí fotonásobiče je jejich intenzita porovnávána s tokem UV-B záření na sousedních vlnových délkách, které jsou ozonem jen málo ovlivněny. Z rozdílů kalibračních konstant přístroje a výstupního elektrického signálu se pomocí rovnic popisujících přenos elektromagnetického záření atmosférou

a spektrálních absorpčních koeficientů ozonu určuje jeho celkové množství ve vertikálním sloupci atmosféry. Používaný matematický model je mezinárodně standardizován¹⁸.

V současné době je Dobsonův spektrofotometr postupně nahrazován Brewerovým spektrofotometrem. Tento plně automatizovaný a počítačem řízený optoelektronický přístroj umožňuje měřit nejen celkové množství ozonu ve sloupci atmosféry, ale stanovuje také intenzitu slunečního záření v oblasti UV-B spektra. Měření vychází ze stejného principu, avšak sluneční záření je rozkládáno na jemné mřížce a pomocí rotující štěrbiny je možno měřit spektrální intenzitu záření¹⁸.

Pro výzkum ozonové vrstvy mají velký význam také informace o její vertikální struktuře, tzn. o rozložení koncentrace ozonu v atmosféře s danou výškou. Tyto údaje se pravidelně zjišťují především pomocí ozonových sond vynášených meteorologickými balony do výšek 30 – 40 km. Během svého letu sonda nasává vzorky vzduchu ze svého okolí a chemicky v nich stanovuje ozon. Tyto sondy pracují na principu elektrolýzy upraveného roztoku jodidu draselného. Současně se dnes používá i nejnovější technologie měření, a to pomocí optických laserů, tzv. lidarů¹⁸.

Dlouhodobé sledování stavu ozonové vrstvy vyžaduje velmi těsnou mezinárodní spolupráci. Je nutné standardizovat používané přístroje a shromažďovat naměřená data. Tyto funkce zajišťuje program GOOS (global ozone observing system), který vytvořila Světová meteorologická organizace (WMO) již v padesátých letech minulého století. Do tohoto programu je zapojen i Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). Na jeho Solární a ozonové observatoři v Hradci Králové se již od roku 1962 nepřetržitě provádí měření celkového ozonu pomocí Dobsonova spektrofotometru¹⁸. Výsledky tohoto měření byly zveřejněny v literatuře²⁴ a aktuální ozonové zpravodajství je dostupné na internetových stránkách ČHMÚ²⁵.

2.4.8 Ozon a skleníkový efekt

Ozon dále patří mezi tzv. skleníkové plyny. Tyto plyny, mezi které se řadí také např. oxid uhličitý či vodní pára, způsobují skleníkový efekt. Jako skleníkové plyny označujeme takové plyny, které mají schopnost pohlcovat teplo přímo ze Slunce nebo ze zemského povrchu. Za normálních okolností je tento proces vítán, jelikož napomáhá udržovat rovnováhu mezi teplem, které na Zem přichází, a teplem, které se vrací zpět do vesmíru. Bohužel však vlivem lidské činnosti dochází k nadměrné produkci a emisím

těchto plynů do atmosféry, což může mít za důsledek zvýšení teploty povrchu naší planety až na nebezpečnou úroveň. Tento jev se označuje jako globální oteplování²⁶.

2.5 Titrace

Titrace neboli odměrná analýza je postup kvantitativní chemické analýzy, při kterém se určují váhová množství látek přítomných v roztoku. K roztoku určované látky se přidává právě množství činidla, které je nutné pro kvantitativní průběh dané reakce. Roztok činidla se označuje jako odměrný roztok. Poněvadž přesná koncentrace tohoto roztoku (tzv. titr) je známa, lze z jeho spotřeby a ze stechiometrických poměrů příslušné reakce spočítat množství stanovované látky. Obecně se při odměrné analýze postupuje následovně. Odměrný roztok o známé přesné koncentraci je umístěn v byretě. Roztok obsahující látku, kterou je potřeba stanovit je v titrační baňce, a v průběhu titrace se k němu přikapává odměrný roztok z byrety. Dochází k reakci mezi účinnou látkou odměrného roztoku a stanovovanou látkou až do doby, kdy se mezi těmito látkami vytvoří stechiometrický poměr, který přesně odpovídá definovanému produktu reakce. Tento stav, při kterém dochází k ukončení reakce, se označuje jako bod ekvivalence. Bod ekvivalence je nutno přesně stanovit, neboli indikovat. U některých reakcí dochází v tomto bodě k barevné změně, u jiných je třeba použít tzv. indikátory, což jsou chemické látky, které se do titrovaného roztoku přidávají v malém množství a mají za úkol změnit svou barvu, a tím indikovat konec titrace²⁷.

Existuje mnoho typů odměrné analýzy a také nepřeberné množství dalších možností indikace bodu ekvivalence. Informace na toto téma jsou dostupné např. v literatuře^{21,27,28}. V této práci se však budeme zabývat pouze námi použitou metodou, a to reduktometrickou titrací, konkrétně tzv. jodometrií.

Jako jodometrie se označuje souhrn odměrných stanovení, která jsou v podstatě založena na redukci jodu v neutrálním prostředí na jodid nebo naopak na oxidaci jodidu v kyselém prostředí na jod²⁷ podle vratné reakce (XV).



Pro tuto práci byla využita právě reakce zpětná, tedy schopnost jodidu draselného být oxidován na jod, který se posléze stanoví odměrným roztokem thiosíranu sodného. Při titraci žlutohnědého roztoku jodu roztokem thiosíranu sodného vzniká jodid a tetrathionan. Obě tyto látky jsou bezbarvé a dobře rozpustné ve vodném

prostředí. Pro indikaci bodu ekvivalence se proto používá škrobový maz, který se v přítomnosti jodidu draselného barví jodových roztokem. Reakce funguje v neutrálním i kyselém prostředí, za studena²⁷. Účinná složka škrobového roztoku je amylosa $((C_6H_{10}O_5)_n)$, tzv. rozpustný škrob, která s iontem I_3^- tvoří intenzivně modrou adsorpční sloučeninu²¹.

Odměrné roztoky thiosíranu nejsou příliš chemicky stálé, vzdušným oxidem uhličitým se rozkládají za vzniku elementární síry, hydrogenuhličitanů a hydrogensířičitanů. Krom toho se také pozvolna oxidují vzdušným kyslíkem na sírany. Pro větší stálost jsou proto roztoky thiosíranu alkalizovány přidávkem uhličitanu sodného. Před samotným začátkem stanovení se připraví roztok thiosíranu přibližné koncentrace, jehož titr se následně kontroluje pomocí různých základních látek. Nejčastěji se využívají bromičnan draselný, jodičnan draselný či dichroman draselný²¹. V našem případě byl použit dichroman draselný.

2.6 Stavba ozonizátoru

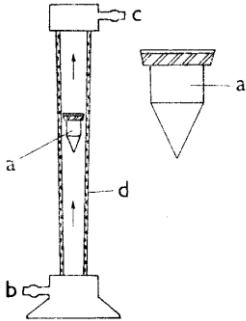
Ozonizátor je zařízení, které slouží k přípravě ozonu. Tyto přístroje nejčastěji pracují na principu tichého výboje, který probíhá v ozonizační trubici. Působením tohoto výboje se dvouatomová molekula kyslíku mění na tříatomový ozon. K tomuto účelu jsou konstruovány různé typy ozonizačních trubic. Nezbytnou součástí ozonizátoru je také zdroj vysokého napětí a významným doplňkem zařízení je vhodný průtokoměr.

2.6.1 Průtokoměr

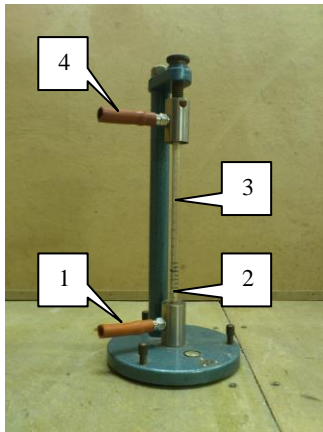
Obecně se jako průtokoměr označuje zařízení, které slouží k měření průtoku plynu. Existuje několik typů průtokoměrů pracujících na podobném principu²⁹. Při našem měření byly použity celkem dva typy průtokoměrů, a to padáčkový (tzv. rotametr) a dále kapilární.

Rotametr (obr. 2) je průtokoměr, který je tvořen skleněnou kalibrovanou trubicí, která se mírně rozšiřuje směrem nahoru a plovákem. Tento plovák se v trubici vznáší vlivem protékajícího plynu a výška jeho polohy udává průtok plynu. Plovák má tvar kuželu a nejčastěji bývá zhotoven z lehkého kovu či plastu. Proudící plyn zaváděný do rotametru vynese plovák do určité výšky. Spodní špičatá část plováku rozráží proud plynu obtékajícího stěny. Když plyn dosáhne drážkovaného obvodu, udělí plováku

rotaci. Plovák je jako setrvačnick stabilizován ve svislé poloze a nenaráží do stěn, takže je možné zanedbat jakékoli tření²⁹. Fotografie rotametru použitého při experimentech je uvedena na obr. 3.

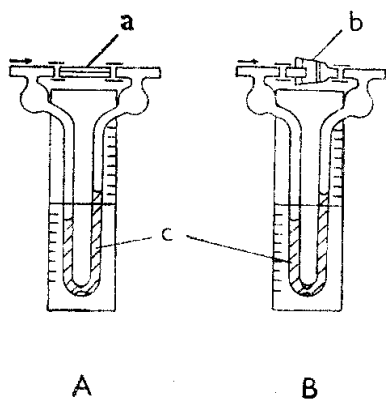


Obr. 2 **Rotametr** (převzato z literatury²⁹): a – kuželový plovák, b – přívod měřeného plynu, c – odvod měřeného plynu, d – trubice se stupnicí



Obr. 3 **Rotametr**: 1 – přívod kyslíku, 2 – plovák, 3 – kalibrovaná trubice se stupnicí, 4 – odvod kyslíku

Dalším typem průtokoměru, který byl při našem měření použit, byl průtokoměr kapilární (obr. 4). Toto zařízení je tvořeno skleněnou trubicí ve tvaru U, jejíž ramena jsou spojena kapilárou. Tato trubice je opatřena přívodem a odvodem plynu a naplněna manometrickou kapalinou, což byla v našem případě voda obarvena anilinovou červení. Vedle pravé části trubice byla zakreslena stupnice, dle které se měřil rozdíl tlaků v obou ramenech trubice U. Tento rozdíl odpovídá průtoku plynu, a tím i jeho množství. V tomto průtokoměru je možno kapiláru vyměnit tak, aby se dosáhlo potřebného průtoku²⁹. Krom kapilárního průtokoměru existuje také průtokoměr fritový obdobné konstrukce, jehož schéma je taktéž na obr. 4.

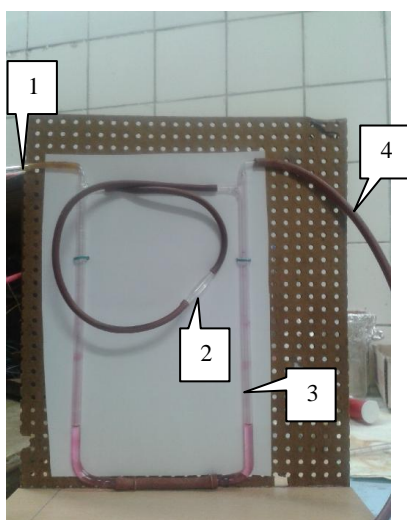


Obr. 4 **Průtokoměry** (převzato z literatury²⁹): A – kapilární průtokoměr, B – fritový průtokoměr, a – měrná kapilára, b – fritový kelímek, c – manometrická kapalina

V našem případě byly vyrobeny celkem čtyři kapiláry (obr. 5) a na měření použity tři (kapilára 2, 3 a 4), neboť kapilára č. 1 svým rozsahem odpovídala rotametru. Fotografie kapilárního průtokoměru je na obr. 6.

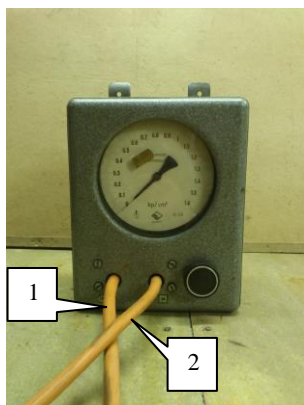


Obr. 5 **Kapiláry použité u průtokoměru**: seřazeny za sebou, zleva 1,2,3,4



Obr. 6 **Kapilární průtokoměr**: 1 – přívod kyslíku, 2 – vyměnitelná kapilára, 3 – trubice naplněná manometrickou kapalinou, 4 – odvod kyslíku

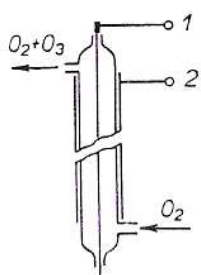
Z důvodu nedostatečné stability průtoku při použití rotametru byl do systému zařazen ještě dodatečný regulační prvek. Tímto prvkem byl regulátor tlaku zobrazený na obr. 7. Jeho vliv na výsledný průtok je dále diskutován v kapitole 3.1.



Obr. 7 **Regulátor tlaku:** 1 – přívod kyslíku z tlakové lahve, 2 – odvod kyslíku do průtokoměru

2.6.2 Ozonizační trubice

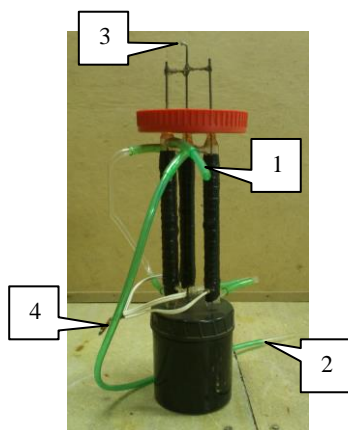
Ozonizační trubice tvoří nejdůležitější součást ozonizátoru. V principu se jedná o hermeticky uzavřený prostor se dvěma elektrodami. Mezi těmito elektrodami, které jsou připojeny k vysokému napětí, probíhá tzv. tichý výboj. Do prostoru trubice se přivádí kyslík a z něho se odvádí směs nezreagovaného kyslíku a vzniklého ozonu⁸. Jednoduché schéma takovéto trubice je uvedeno na obr. 8.



Obr. 8 **Ozonizační trubice (A)** (převzato z literatury⁸): 1 – vnitřní elektroda, 2 – vnější elektroda

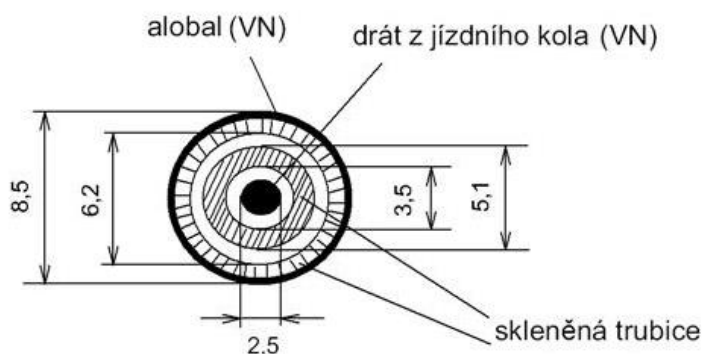
V rámci experimentů byly použity ozonizační trubice s následující základní konstrukcí. Kostra byla tvořena oboustranně zúženou skleněnou trubicí, jejímž středem byl protažen poniklovaný cyklistický výpletový drát z kola, který tak tvořil jednu

z elektrod. Tento drát byl v trubici upevněn pomocí epoxidové pryskyřice. Funkci druhé elektrody zastává vrstva hliníkové fólie umístěna na vnější straně trubice. Tato vrstva je upevněna a současně chráněna pomocí elektrikařské izolační pásky⁸. Z takto navržené trubice byla vytvořena série tří krátkých ozonizačních trubic uvedená na obr. 9 a dále uváděna jako trubice A.

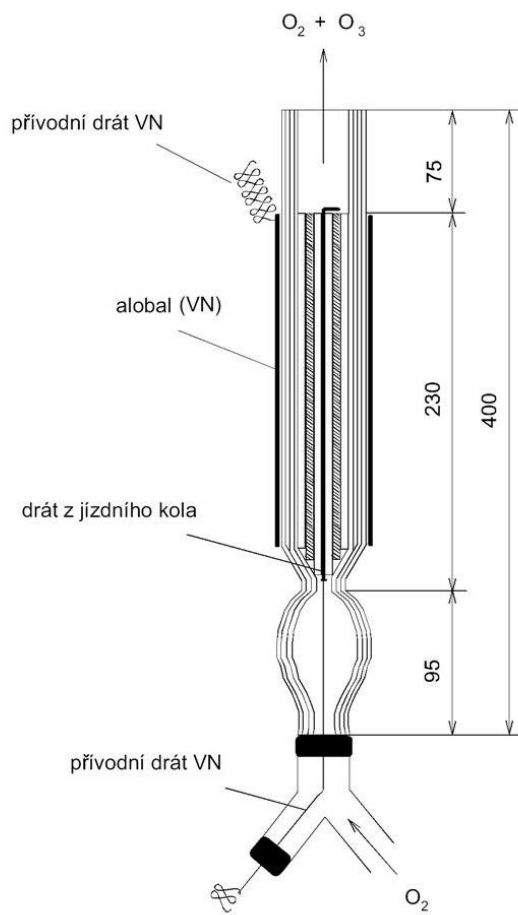


Obr. 9 **Tři trubice v sérii (A)**, 1 – přívod kyslíku, 2 – odvod směsi kyslíku a ozonu, 3 – připojení vnitřní elektrody, 4 – připojení vnější elektrody

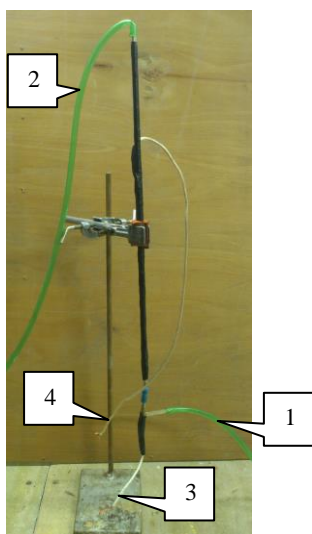
V průběhu let byla na katedře chemie FPE ZČU v Plzni navržena a sestavena také trubice poněkud odlišné konstrukce (viz obr. 10 a 11). Tato trubice má výhodu oproti předchozí sérii trubic v tom, že její stavba je jednodušší a není proto nutná výpomoc zkušeného skláře⁸. Fotografie této trubice se nachází na obr. 12 a dále je uváděna jako trubice B.



Obr. 10 **Průřez ozonizační trubicí odlišné konstrukce (B)** (převzato z literatury⁸): rozměry jsou uvedeny v mm

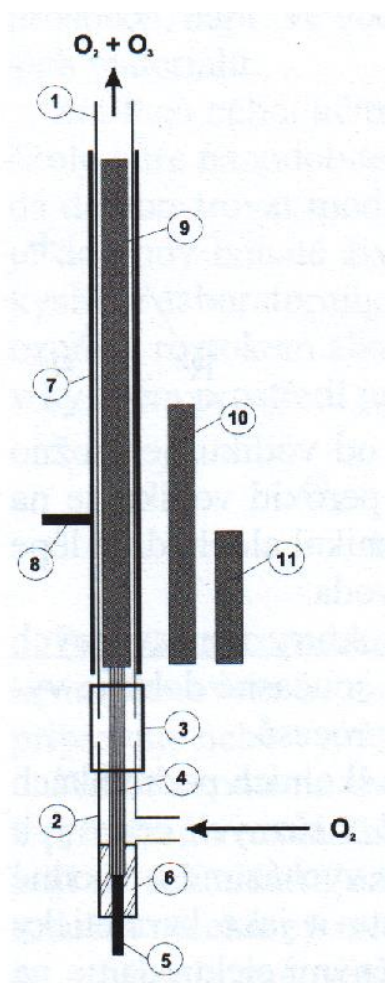


Obr. 11 Schéma ozonizační trubice odlišné konstrukce (B) (převzato z literatury⁸): rozměry jsou uvedeny v mm

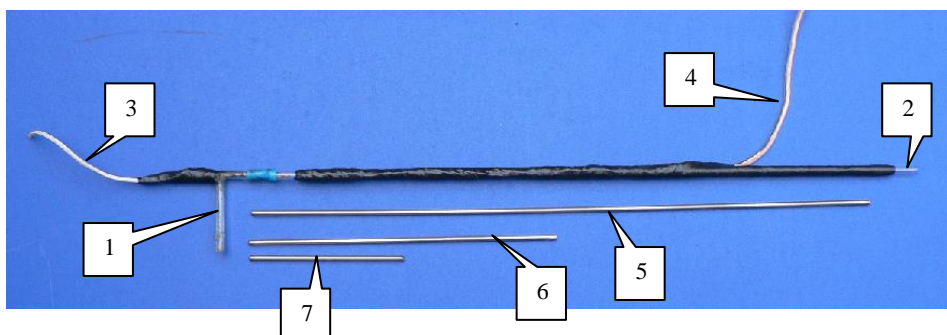


Obr. 12 Ozonizační trubice odlišné konstrukce (B): 1 – přívod kyslíku, 2 – odvod směsi kyslíku a ozonu, 3 – připojení vnitřní elektrody, 4 – připojení vnější elektrody

Nakonec roku 2013 byla sestavena zcela nová modifikovaná ozonizační trubice, jejíž schéma je uvedeno na obr. 13. U této trubice je jako vnitřní elektroda použita ocelová tyčovina (hlazenka) o třech různých délkách. Pouhým otočením této trubice o 180° vypadne vnitřní elektroda a ta může být nahrazena vyměnitelnými elektrodami o různé délce¹⁰. Fotografie této trubice je uvedena na obr. 14 a dále je uváděna jako trubice C.



Obr. 13 Schéma modifikované ozonizační trubice (C) (převzato z literatury¹⁰): 1 – skleněná trubice (Sial), délka 50 cm, vnitřní průřez 4,3 mm, vnější průměr 6,3 mm, 2 – T-trubice vnějšího průměru 6,5 mm, 3 – polyethylenová spojovací hadička, 4 – měděné lanko, 5 – vysokonapěťový kabel, 6 – epoxidová pryskyřice, 7 – několikavrstvý alobalový polep krytý elektrickářskou páskou, 8 – vysokonapěťový kabel, 9 – ocelová tyčinka (hlazenka) o průměru 4 mm, délky 44 cm, 10 – ocelová tyčinka (hlazenka) o průměru 4 mm a délce 22 cm, 11 – ocelová tyčinka (hlazenka) o průměru 4 mm a délce 11 cm

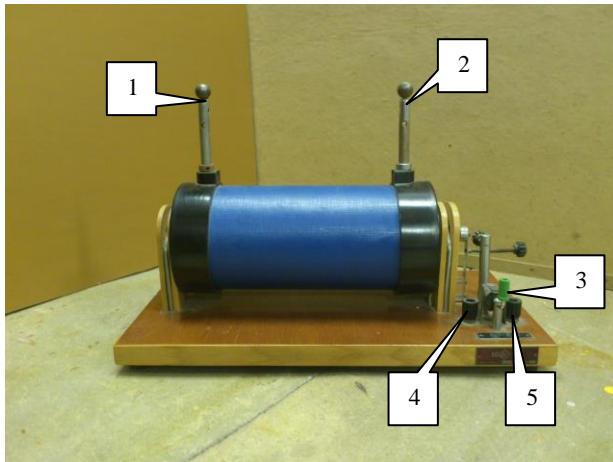


Obr. 14 **Modifikovaná ozonizační trubice (C)**: 1 – přívod kyslíku, 2 – odvod směsi kyslíku a ozonu, 3 – připojení vnitřní elektrody, 4 – připojení vnější elektrody, 5 – hlazenka o délce 44 cm, 6 – hlazenka o délce 22 cm, 7 – hlazenka o délce 11 cm

2.6.3 Zdroj vysokého napětí

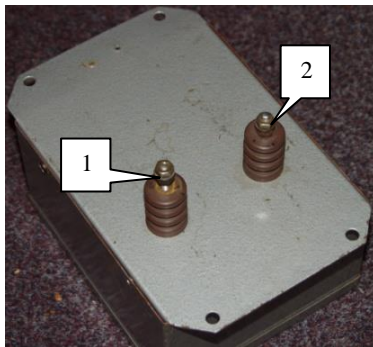
V rámci experimentů byly použity celkem tři zdroje vysokého napětí. Prvním z nich byl Ruhmkorffův induktor napájený baterií Ni-Fe článků. Tento systém umožňuje odvětvení napětí v rozsahu 6 – 12 V. Induktor produkuje vysoké napětí v rozpětí 25 až 85 kV a díky nízké frekvenci (50 Hz) umožňuje zcela bezpečný provoz ozonizačních trubic⁸. Ruhmkorffův induktor neboli Ruhmkorffův transformátor je zařízení generující proměnné vysokofrekvenční proudy z proudu stejnosměrného. Na přeměnu proudu nahoru, tedy k vyššímu napětí je použit transformátor s primární cívkou obsahující jen několik málo závitů. Sekundární cívka je naopak tvořena mnohonásobně vyšším počtem závitů. Ke správné funkci transformátoru je potřeba vytvořit proměnný proud, k čemuž slouží tzv. Wagnerovo kladívko. Jedná se o malý spínač, který je spojen s cívkou. Pokud zařízením teče proud, cívka si přitáhne hlavu spínače a rozpojí tím obvod. Díky tomu přestane působit magnetická síla cívky na hlavu spínače, a ten se svou vlastní pružností opět sepne. Pokud poté obvodem opět začne procházet proud, cívka opět přitáhne hlavu spínače a takto se vše stále opakuje. Wagnerovo kladívko tímto tedy vyrábí pulzy proměnného proudu ze stejnosměrného proudu. Tyto pulzy lze posléze transformovat transformátorem³⁰. Fotografie Ruhmkorffova induktoru je na obr. 15.

Toto zařízení má také nezvratnou výhodu oproti ostatním použitým zdrojům vysokého napětí, a to takovou, že je velmi často dostupné i široké veřejnosti. Hlavně na školách patří Ruhmkorffův induktor k běžnému vybavení fyzikálních učeben a laboratoří.



Obr. 15 **Ruhmkorffův induktor**: 1, 2 – připojení vysokonapěťových kabelů, 3 – spínač napájecího napětí, 4,5 – připojení napájecího napětí z baterie

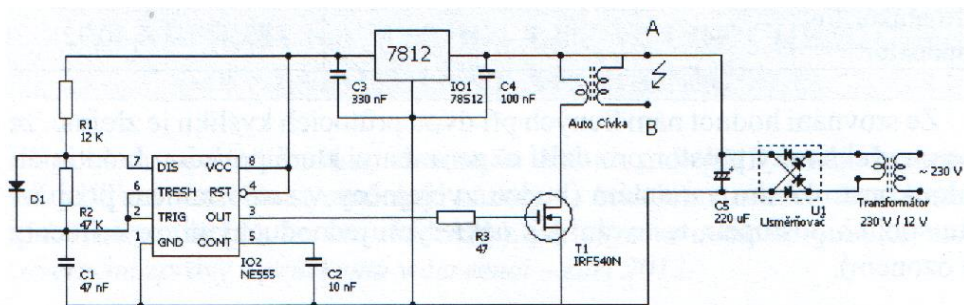
Druhým zdrojem vysokého napětí, který byl v rámci měření použit, byl komerční vysokonapěťový transformátor poskytující napětí 10 kV při nezměněné frekvenci 50 Hz. Obecně je vysokonapěťový transformátor netočivé (stabilní) elektrické zařízení, které slouží k přeměně přivedeného napětí a proudu na jiné zvolené hodnoty. Tyto stroje pracují na základně zákona elektromagnetické indukce³¹. Bližší informace o konstrukci, funkci či použití transformátorů můžeme získat v literatuře³². Fotografie použitého transformátoru je na obr. 16.



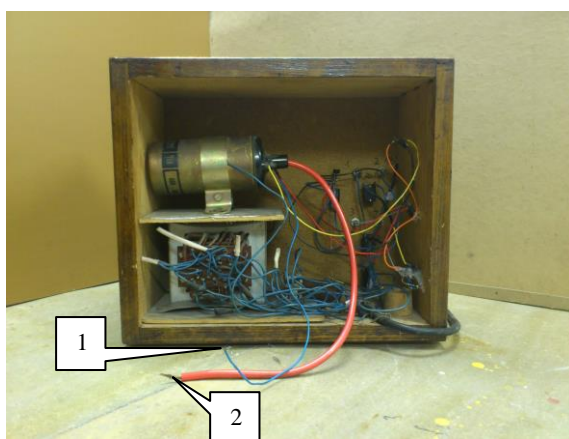
Obr. 16 **Vysokonapěťový transformátor komerční**: 1, 2 – připojení vysokonapěťových kabelů

Jako třetí zdroj vysokého napětí byl použit speciálně navržený zdroj s automobilovou zapalovací cívkou. Zdroj je připojen na síťové napětí, které je transformováno a usměrňováno na 18 V. Toto napětí je v oscilačním zapojení upraveno na pracovní frekvenci 520,4 Hz, které přichází na primární vinutí automobilové zapalovací cívky¹⁰. Schéma tohoto zařízení je uvedeno na obr. 17. V průběhu měření

byl tento přístroj vylepšen tak, že pomocí vložení různých kondenzátorů dochází ke změnám funkční frekvence zdroje. Hodnoty takto změněných frekvencí a jejich souvislost s kapacitou použitých kondenzátorů jsou uvedeny v tabulce 2. Fotografie zdroje je uvedena na obr. 18.



Obr. 17 Schéma zdroje s automobilovou zapalovací cívkou (převzato z literatury¹⁰)



Obr. 18 Zdroj s automobilovou zapalovací cívkou: 1, 2 – připojení vysokonapěťových kabelů

Tabulka 2 Kapacita kondenzátoru a jí odpovídající funkční frekvence zdroje vysokého napětí

Frekvence [Hz]	Kapacita [nF]
25	970
74	308
90	340
520,4	47

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Kalibrace průtokoměru

Před začátkem samotného testování ozonizátoru bylo nejprve potřeba okalibrovat použité průtokoměry. Díky tomuto procesu bylo zjištěno přesné množství kyslíku, které proudí do ozonizátoru. Hodnota průtoku uváděná dále v ml/min byla stanovena pro jednotlivé polohy padáčku u rotametru a pro jednotlivé výšky hladiny kapaliny zakreslené u jednoduchého kapilárního průtokoměru.

Samotná kalibrace probíhala následovně. Byla otevřena kyslíková tlaková láhev a na průtokoměru nastavena určitá poloha. Proudící kyslík byl dále jímán do odměrného válce, který byl naplněn vodou a obrácen dnem vzhůru (viz obr. 19). Dle rychlosti proudění kyslíku byl zvolen objem, který se kyslíkem nechal naplnit. Doba tohoto naplnění byla měřena na stopkách a zaznamenána. Pro každou polohu průtokoměrů bylo toto měření provedeno celkem 4x. Z výsledné průměrné hodnoty tohoto času a objemu, který byl kyslíkem naplněn, byl vypočten průtok kyslíku.

$$\text{Průtok} \left(\frac{\text{ml}}{\text{min}} \right) = \frac{\text{zvolený objem, který byl naplněn kyslíkem (ml)}}{\text{čas (min)}}$$

Získaná data byla dále zanesena do tabulek (3, 4, 5, 6) a zpracována graficky (grafy 1, 2, 3). Tyto grafy představují závislost průtoku na poloze padáčku u rotametru (graf 1, 2) a závislost průtoku na výšce hladiny kapaliny u kapilárního průtokoměru za použití kapiláry č. 2 (tabulka 5, graf 3). Průtok byl stanoven také pro použité hodnoty na kapilárním průtokoměru za použití kapilár č. 3 a č. 4. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6 a nebyly graficky zpracovány z důvodu příliš nízkého počtu dat.

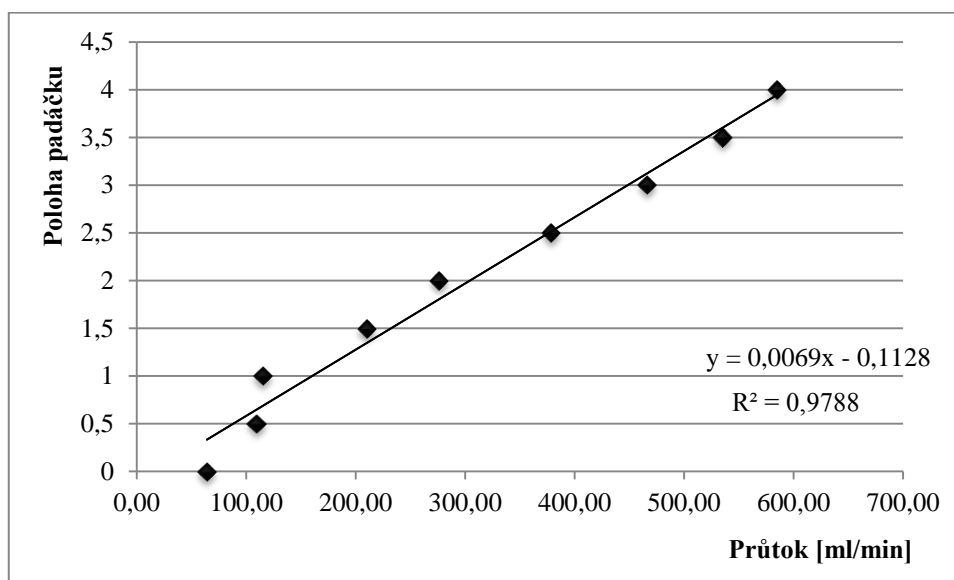


Obr. 19 Aparatura použitá ke kalibraci průtokoměrů

Tabulka 3 Hodnoty průtoku pro rotametr před zapojením regulačního prvku

Poloha padáčku	Průtok [ml/min]
0	64,01
0,5	109,17
1	115,42
1,5	210,23
2	276,24
2,5	378,58
3	466,30
3,5	535,00
4	584,80

Graf 1 Kalibrační křivka rotametru před zapojením regulačního prvku



Výsledná křivka získaná grafickým zpracováním všech hodnot se označuje jako křivka kalibrační. Závislost průtoku kyslíku na dané poloze průtokoměru je lineární. U každé křivky je rovněž uvedena rovnice regrese a hodnota spolehlivosti (R^2). Hodnota spolehlivosti udává přesnost průběhu křivky, a čím blíže je jedné, tím je graf spolehlivější.

Kalibrace padáčkového průtokoměru byla provedena celkem dvakrát. Na začátku měření nastal problém se stabilitou průtoku, a bylo proto nutné mezi rotametr a kyslíkovou lahev zapojit ještě jeden regulační prvek, a to regulátor tlaku (obr. 7). Proto byl okalibrován průtokoměr před připojením tohoto prvku a po něm. Z grafů 1 a 2

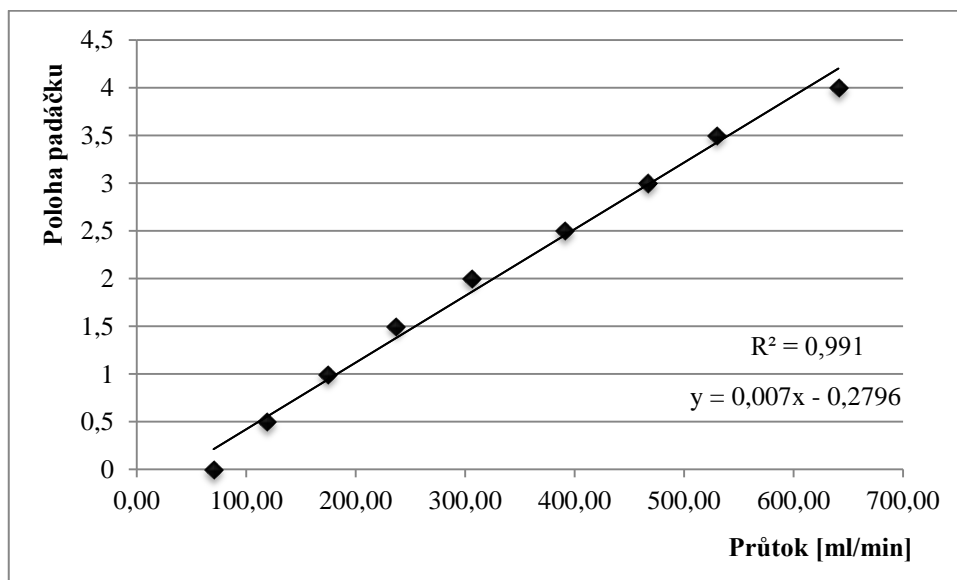
je zcela patrné, že tento přídavný prvek opravdu přispěl k lepší stabilizaci průtoku, neboť kalibrační křivka u grafu 2 je přesnější než u grafu 1.

Výsledné hodnoty průtoku byly dále použity u výpočtu hmotnostního a objemového zlomku vznikajícího ozonu a také ke grafickému zpracování všech výsledků získaných testováním ozonizátoru.

Tabulka 4 Hodnoty průtoku pro rotametr po zapojení regulačního prvku

Poloha padáčku	Průtok [ml/min]
0	70,19
0,5	119,24
1	174,37
1,5	236,87
2	306,44
2,5	390,79
3	467,29
3,5	529,72
4	641,03

Graf 2 Kalibrační křivka rotametru po zapojení regulačního prvku



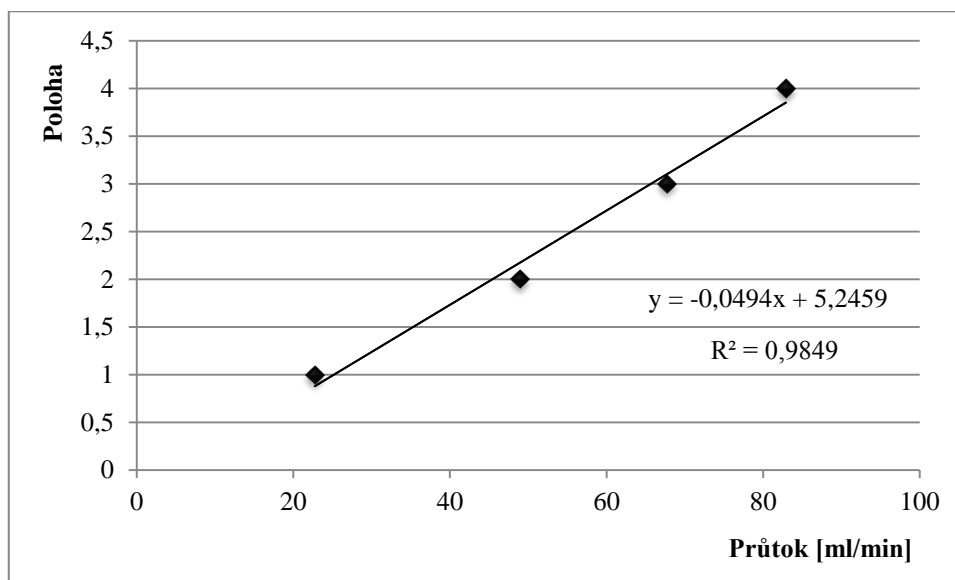
Tabulka 5 Hodnoty průtoku pro kapilární průtokoměr s kapilárou č. 2

Poloha hladiny	Průtok [ml/min]
4	82,93
3	67,67
2	48,91
1	22,75

Tabulka 6 Hodnoty průtoku pro kapilární průtokoměr s kapilárami č. 3 a 4

Kapilára	Průtok [ml/min]
3	15,23
4	5,42

Graf 3 Kalibrační křivka kapilárního průtokoměru pro kapiláru č. 2



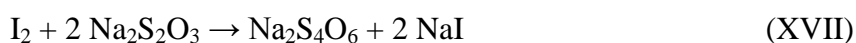
3.2 Testování ozonizátoru

Samotné testování ozonizátoru je postaveno na schopnosti ozonu reagovat s jodidem draselným za vzniku jodu. V rámci této práce bylo otestováno několik kombinací zdrojů vysokého napětí a ozonizačních trubice.

Vlastní měření probíhalo následovně. Byla otevřena kyslíková tlaková lahev a na průtokoměru nastavena žádoucí poloha průtoku. Kyslík byl takto veden z tlakové lahve do průtokoměru a dále do ozonizační trubice připojené na zdroj vysokého napětí. Z ozonizační trubice plyn odcházel přímo do absorpční nádoby, která obsahovala 12

ml 2%ního roztoku jodidu draselného. Roztok se nechal kyslíkem probublávat po dobu jedné minuty a poté byl na pět minut zapnut zdroj vysokého napětí. Po uplynutí této doby byl zdroj napětí vypnut a zařízením se nechal ještě další minutu proudit kyslík, aby se veškerý ozon z aparatury dostal až do absorpčního roztoku. Dále byl roztok ponechán čtyři minuty v klidu. Nakonec byl roztok kvantitativně převeden do titrační baňky a bylo možné přistoupit k samotnému stanovení množství vzniklého ozonu. Tento postup byl opakován třikrát pro každou hodnotu průtoku.

Stanovení množství vzniklého ozonu je založeno na jodometrii. Po zavedení ozonu do roztoku s obsahem jodidu draselného došlo k oxidaci jodidu na jod. Tento jod se uvolnil v titrační baňce po okyselení koncentrovanou kyselinou sírovou (1,2 ml). Poté následovala samotná titrace odměrným roztokem thiosíranu sodného o koncentraci přibližně 0,05 mol/l. Hnědožlutý roztok obsahující jod se přidáváním thiosíranu zbarvuje do světle žluté, což je okamžik, kdy se k němu přidává škrobový maz. Tento indikátor zbarví zbývající jod modře. Po přidání několika kapek thiosíranu došlo k odbarvení roztoku, což značí bod ekvivalence, tedy konec titrace. Následují rovnice popisující oxidaci jodidu ozonem (XVI) a reakci jodu s thiosíranem (XVII).



S pomocí těchto rovnic je možné vypočítat množství vzniklého ozonu, jelikož je známa koncentrace a objem roztoku thiosíranu sodného (spotřeba při titraci). Dále jsou uvedeny vztahy (2) – (5) pro tento výpočet.

$$n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \quad (2)$$

$$n(\text{I}_2) = 1/2 \cdot n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \quad (3)$$

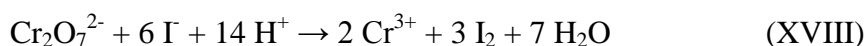
$$n(\text{I}_2) = n(\text{O}_3) \quad (4)$$

$$m(\text{O}_3) = n(\text{O}_3) \cdot M(\text{O}_3) \quad (5)$$

Jedná se o výpočty běžných veličin, přičemž n je látkové množství (mol), c je koncentrace (mol/l), V je objem (l), m je hmotnost (g) a M je molekulová hmotnost (g/mol). Molekulová hmotnost je známa z tabulky 1.

Před zahájením těchto výpočtů je však třeba znát přesnou koncentraci roztoku thiosíranu sodného, tzv. titr. Ten byl v našem případě stanoven na základní látku, kterou

byl dichroman draselný. Postup byl následující. Na analytických vahách byl navážen dichroman draselný s přesností na čtyři desetinná místa. Tato navážka byla předem vypočtena z rovnice tak, aby spotřeba thiosíranu sodného byla kolem 15 ml. Dále byl dichroman kvantitativně převeden do titrační baňky a rozpuštěn v destilované vodě. Poté k němu byly přidány 4 ml 2M roztoku kyseliny sírové a 1 g jodidu draselného. Vzniklý roztok byl ponechán několik minut v klidu a poté titrován odměrným roztokem thiosíranu sodného do světle žlutého zabarvení a po přidání škrobového mazu dotitrován do odbarvení, případně světle zeleného zabarvení. Tento postup byl opakován třikrát vždy u nově připraveného odměrného roztoku a z průměrných výsledných hodnot byla vypočtena přesná koncentrace tohoto roztoku. Reakce (XVIII) a následné výpočty (6) – (9) jsou uvedeny dále.



Koncentrace roztoku thiosíranu je možné z této rovnice vypočítat, neboť je známa hmotnost (navážka) dichromanu draselného a objem roztoku thiosíranu (spotřeba při titraci). Dále je možné v periodické tabulce najít hodnotu molekulové hmotnosti dichromanu. K výpočtu byla použita kromě rovnice (XVIII) i rovnice (XVII).

$$n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) / M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \quad (6)$$

$$n(\text{I}_2) = 3 \cdot n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \quad (7)$$

$$n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 2 \cdot n(\text{I}_2) \quad (8)$$

$$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) / V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \quad (9)$$

Krom množství vznikajícího ozonu bylo také potřeba vypočítat jeho koncentraci, nebo přesněji hmotnostní a objemový zlomek. Tyto zlomky byly převedeny tak, aby výsledná hodnota udávala procentuální zastoupení ozonu v ozonizované směsi plynů. Po výpočet hmotnostního procenta (w) byly použity vztahy (10) – (12). Objemové procento (φ) bylo spočteno pomocí vztahů (13) – (14).

Při těchto výpočtech již byla známa hmotnost vznikajícího ozonu ($m(\text{O}_3)$) a hustota kyslíku, která byla získána z tabulek ($\rho(\text{O}_2) = 1,429 \text{ mg/cm}^3$). Obdobně byla známa i hodnota průtoku kyslíku, která byla zjištěna kalibrací průtokoměru. Tato hodnota byla vypočtena v jednotkách ml/min a z toho důvodu je ve vztahu (12) násobena pěti, jelikož zavádění směsi kyslíku a ozonu do roztoku jodidu draselného

probíhalo po dobu pěti minut. Abychom získali konečné hmotnostní procento vznikajícího ozonu, je potřeba vypočtenou hodnotu $w(\text{O}_3)$ vynásobit stem.

$$w(\text{O}_3) = m(\text{O}_3) / m(\text{O}_2) \quad (10)$$

$$m(\text{O}_2) = \rho(\text{O}_2) \cdot V(\text{O}_2) \quad (11)$$

$$V(\text{O}_2) = 5 \cdot \text{průtok kyslíku} \quad (12)$$

Obdobná situace nastává i při výpočtu objemového procenta. Hmotnost ozonu ($m(\text{O}_3)$) byla známa a stejně tak i jeho hustota ($\rho(\text{O}_3)$), která je uvedena v tabulce 1. Pro výpočet objemu kyslíku ($V(\text{O}_2)$) byl použit vztah (12). K získání finálního objemového procenta bylo potřeba hodnotu ($\varphi(\text{O}_3)$) opět vynásobit stem.

$$\varphi(\text{O}_3) = V(\text{O}_3) / V(\text{O}_2) \quad (13)$$

$$V(\text{O}_3) = m(\text{O}_3) / \rho(\text{O}_3) \quad (14)$$

3.3 Výsledky měření

V rámci prováděných experimentů bylo otestováno několik kombinací různých ozonizačních trubic a zdrojů vysokého napětí. Výsledky byly dále zpracovány a částečně zveřejňovány v literatuře^{10,33}.

3.3.1 Ruhmkorffův induktor a série tří trubic

Jako první byla otestována kombinace Ruhmkorffova induktoru (obr. 15) a série tří trubic (A) (obr. 9). Jelikož akumulátor, který byl použit k napájení induktoru, má možnost odvětvení na různá napětí, byla celá série otestována pro tři hodnoty napětí z akumulátoru, a to 4,8 V, 6 V a 7,2 V. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulkách 7 až 9 a grafech 4 až 12. Toto měření bylo prováděno před zapojením regulátoru tlaku, použitému rotametru tedy odpovídá kalibrační křivka uvedená v kapitole 3.1 na grafu 1.

Tabulka 7 Výsledky pro induktor a sérii tří trubic (A), bez regulace průtoku, 4,8 V

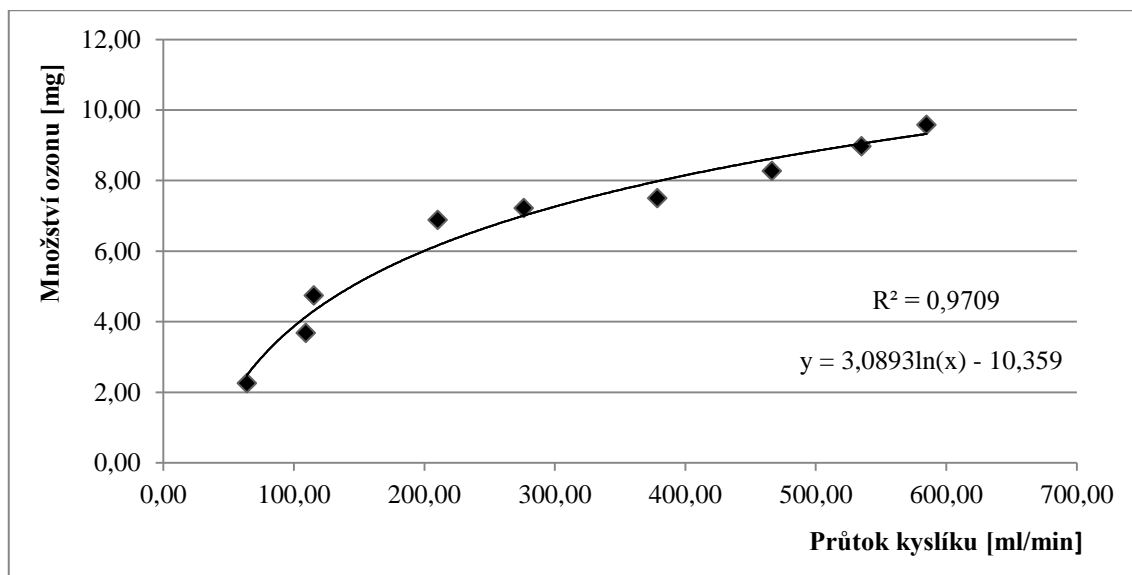
Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	64,01	2	2,26	0,49	0,33
0,5	109,17	3,26	3,68	0,47	0,31
1	115,42	4,2	4,74	0,58	0,38
1,5	210,23	6,1	6,88	0,46	0,31
2	276,24	6,4	7,22	0,37	0,24
2,5	378,58	6,65	7,50	0,28	0,18
3	466,30	7,33	8,27	0,25	0,17
3,5	535,00	7,95	8,97	0,23	0,16
4	584,80	8,49	9,58	0,23	0,15

Koncentrace roztoku thiosíranu sodného byla v tomto případě $c = 0,047$ mol/l. Výsledky byly dále zpracovány graficky. Na grafu 4 je uvedena závislost množství vznikajícího ozonu na průtoku kyslíku. Dále grafy 5 a 6 znázorňují závislost hmotnostního (w), případně objemového (φ) zlomku na průtoku kyslíku. U všech křivek je současně uvedena rovnice regrese a hodnota spolehlivosti (R^2).

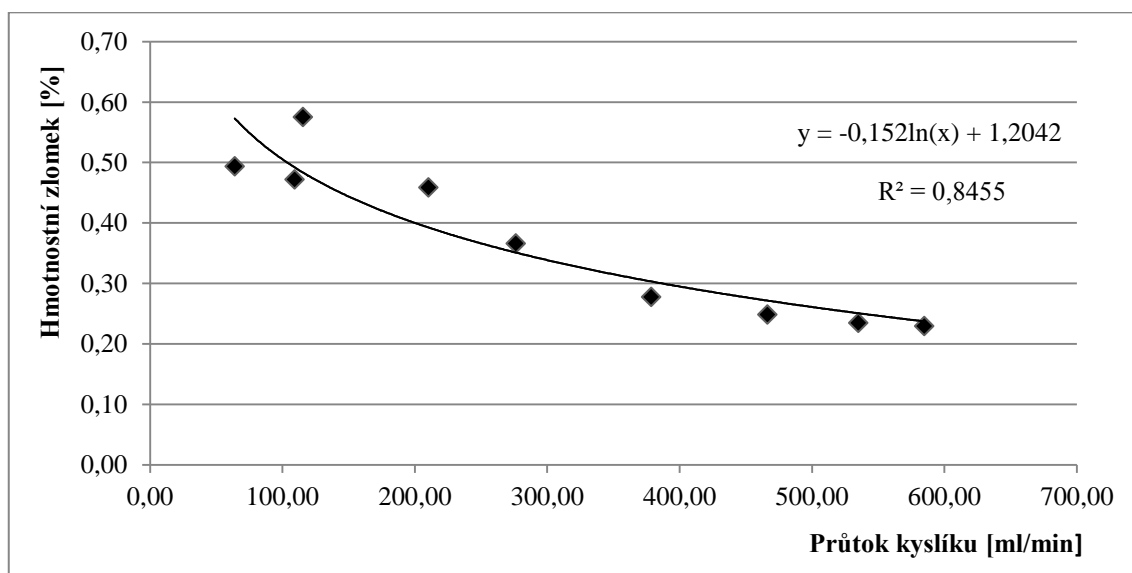
Z grafu 4 plyne, že závislost množství ozonu na průtoku kyslíku má logaritmický průběh. Obdobně i křivka z grafu 5 má logaritmický průběh. Z této křivky

je zřejmé, že hmotnostní zlomek vznikajícího ozonu je nejvyšší u malých průtoků. Čím je průtok kyslíku vyšší, hodnota hmotnostního zlomku klesá, ačkoli ozonu vzniká víc. Hlavním důvodem je výrazné naředění ozonu kyslíkem u vyšších průtoků.

Graf 4 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 4,8 V



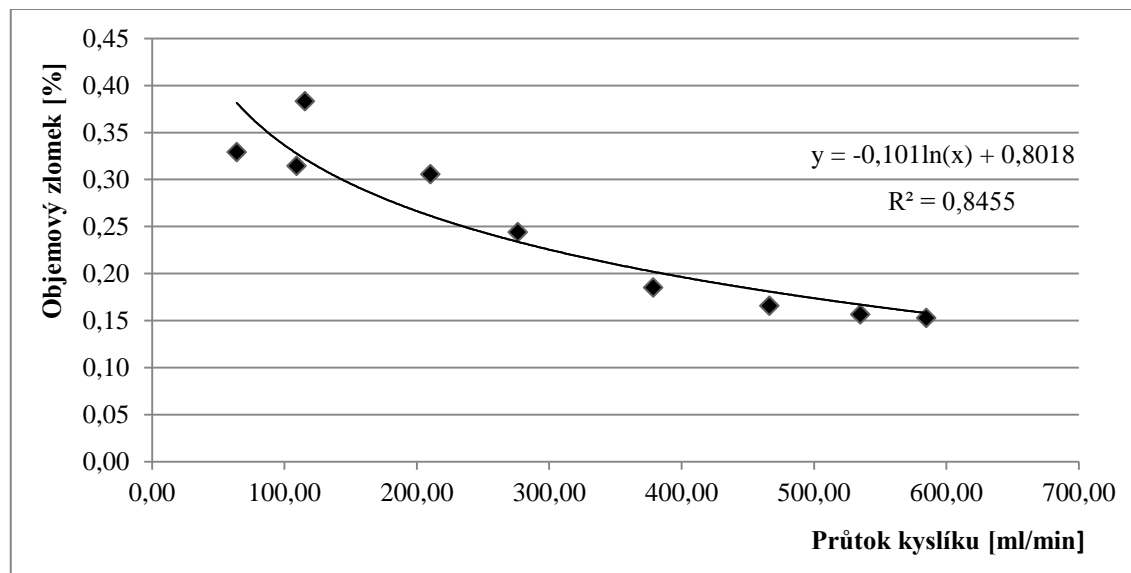
Graf 5 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 4,8 V



Graf 6 dále zobrazuje závislost objemového zlomku vznikajícího ozonu na průtoku kyslíku. Křivka má opět logaritmický průběh. Jelikož je křivka závislosti

hmotnostního a objemového zlomku na průtoku kyslíku téměř totožná, je graf závislosti objemového zlomku uveden pouze v tomto jednom případě.

Graf 6 Závislost objemového zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 4,8 V

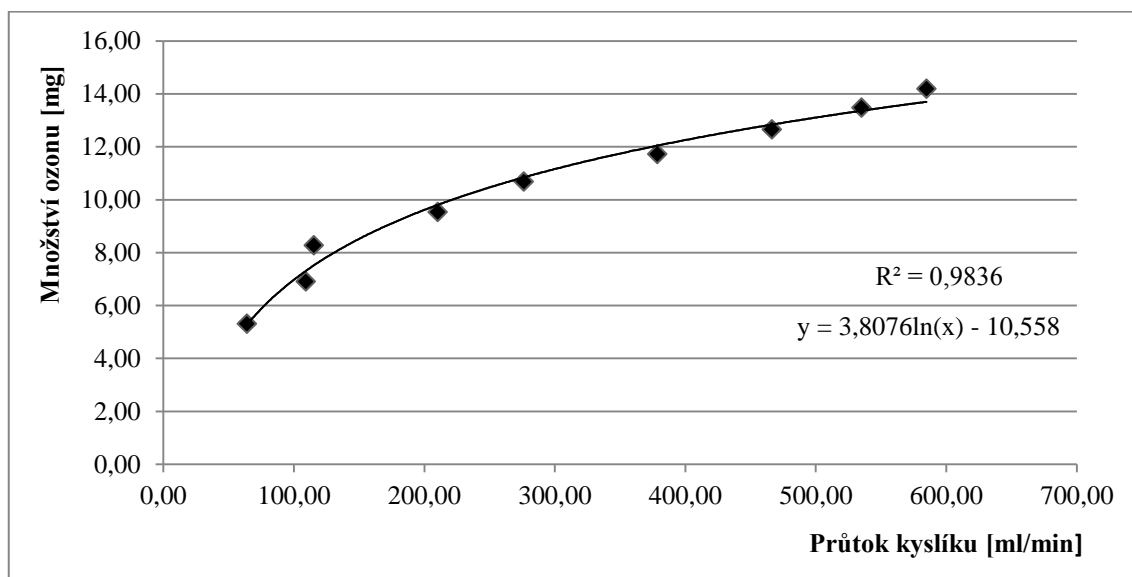


Další měření bylo provedeno pro stejnou sestavu při napětí akumulátoru 6 V. Koncentrace použitého roztoku thiosíranu sodného byla taktéž $c = 0,047 \text{ mol/l}$

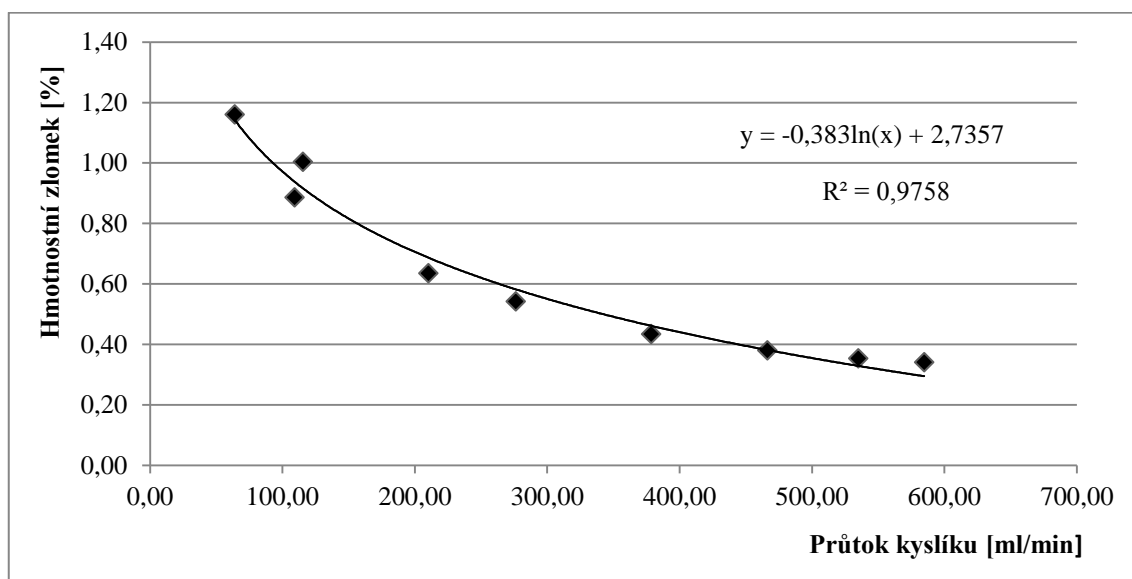
Tabulka 8 Výsledky pro induktor a sérii tří trubic (A), bez regulace průtoku, 6 V

Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	ϕ ozonu [%]
0	64,01	4,7	5,30	1,16	0,77
0,5	109,17	6,12	6,90	0,89	0,59
1	115,42	7,33	8,27	1,00	0,67
1,5	210,23	8,45	9,53	0,64	0,42
2	276,24	9,47	10,68	0,54	0,36
2,5	378,58	10,39	11,72	0,43	0,29
3	466,30	11,21	12,64	0,38	0,25
3,5	535,00	11,94	13,47	0,35	0,23
4	584,80	12,58	14,19	0,34	0,23

Graf 7 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 6 V



Graf 8 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 6 V



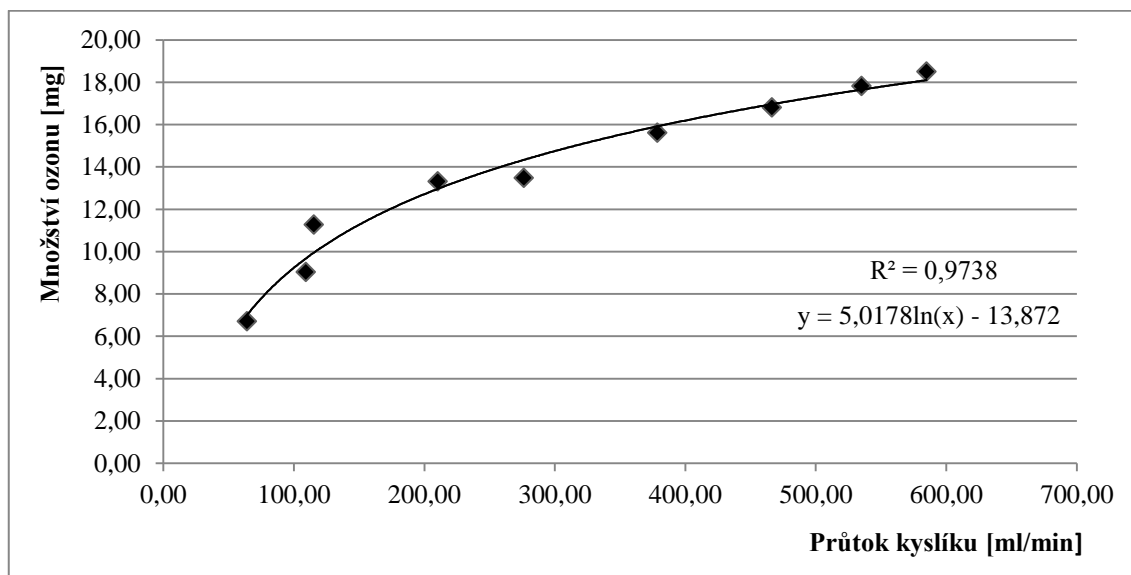
Již v tuto chvíli si můžeme všimnout jistého trendu, který se při měřeních objevuje. Se vzrůstajícím napětím vloženým z akumulátoru na Ruhmkorffův induktor dochází ke zvýšené produkci ozonu. Tento trend se objevuje i u dalšího měření při napětí 7,2 V. Tato hodnota však již nemohla být dále překročena, neboť induktor pracuje při maximálním vloženém napětí 8 V a akumulátor je možno odvětvit vždy o 1,2 V na obě strany.

Nakonec bylo testování realizováno při vloženém napětí z akumulátoru 7,2 V. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v tabulce 8 a grafech 9 a 10. Koncentrace roztoku thiosíranu sodného byla shodná s předchozími měřeními, tedy $c = 0,047 \text{ mol/l}$.

Tabulka 9 Výsledky pro induktor a sérii tří trubic (A), bez regulace průtoku, 7,2 V

Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [ml]	w ozonu [%]	ϕ ozonu [%]
0	64,01	5,95	6,71	1,47	0,98
0,5	109,17	8,01	9,04	1,16	0,77
1	115,42	10	11,28	1,37	0,91
1,5	210,23	11,8	13,31	0,89	0,59
2	276,24	11,95	13,48	0,68	0,46
2,5	378,58	13,84	15,61	0,58	0,38
3	466,30	14,9	16,81	0,50	0,34
3,5	535,00	15,8	17,82	0,47	0,31
4	584,80	16,4	18,50	0,44	0,30

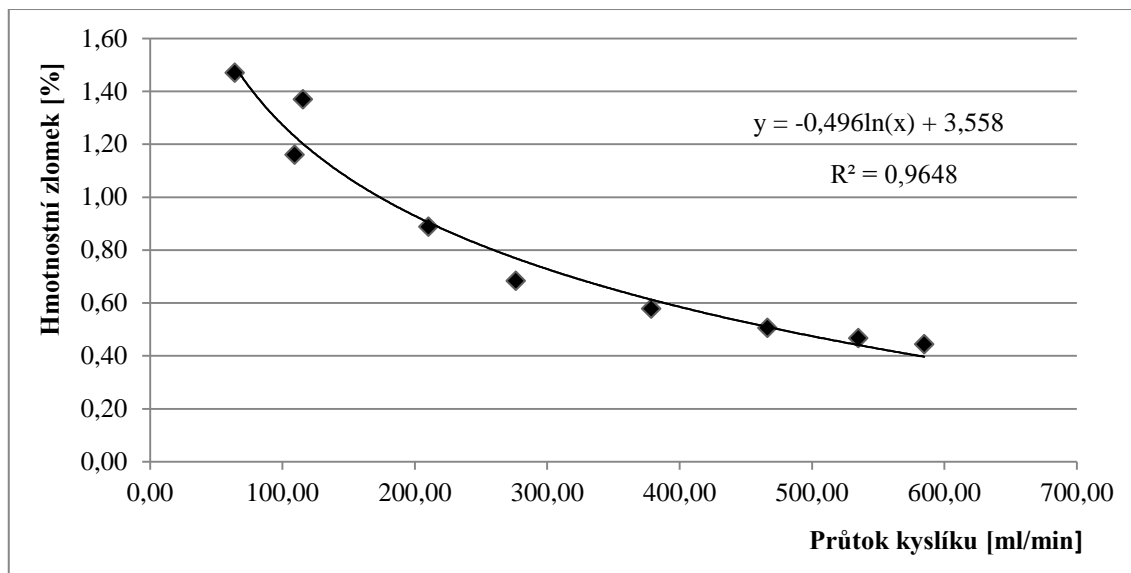
Graf 9 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 7,2 V



Pokud bychom porovnali efektivitu testovaného systému při různých napětích vedených z akumulátoru, můžeme si všimnout, že množství vznikajícího ozonu je vyšší, pokud je toto napětí větší. Ostatní parametry ozonizátoru zůstaly shodné s předchozím

měření. Je tedy zřejmé, že vložené napětí z akumulátoru na Ruhmkorffův induktor má vliv na množství vznikajícího ozonu.

Graf 10 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 7,2 V

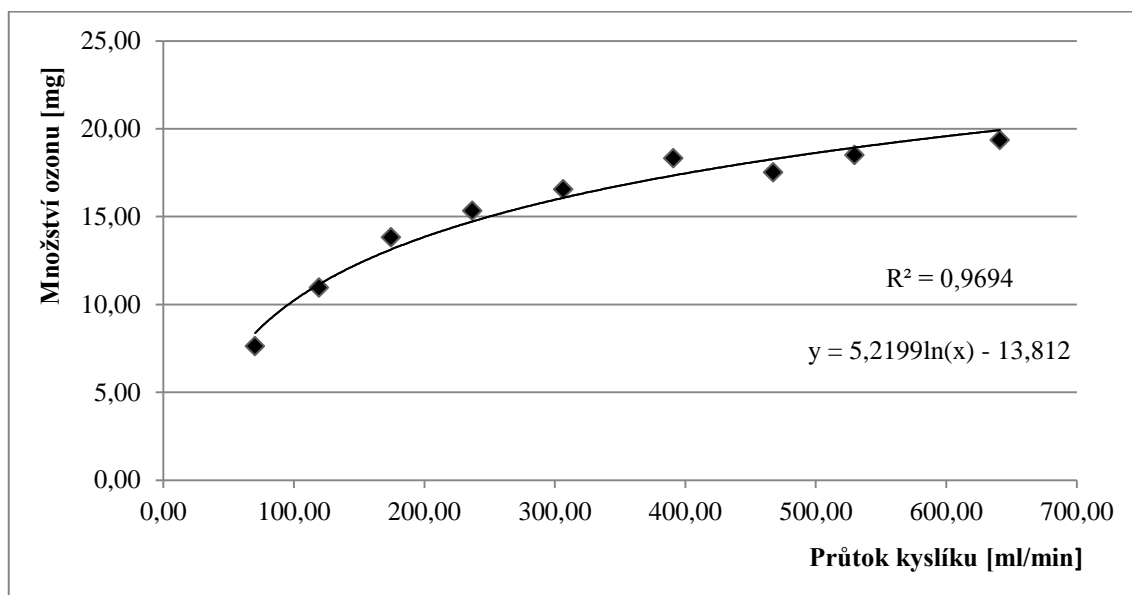


Stejná sestava ozonizátoru, tedy Ruhmkorffův induktor (obr. 15) a série tří trubic (A) (obr. 9), byla také otestována po zapojení regulátoru tlaku (obr. 7). Pro toto měření je tedy platná kalibrační křivka zobrazená v kapitole 3.1 na grafu 2. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v tabulce 10 a grafech 11 a 12.

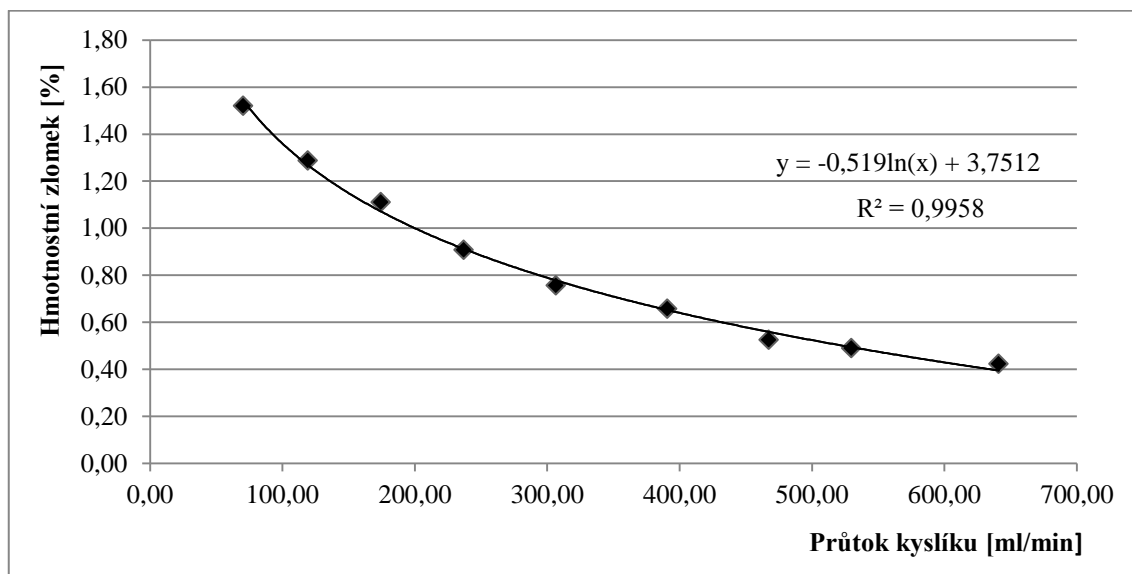
Tabulka 10 Výsledky pro induktor a sérii tří trubic (A), po regulaci průtoku, 6 V

Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	70,19	6,93	7,62	1,52	1,01
0,5	119,24	9,97	10,96	1,29	0,86
1	174,37	12,57	13,82	1,11	0,74
1,5	236,87	13,95	15,33	0,91	0,60
2	306,44	15,05	16,54	0,76	0,50
2,5	390,79	16,66	18,31	0,66	0,44
3	467,29	15,93	17,51	0,52	0,35
3,5	529,72	16,82	18,49	0,49	0,33
4	641,03	17,6	19,35	0,42	0,28

Graf 11 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), po regulaci průtoku, 6 V



Graf 12 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), po regulaci průtoku, 6 V



Z výsledků tohoto měření je zřejmé, že zapojení regulátoru tlaku se na sledování provozu ozonizátoru projeví příznivě. Hlavním důvodem tohoto trendu je fakt, že průtoky kyslíku naměřené po zapojení regulátoru tlaku jsou přesnější. Koncentrace použitého roztoku thiosíranu sodného byla $c = 0,0458 \text{ mol/l}$.

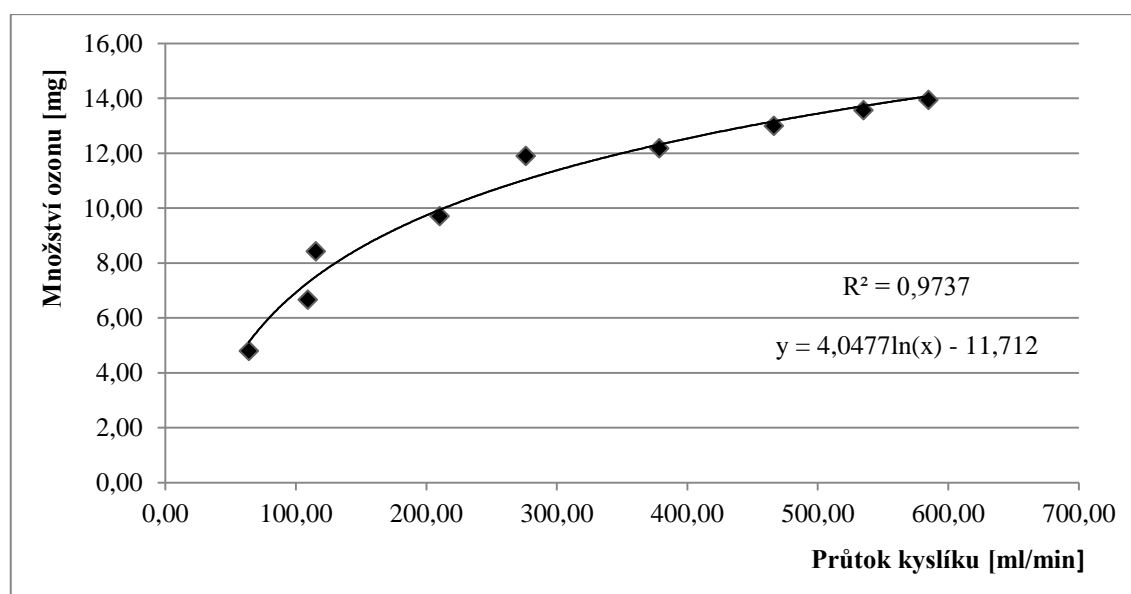
3.3.2 Ruhmkorffův induktor a trubice odlišné konstrukce

Jako další testovaný systém byla použita kombinace Ruhmkorffova induktoru (obr. 15) a jedné trubice odlišné konstrukce (B) (obr. 12). Výsledky pro hodnotu napětí 4,8 V jsou uvedeny v tabulce 11 a grafech 13 a 14.

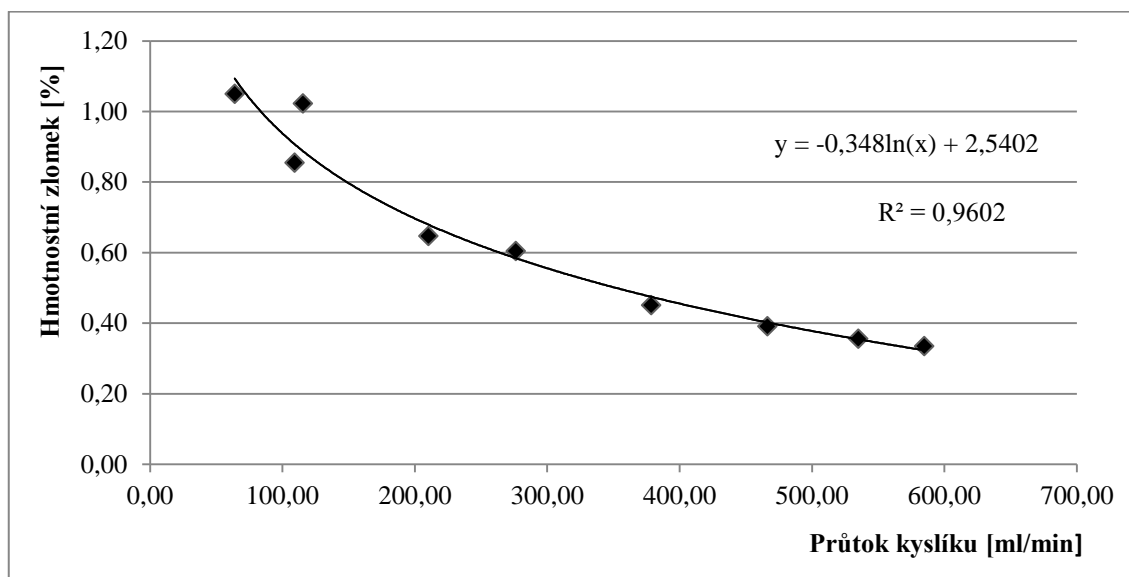
Tabulka 11 Výsledky pro induktor a trubici odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 4,8 V

Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	64,01	4,25	4,79	1,05	0,70
0,5	109,17	5,9	6,66	0,85	0,57
1	115,42	7,47	8,43	1,02	0,68
1,5	210,23	8,6	9,70	0,65	0,43
2	276,24	10,55	11,90	0,60	0,40
2,5	378,58	10,8	12,18	0,45	0,30
3	466,30	11,52	12,99	0,39	0,26
3,5	535,00	12,03	13,57	0,36	0,24
4	584,80	12,36	13,94	0,33	0,22

Graf 13 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 4,8 V



Graf 14 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 4,8 V



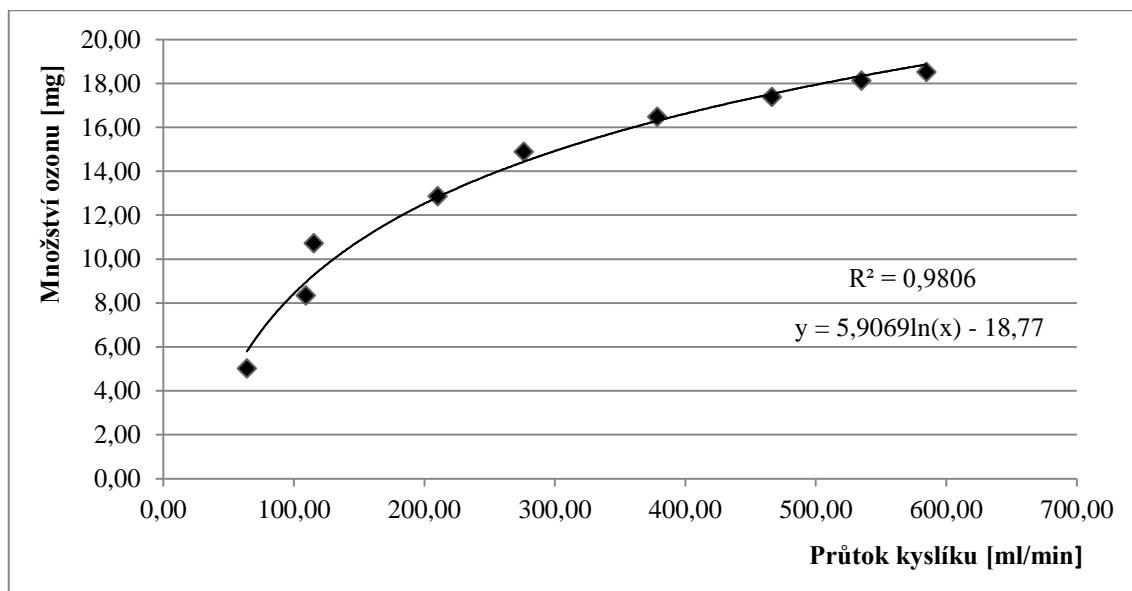
Z porovnání grafů 13 a 4 je zřejmé, že tato kombinace zdroje vysokého napětí a ozonizační trubice byla za těchto podmínek výhodnější nežli předchozí (série tři trubic, A). Množství vznikajícího ozonu je přibližně dvojnásobné oproti předchozí sestavě při stejném vloženém napětí. Koncentrace použitého roztoku thiosíranu sodného byla $c = 0,047 \text{ mol/l}$. Toto měření bylo opět realizováno u tří možných napětí vložených na induktor.

Tabulka 12 Výsledky pro induktor a trubici odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 6 V

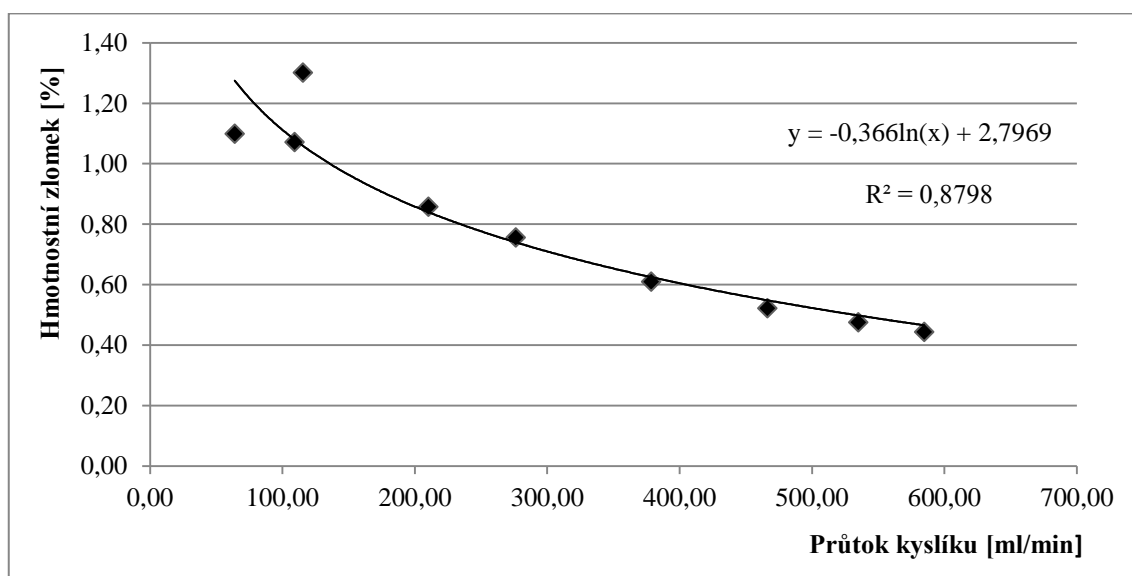
Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	ϕ ozonu [%]
0	64,01	4,45	5,02	1,10	0,73
0,5	109,17	7,4	8,35	1,07	0,71
1	115,42	9,5	10,72	1,30	0,87
1,5	210,23	11,4	12,86	0,86	0,57
2	276,24	13,2	14,89	0,76	0,50
2,5	378,58	14,6	16,47	0,61	0,41
3	466,30	15,4	17,37	0,52	0,35
3,5	535,00	16,07	18,13	0,47	0,32
4	584,80	16,41	18,51	0,44	0,30

Následně byla shodná kombinace trubice a zdroje vysokého napětí testována při vloženém napětí 6 V na induktor (tabulka 12, grafy 15 a 16). Koncentrace použitého roztoku thiosíranu sodného byla v tomto případě $c = 0,047 \text{ mol/l}$.

Graf 15 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 6 V



Graf 16 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 6 V



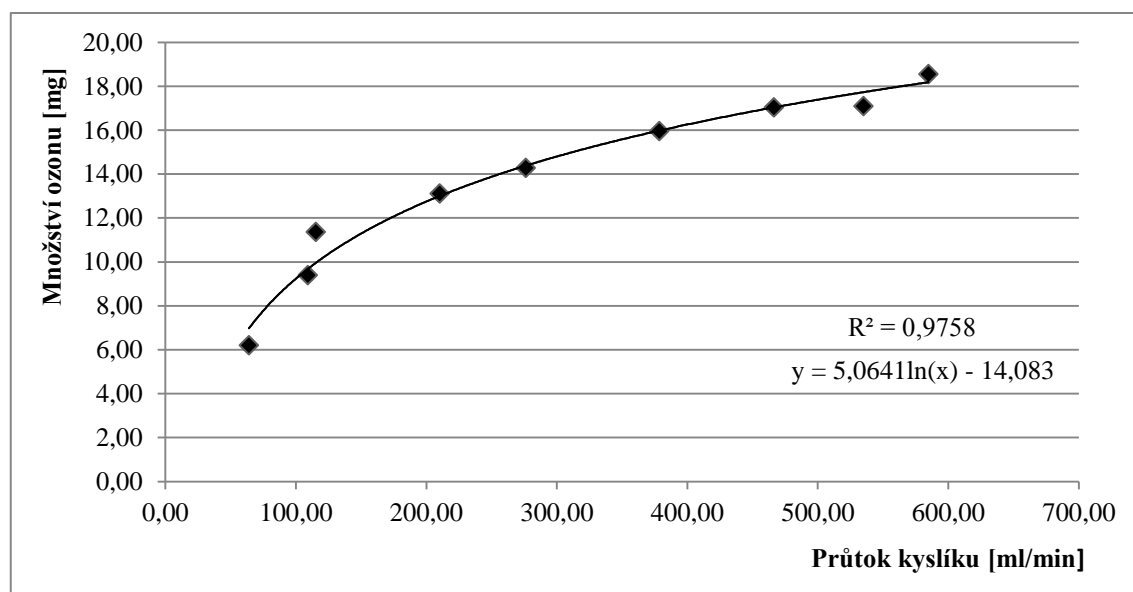
Výsledky tohoto měření jsou vcelku překvapivé. Dle výsledků testování této dané kombinace zdroje a trubice při napětí z akumulátoru 4,8 V, bychom i v tomto

případě očekávali, že množství vznikajícího ozonu bude výrazně větší, než jak tomu bylo při kombinaci induktoru a série tří trubic. Ukazuje se však, že ozonu vzniká téměř stejně, případně o něco méně.

Tabulka 13 Výsledky pro induktor a trubici odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 7,2 V

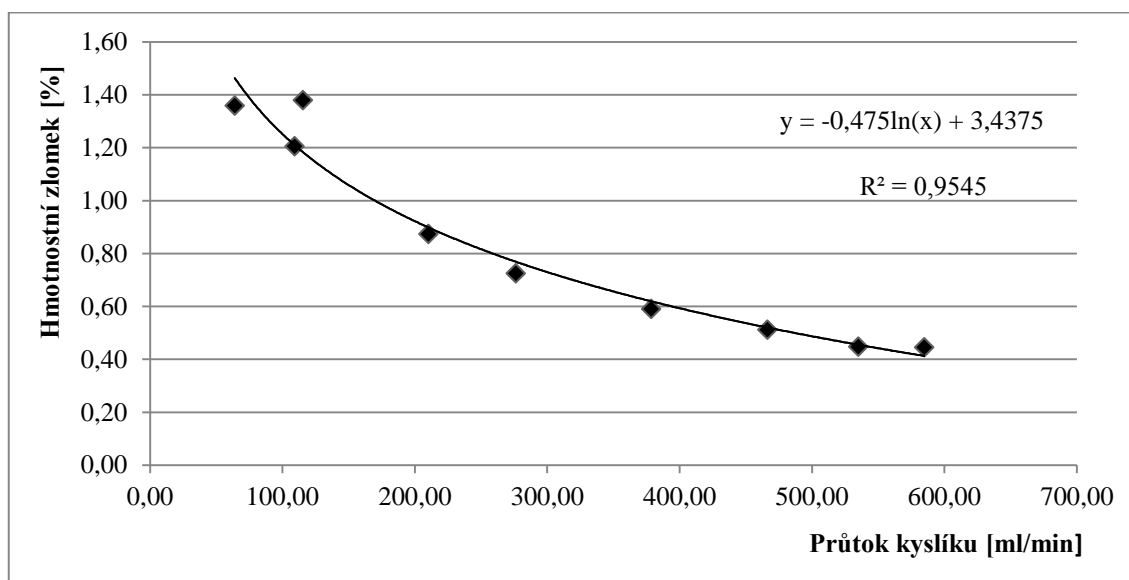
Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	64,01	5,5	6,20	1,36	0,90
0,5	109,17	8,32	9,38	1,20	0,80
1	115,42	10,07	11,36	1,38	0,92
1,5	210,23	11,62	13,11	0,87	0,58
2	276,24	12,65	14,27	0,72	0,48
2,5	378,58	14,14	15,95	0,59	0,39
3	466,30	15,1	17,03	0,51	0,34
3,5	535,00	15,15	17,09	0,45	0,30
4	584,80	16,44	18,54	0,44	0,30

Graf 17 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 7,2 V



Nakonec byla testována ozonizační trubice odlišné konstrukce ve spojení s Ruhmkorffovým induktorem při vloženém napětí 7,2 V z akumulátoru. Výsledky jsou znázorněny v tabulce 13 a grafech 17 a 18. Koncentrace použitého roztoku thiosíranu byla opět $c = 0,047 \text{ mol/l}$.

Graf 18 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 7,2 V



Výsledky pro kombinaci trubice s odlišnou konstrukcí a induktor při vloženém napětí 7,2 V jsou obdobné jako při 6 V. Množství ozonu je srovnatelné, v některých případech o něco málo menší, než u série tří trubic. Je tedy pravděpodobné, že se celkovému trendu vymyká měření první, tedy při 4,8 V, které vychází výhodněji pro tuto kombinaci oproti sérii trubic.

3.3.3 Vysokonapěťový komerční transformátor a trubice odlišné konstrukce

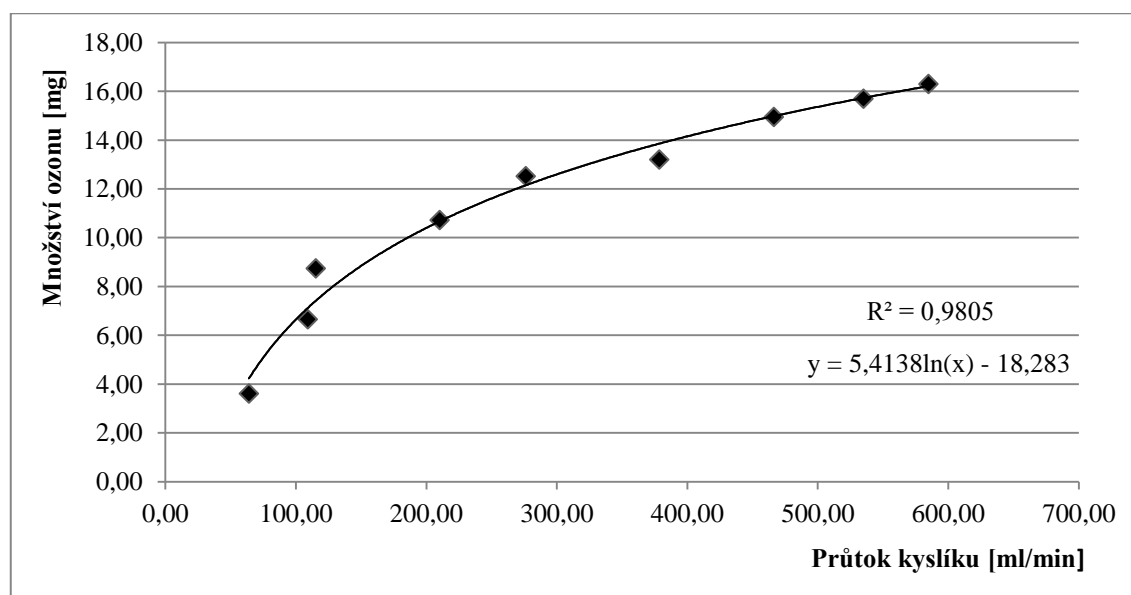
Jako další možnost k testování byla navržena kombinace trubice odlišné konstrukce (B) (obr. 12) spolu s komerčně užívaným vysokonapěťovým transformátorem (obr. 16). Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v tabulce 14 a na grafech 19 a 20. Použitý roztok thiosíranu sodného měl koncentraci $c = 0,047 \text{ mol/l}$.

Finální množství vyprodukovaného ozonu systémem trubice s odlišnou konstrukcí a komerčním vysokonapěťovým transformátorem není výrazně vysoké. Zcela jiná byla situace při testování kombinace transformátoru se sérií tří trubic, kdy byla produkce ozonu velmi vysoká.

Tabulka 14 Výsledky pro transformátor a trubici odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku

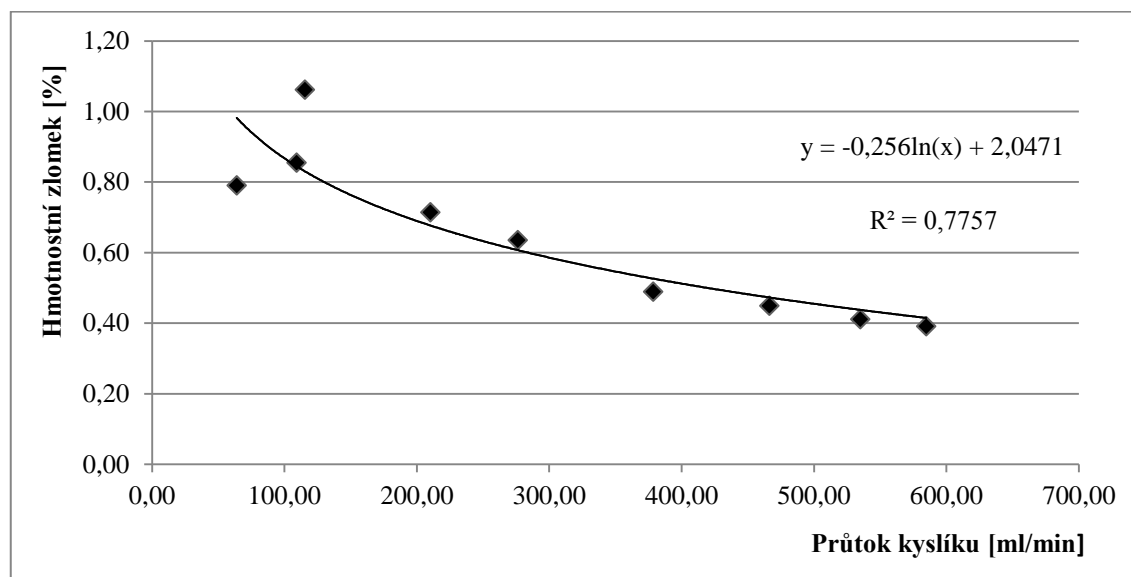
Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	64,01	3,2	3,61	0,79	0,53
0,5	109,17	5,9	6,66	0,85	0,57
1	115,42	7,75	8,74	1,06	0,71
1,5	210,23	9,5	10,72	0,71	0,48
2	276,24	11,1	12,52	0,63	0,42
2,5	378,58	11,7	13,20	0,49	0,33
3	466,30	13,25	14,95	0,45	0,30
3,5	535,00	13,91	15,69	0,41	0,27
4	584,80	14,45	16,30	0,39	0,26

Graf 19 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u transformátoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku



Bohužel nebylo možno pokračovat v experimentech zahrnujících vysokonapěťový komerční transformátor, jelikož došlo k jeho závažné poruše, kterou nebylo možné odstranit. Tento transformátor byl původně používán na zapalování plynů v kotli a nebyl pravděpodobně konstruován na dlouhodobý provoz.

Graf 20 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u transformátoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku



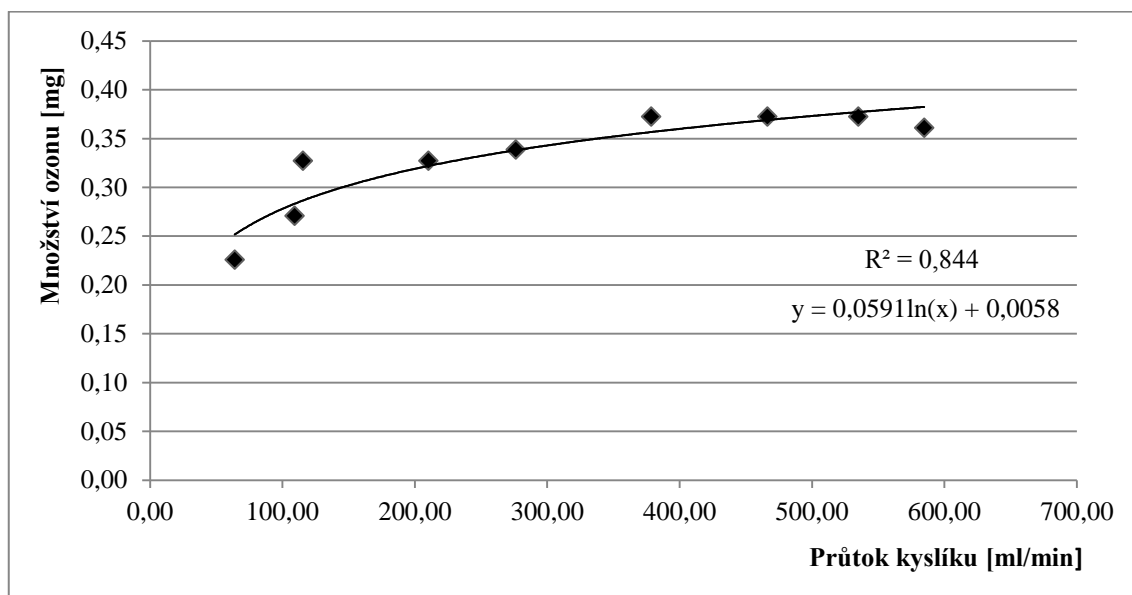
3.3.4 Zdroj z automobilové cívky a trubice odlišné konstrukce

Dalším navrženým systémem ozonizátoru byla kombinace zdroje z automobilové zapalovací cívky (obr. 18) a trubice odlišné konstrukce (B) (obr. 12). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 15 a na grafech 21 a 22.

Tabulka 15 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a trubici odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku

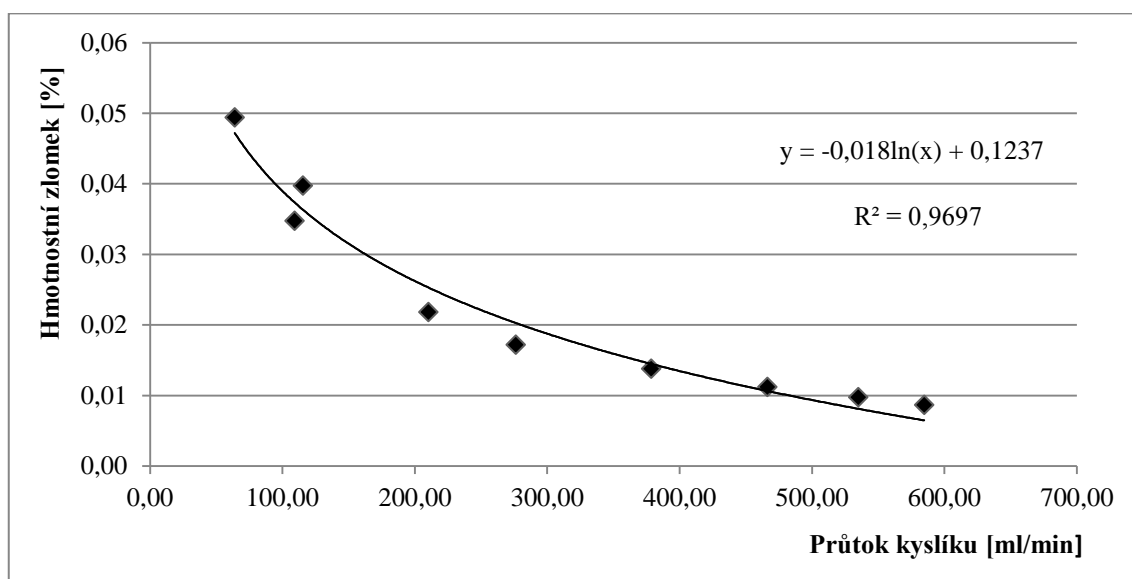
Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	64,01	0,2	0,23	0,05	0,03
0,5	109,17	0,24	0,27	0,03	0,02
1	115,42	0,29	0,33	0,04	0,03
1,5	210,23	0,29	0,33	0,02	0,01
2	276,24	0,3	0,34	0,02	0,01
2,5	378,58	0,33	0,37	0,01	0,01
3	466,30	0,33	0,37	0,01	0,01
3,5	535,00	0,33	0,37	0,01	0,01
4	584,80	0,32	0,36	0,01	0,01

Graf 21 **Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku**



Z tabulky 15 je patrné, že kombinace zdroje vysokého napětí zkonstruovaného z automobilové zapalovací cívky a trubice odlišné konstrukce není vůbec výhodná. Množství produkovaného ozonu jsou velmi malá, což komplikuje i samotný proces jeho stanovení. Po tomto experimentu byla tedy zahrnuta možnost kombinovat tento zdroj napětí se stávajícími trubicemi a byla sestavena nová modifikovaná trubice. Koncentrace roztoku thiosíranu sodného byla $c = 0,047 \text{ mol/l}$.

Graf 22 **Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku**



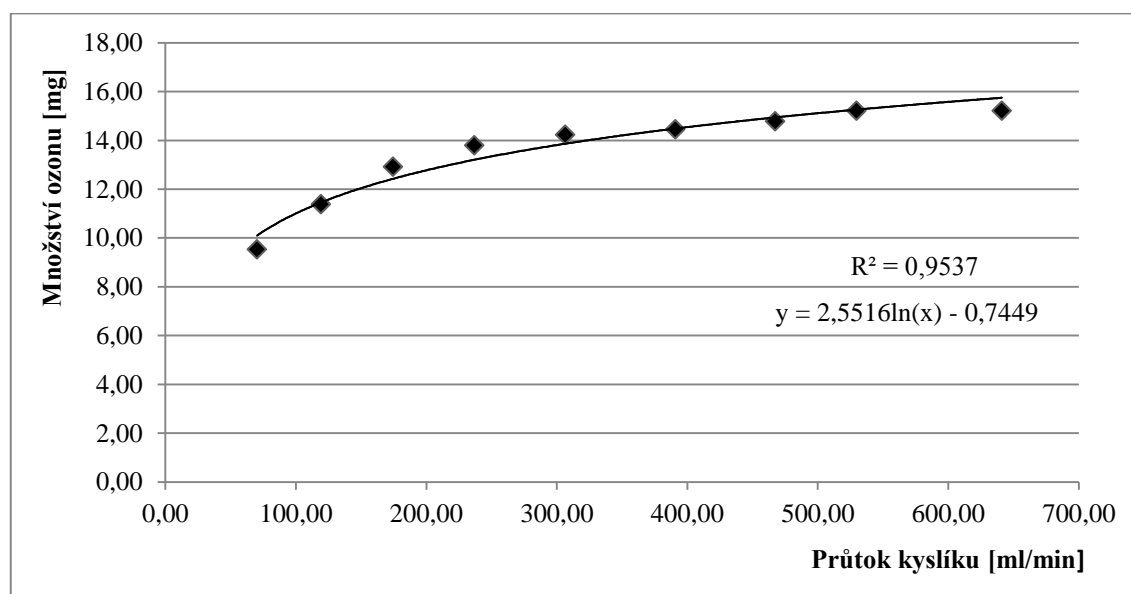
3.3.5 Ruhmkorffův induktor a modifikovaná trubice

Na další měření byla již použita zcela nová modifikovaná trubice (C) (obr. 14). Tato trubice umožňuje velmi jednoduše měnit vnitřní elektrodu (hlazenku) a tím i podmínky pro produkci ozonu. Výsledky trubice s nejkratší elektrodou (11 cm) jsou uvedeny v tabulce 16 a grafech 23 a 24.

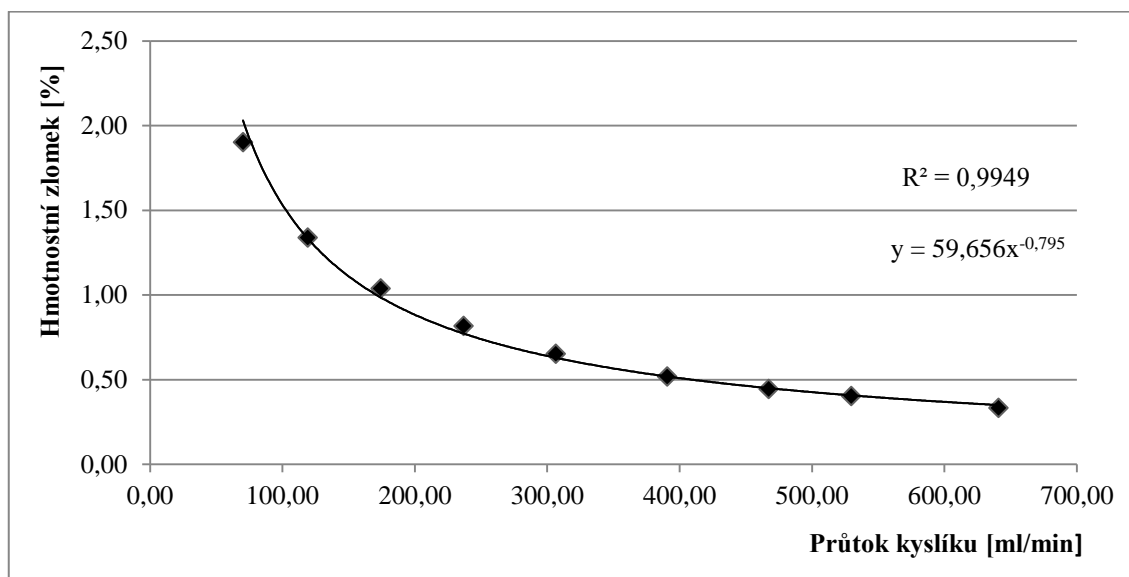
Tabulka 16 Výsledky pro induktor a modifikovanou trubicí (C) (elektroda 11 cm), po regulaci průtoku, 6 V

Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	70,19	8,7	9,52	1,90	1,27
0,5	119,24	10,4	11,38	1,34	0,89
1	174,37	11,8	12,91	1,04	0,69
1,5	236,87	12,6	13,79	0,82	0,54
2	306,44	13	14,23	0,65	0,43
2,5	390,79	13,2	14,45	0,52	0,34
3	467,29	13,5	14,77	0,44	0,29
3,5	529,72	13,9	15,21	0,40	0,27
4	641,03	13,9	15,21	0,33	0,22

Graf 23 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 11 cm), po regulaci průtoku, 6 V



Graf 24 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 11 cm), po regulaci průtoku, 6 V



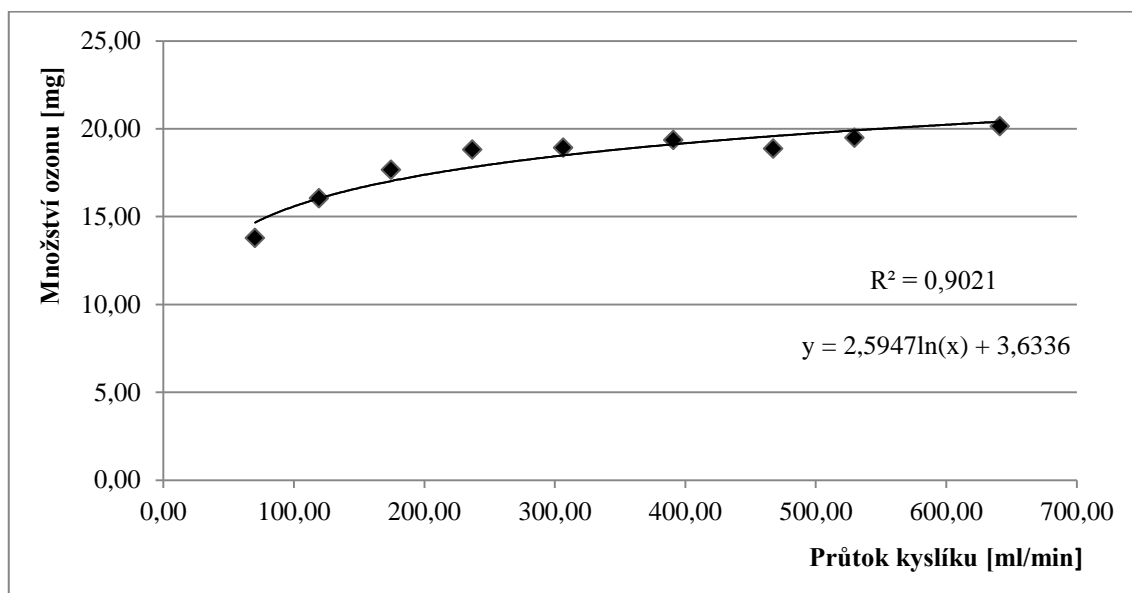
Toto měření a všechna měření následující byla provedena již po regulaci průtoku, takže jim odpovídá kalibrační křivka z grafu 2. Zároveň napětí vedené z akumulátoru bylo 6 V. Koncentrace použitého roztoku thiosíranu byla $c = 0,0456$ mol/l.

Dále byla testována stejná sestava ozonizátoru s elektrodou o délce 22 cm (tabulka 17, grafy 25, 26).

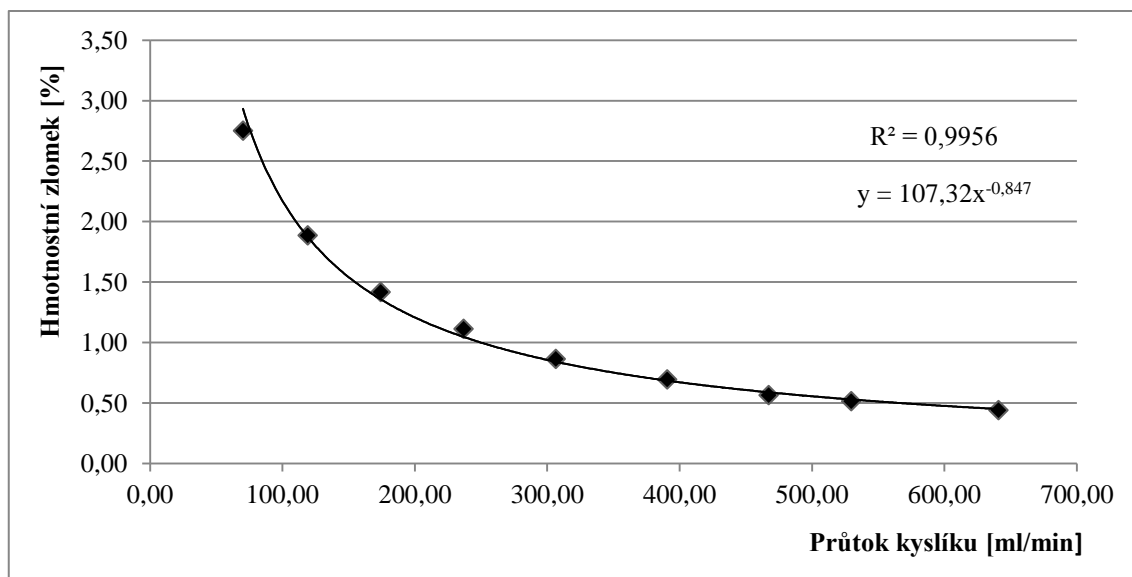
Tabulka 17 Výsledky pro induktor a modifikovanou trubicí (C) (elektroda 22 cm), po regulaci průtoku, 6 V

Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	ϕ ozonu [%]
0	70,19	12,46	13,79	2,75	1,83
0,5	119,24	14,5	16,04	1,88	1,26
1	174,37	15,96	17,66	1,42	0,94
1,5	236,87	17	18,81	1,11	0,74
2	306,44	17,1	18,92	0,86	0,58
2,5	390,79	17,5	19,36	0,69	0,46
3	467,29	17,05	18,86	0,57	0,38
3,5	529,72	17,6	19,47	0,51	0,34
4	641,03	18,2	20,14	0,44	0,29

Graf 25 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 22 cm), po regulaci průtoku, 6 V



Graf 26 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 22 cm), po regulaci průtoku, 6 V



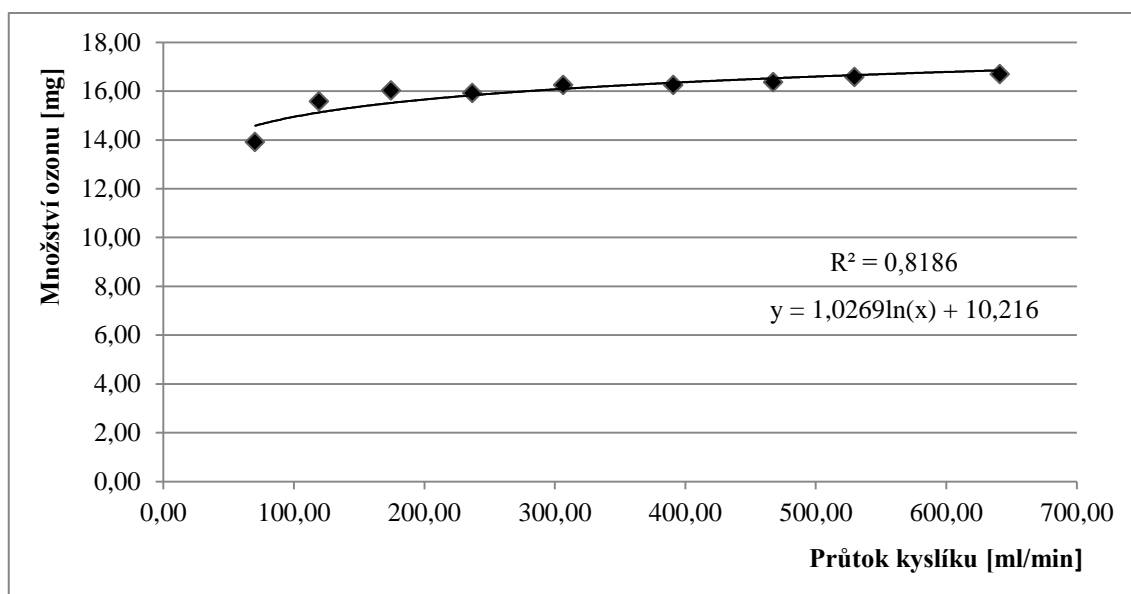
Z tabulek 16 a 17 je patrné, že délka vnitřní elektrody má významný vliv na množství vznikajícího ozonu. Současně také grafům závislosti hmotnostního zlomku na průtoku kyslíku při této kombinaci zdroje a trubice lépe odpovídá mocninová závislost, na rozdíl od předchozích případů, kde se závislosti jeví jako logaritmické. Při stanovování ozonu byl použit roztok thiosíranu sodného o koncentraci $c = 0,0461 \text{ mol/l}$.

Pro následné testování byly použity dvě hlazenky najednou (22 + 11 cm), tedy celková délka vnitřní elektrody byla 33 cm. Výsledky jsou v tabulce 18 a grafech 27 a 28.

Tabulka 18 Výsledky pro induktor a modifikovanou trubici (C) (elektroda 22 + 11 cm), po regulaci průtoku, 6 V

Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	70,19	12,5	13,91	2,78	1,85
0,5	119,24	14	15,58	1,83	1,22
1	174,37	14,4	16,02	1,29	0,86
1,5	236,87	14,3	15,91	0,94	0,63
2	306,44	14,6	16,24	0,74	0,49
2,5	390,79	14,6	16,24	0,58	0,39
3	467,29	14,7	16,36	0,49	0,33
3,5	529,72	14,9	16,58	0,44	0,29
4	641,03	15	16,69	0,36	0,24

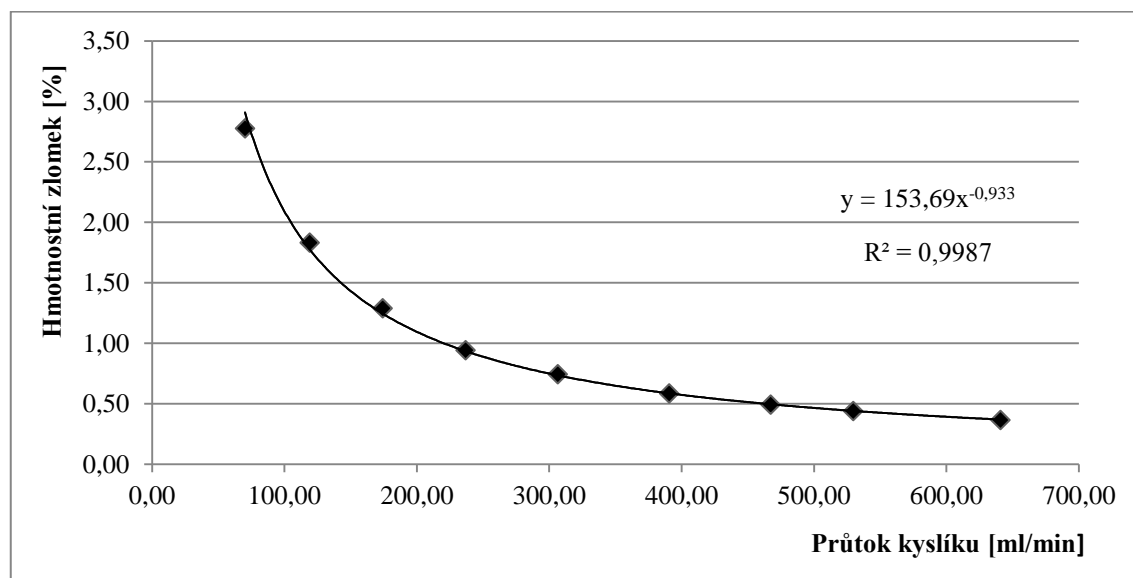
Graf 27 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 22 + 11 cm), po regulaci průtoku, 6 V



Tato kombinace, kdy byly použity dvě hlazenky současně, se nezdá být příliš výhodná. Ačkoli je zde vnitřní elektroda delší o 11 cm nežli v předchozím případě,

produkce ozonu je o něco málo nižší. Lze se domnívat, že vzniklá anomálie je způsobena nedokonalým kontaktem mezi elektrodami. Koncentrace použitého roztoku thiosíranu sodného byla $c = 0,0464 \text{ mol/l}$.

Graf 28 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 22 + 11 cm), po regulaci průtoku, 6 V



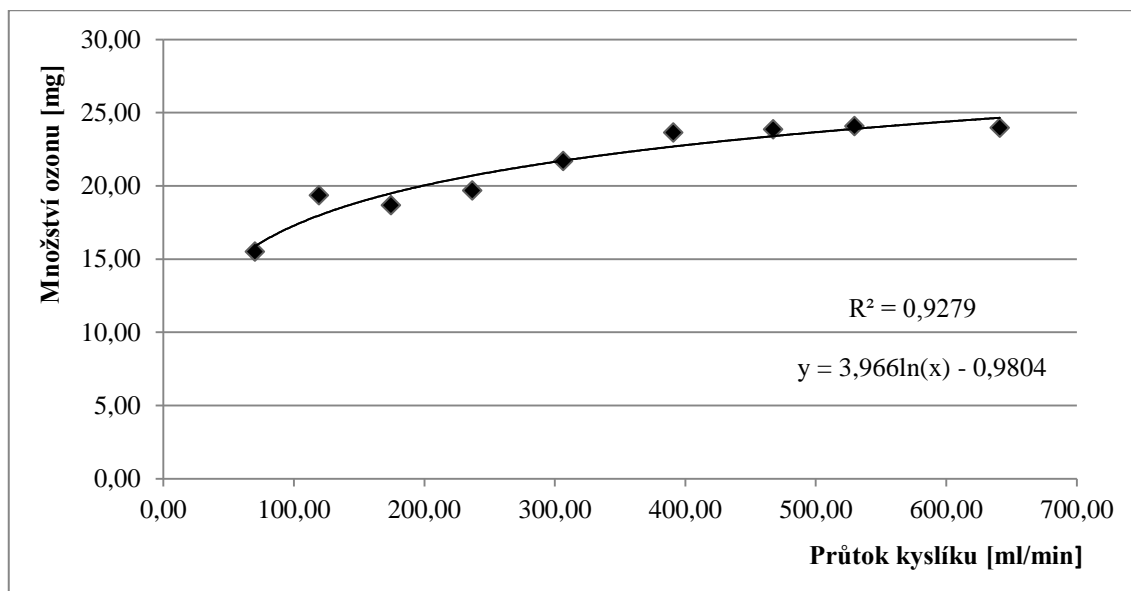
Jako poslední z této série byla testována trubice obsahující nejdelší hlazenku o délce 44 cm. Výsledky tohoto testování jsou uvedeny v tabulce 19 a grafech 29 a 30.

Tabulka 19 Výsledky pro induktor a modifikovanou trubicí (C) (elektroda 44 cm), po regulaci průtoku, 6 V

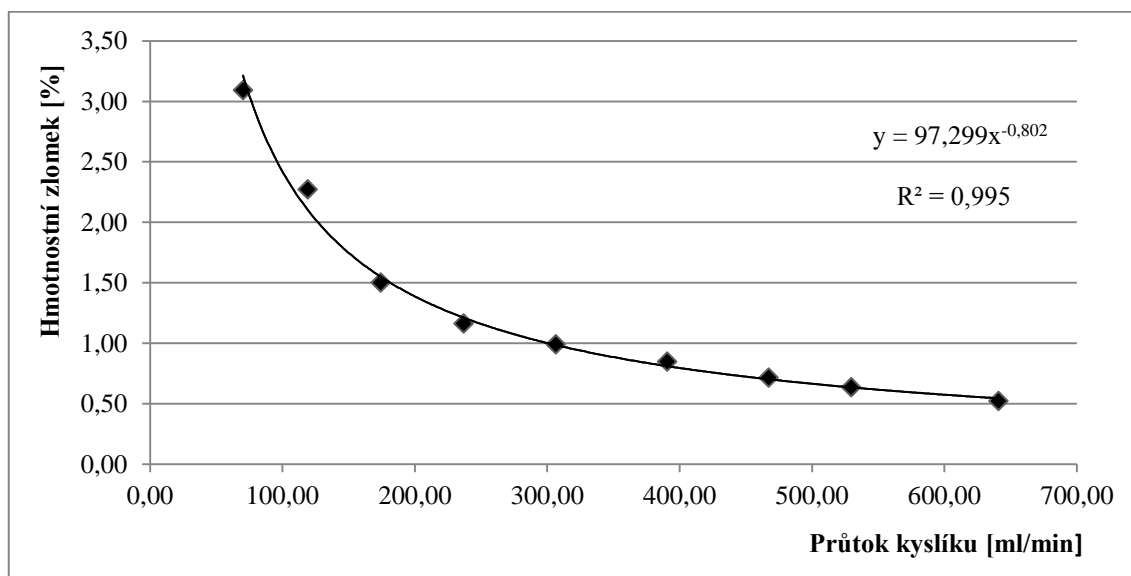
Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	70,19	14,1	15,50	3,09	2,06
0,5	119,24	17,6	19,35	2,27	1,51
1	174,37	17	18,69	1,50	1,00
1,5	236,87	17,9	19,68	1,16	0,77
2	306,44	19,73	21,69	0,99	0,66
2,5	390,79	21,5	23,63	0,85	0,56
3	467,29	21,7	23,85	0,72	0,48
3,5	529,72	21,9	24,07	0,64	0,42
4	641,03	21,8	23,96	0,52	0,35

Použití nejdelší hlazenky o délce 44 cm se zdá být velmi výhodné. Větší množství ozonu se pomocí ozonizátoru připravit nepodařilo. Pro stanovení byl použit roztok thiosíranu sodného o koncentraci $c = 0,0458 \text{ mol/l}$.

Graf 29 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 44 cm), po regulaci průtoku, 6 V



Graf 30 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 44 cm), po regulaci průtoku, 6 V



3.3.6 Zdroj z automobilové cívky a modifikovaná trubice

Jako další na řadě byla testována kombinace zdroje vysokého napětí z automobilové zapalovací cívky (obr. 18) a modifikované trubice (C) (obr. 14). Podmínky produkce ozonu byly opět měněny střídáním hlazenek různých délek jako vnitřních elektrod. Nejprve byl tento systém otestován pro nejkratší elektrodu (11 cm). Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v tabulce 20 a grafu 31.

Tabulka 20 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubicí (C) (elektroda 11 cm), po regulaci průtoku

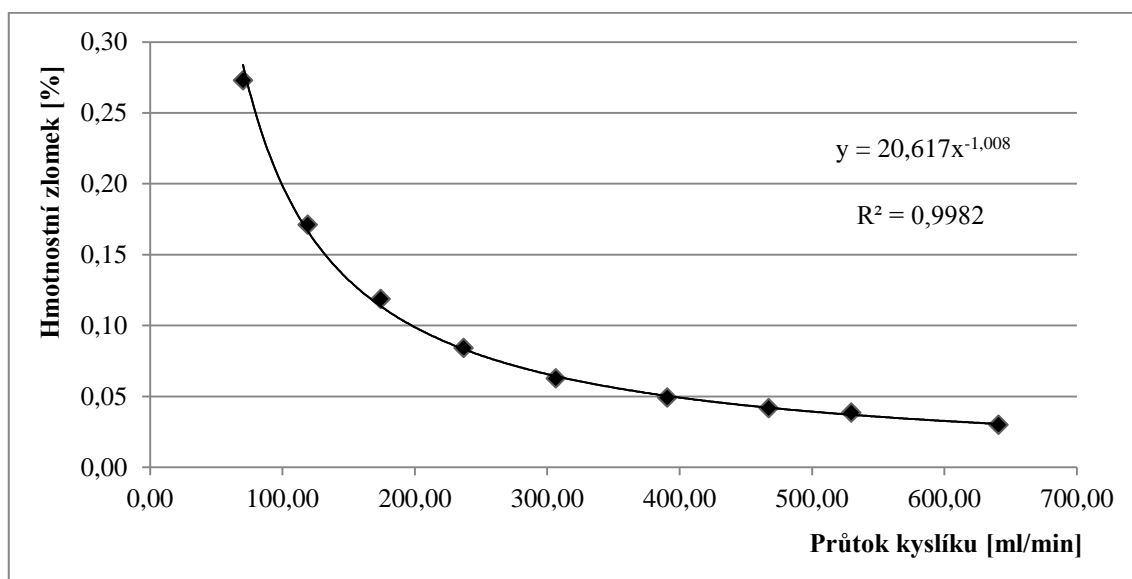
Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	70,19	1,25	1,37	0,27	0,18
0,5	119,24	1,33	1,46	0,17	0,11
1	174,37	1,35	1,48	0,12	0,08
1,5	236,87	1,3	1,42	0,08	0,06
2	306,44	1,25	1,37	0,06	0,04
2,5	390,79	1,25	1,37	0,05	0,03
3	467,29	1,27	1,39	0,04	0,03
3,5	529,72	1,33	1,46	0,04	0,03
4	641,03	1,25	1,37	0,03	0,02

V rámci tohoto měření se nepodařilo sestavit graf závislosti množství vznikajícího ozonu na průtoku kyslíku. Zcela uspokojivě se však podařilo vyjádřit křivku závislosti hmotnostního zlomku na průtoku kyslíku, která je uvedena v grafu 31.

Jako příčina nemožnosti sestavení grafu závislosti množství ozonu na průtoku se jeví chyba při měření. Z tabulky 20 je patrné, že množství vznikajícího ozonu je velmi malé a současně se se zvyšováním průtokem výrazně nemění. Jelikož se graf 31 znázorňující závislost hmotnostního zlomku na průtoku podařilo vyjádřit velmi dobře (toto nám značí hodnota spolehlivosti R^2), nebylo nakonec přistoupeno k opakovaní měření.

Použitý roztok thiosíranu sodného byl o koncentraci $c = 0,0456 \text{ mol/l}$.

Graf 31 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 cm), po regulaci průtoku

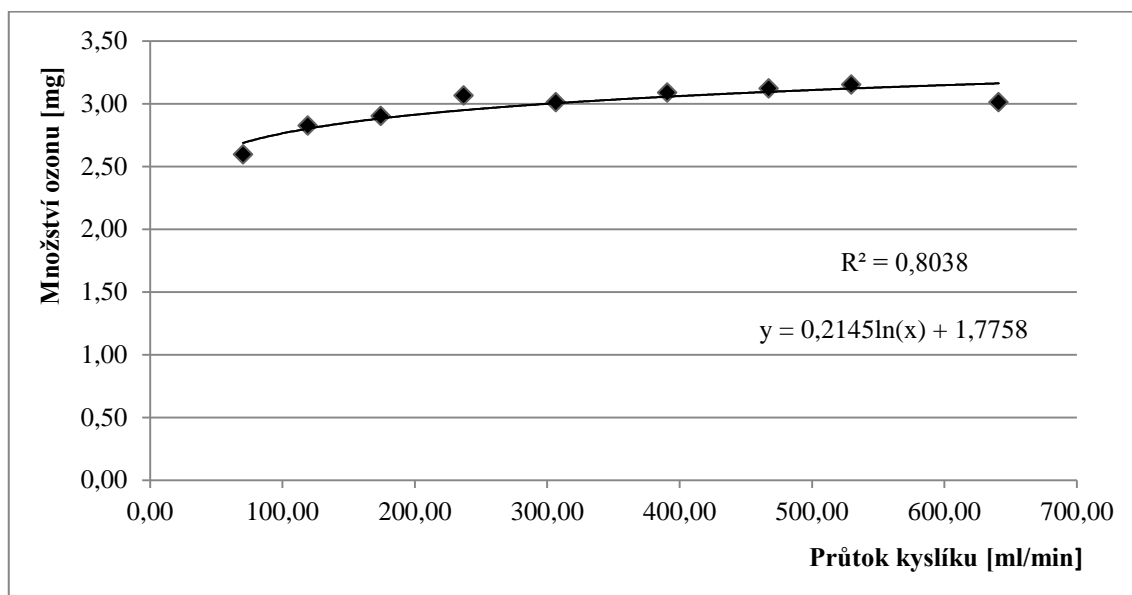


Dále byla testována trubice s délkou vnitřní elektrody 22 cm. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v tabulce 21 a grafech 32 a 33. Z grafu 32 vyplývá, že toto měření již proběhlo bez větších komplikací. Stejně jako u předchozích měření se zde objevuje logaritmická závislost mezi množstvím vznikajícího ozonu a průtokem kyslíku.

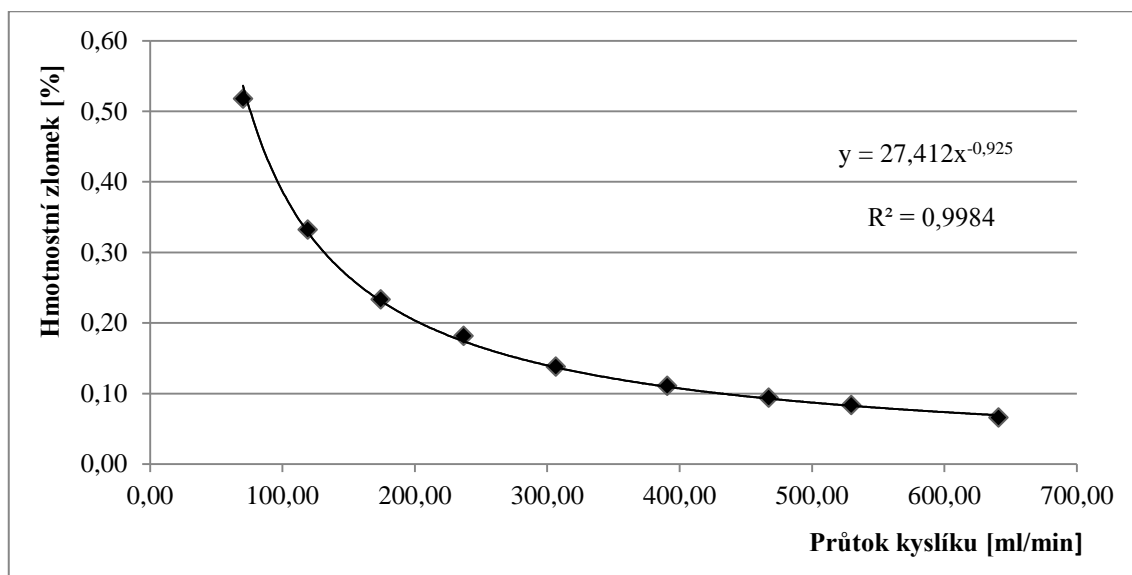
Tabulka 21 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubicí (C) (elektroda 22 cm), po regulaci průtoku

Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	70,19	2,37	2,59	0,52	0,34
0,5	119,24	2,58	2,82	0,33	0,22
1	174,37	2,65	2,90	0,23	0,16
1,5	236,87	2,8	3,06	0,18	0,12
2	306,44	2,75	3,01	0,14	0,09
2,5	390,79	2,82	3,09	0,11	0,07
3	467,29	2,85	3,12	0,09	0,06
3,5	529,72	2,88	3,15	0,08	0,06
4	641,03	2,75	3,01	0,07	0,04

Graf 32 **Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 22 cm), po regulaci průtoku**



Graf 33 **Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 22 cm), po regulaci průtoku**



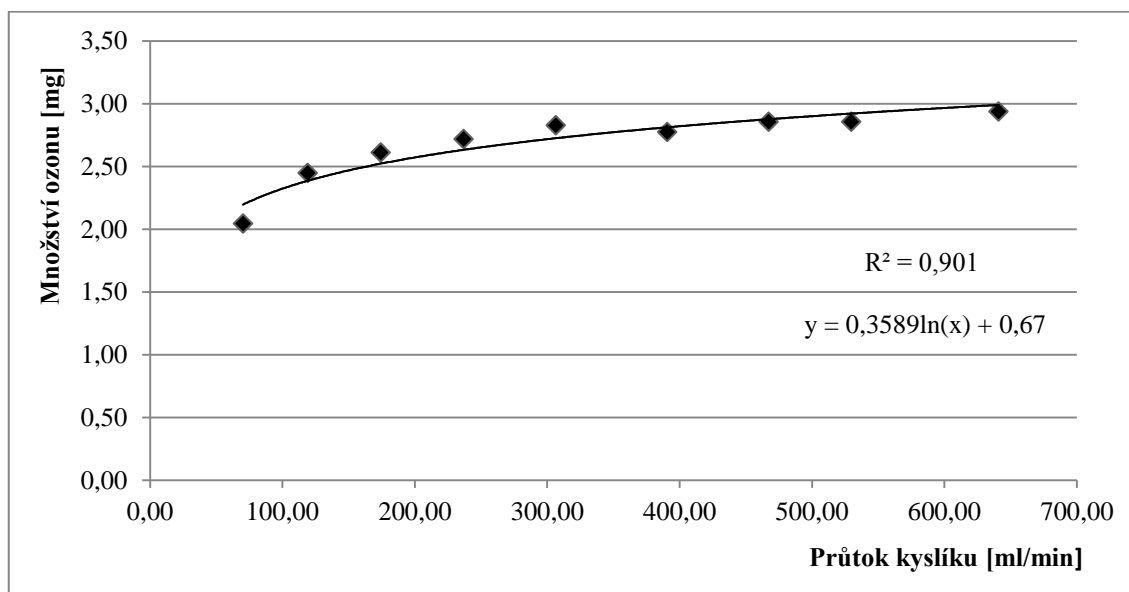
Při porovnání tabulek 20 a 21 můžeme vyvodit jednoduchý závěr, a to, že délka hlazenky ovlivňuje množství vznikajícího ozonu. Větší délka vnitřní elektrody zajistí vyšší produkci ozonu. Koncentrace použitého roztoku thiosíranu byla v tomto případě opět $c = 0,0456 \text{ mol/l}$.

Následovalo testování obdobného systému za použití dvou hlazenek najednou, a to o délce 11 a 22 cm. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 22 a grafech 34 a 35.

Tabulka 22 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubici (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku

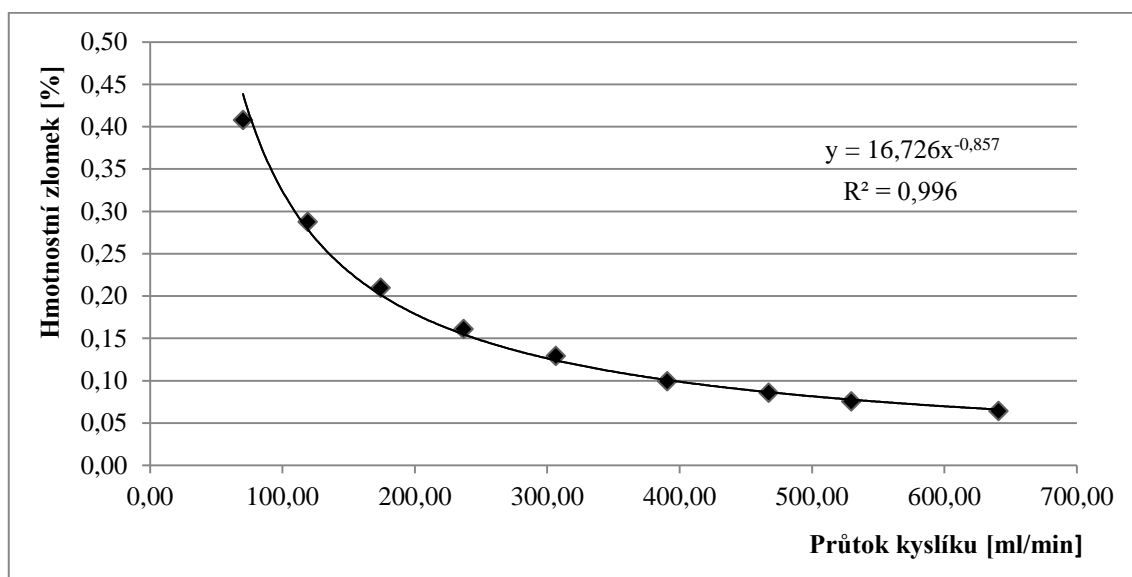
Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	70,19	1,88	2,04	0,41	0,27
0,5	119,24	2,25	2,45	0,29	0,19
1	174,37	2,4	2,61	0,21	0,14
1,5	236,87	2,5	2,72	0,16	0,11
2	306,44	2,6	2,83	0,13	0,09
2,5	390,79	2,55	2,77	0,10	0,07
3	467,29	2,625	2,85	0,09	0,06
3,5	529,72	2,625	2,85	0,08	0,05
4	641,03	2,7	2,94	0,06	0,04

Graf 34 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku



Toto měření opět proběhlo bez komplikací. Vcelku zarážející se zdá skutečnost, že ačkoli při tomto testování byla vnitřní elektroda delší nežli u předchozího, množství ozonu je nižší. Tento trend byl však již zaznamenán u podobného testování, při kombinaci Ruhmkorffova induktoru a modifikované trubice (kapitola 3.3.5). Roztok thiosíranu měl koncentraci $c = 0,0453 \text{ mol/l}$.

Graf 35 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku

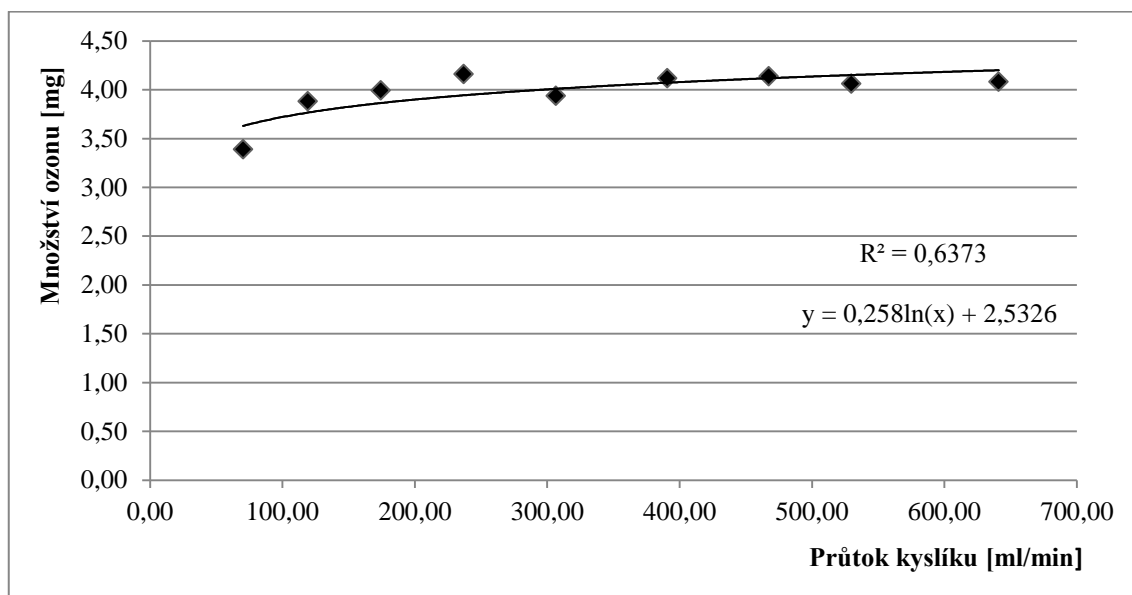


Posledním měřením v této sérii byla opět shodná sestava ozonizátoru při použití nejdelší hlazenky (44 cm). Výsledky jsou uvedeny dále, v tabulce 23 a grafech 36 a 37. Z tabulky 23 je patrné, že množství vznikajícího ozonu je při použití nejdelší hlazenky větší než při použití ostatních vnitřních elektrod. Koncentrace použitého roztoku thiosíranu byla $c = 0,0466 \text{ mol/l}$.

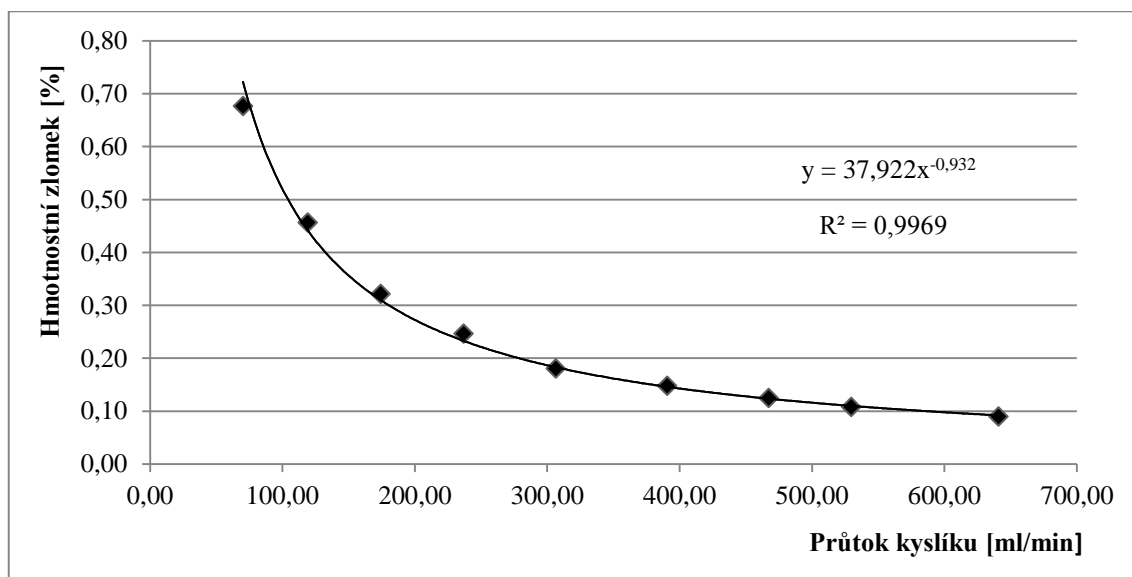
Tabulka 23 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubicí (C) (elektroda 44 cm), po regulaci průtoku

Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	ϕ ozonu [%]
0	70,19	3,03	3,39	0,68	0,45
0,5	119,24	3,47	3,88	0,46	0,30
1	174,37	3,57	3,99	0,32	0,21
1,5	236,87	3,72	4,16	0,25	0,16
2	306,44	3,52	3,94	0,18	0,12
2,5	390,79	3,68	4,12	0,15	0,10
3	467,29	3,7	4,14	0,12	0,08
3,5	529,72	3,63	4,06	0,11	0,07
4	641,03	3,65	4,08	0,09	0,06

Graf 36 **Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 44 cm), po regulaci průtoku**



Graf 37 **Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 44 cm), po regulaci průtoku**



3.3.7 Zdroj z automobilové cívky a modifikovaná trubice při změně frekvence

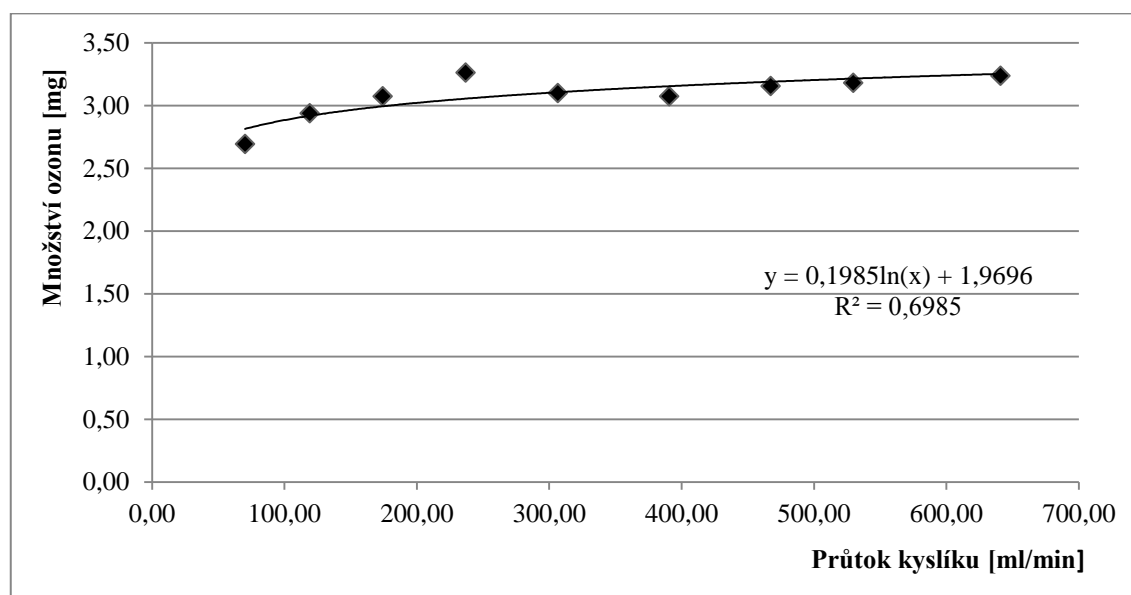
Jak již bylo zmíněno dříve v kapitole 2.5.3, zdroj vysokého napětí sestaven z automobilové zapalovací cívky (obr. 18) byl v průběhu experimentování upraven tak, aby bylo možné pomocí vložených kondenzátorů měnit funkční frekvenci tohoto zdroje. Všechna měření s tímto zdrojem, u kterých není uvedeno jinak, jsou při frekvenci 520,4

Hz. V rámci testování však bylo přistoupeno i k měření za nižších frekvencí. Prvním takovým příkladem bylo testování systému zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (hlazenka 11 + 22 cm) při frekvenci 25 Hz. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v tabulce 24 a grafech 38 a 39.

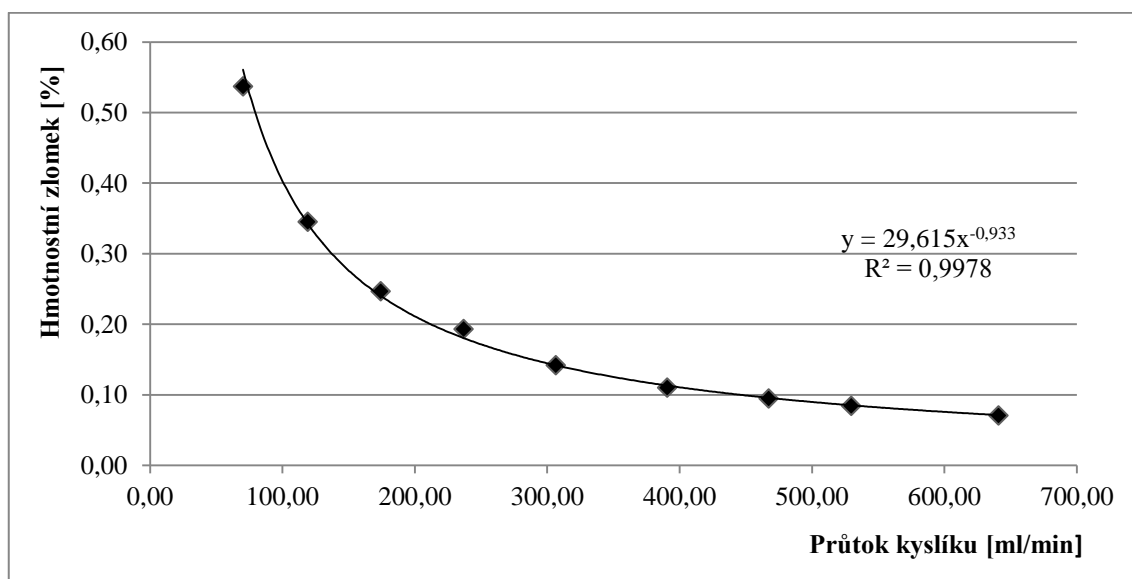
Tabulka 24 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubicí (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 25 Hz

Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [ml]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	70,19	2,48	2,69	0,54	0,36
0,5	119,24	2,70	2,94	0,34	0,23
1	174,37	2,83	3,07	0,25	0,16
1,5	236,87	3,00	3,26	0,19	0,13
2	306,44	2,85	3,10	0,14	0,09
2,5	390,79	2,83	3,07	0,11	0,07
3	467,29	2,90	3,15	0,09	0,06
3,5	529,72	2,93	3,18	0,08	0,06
4	641,03	2,98	3,23	0,07	0,05

Graf 38 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 25 Hz



Graf 39 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 25 Hz



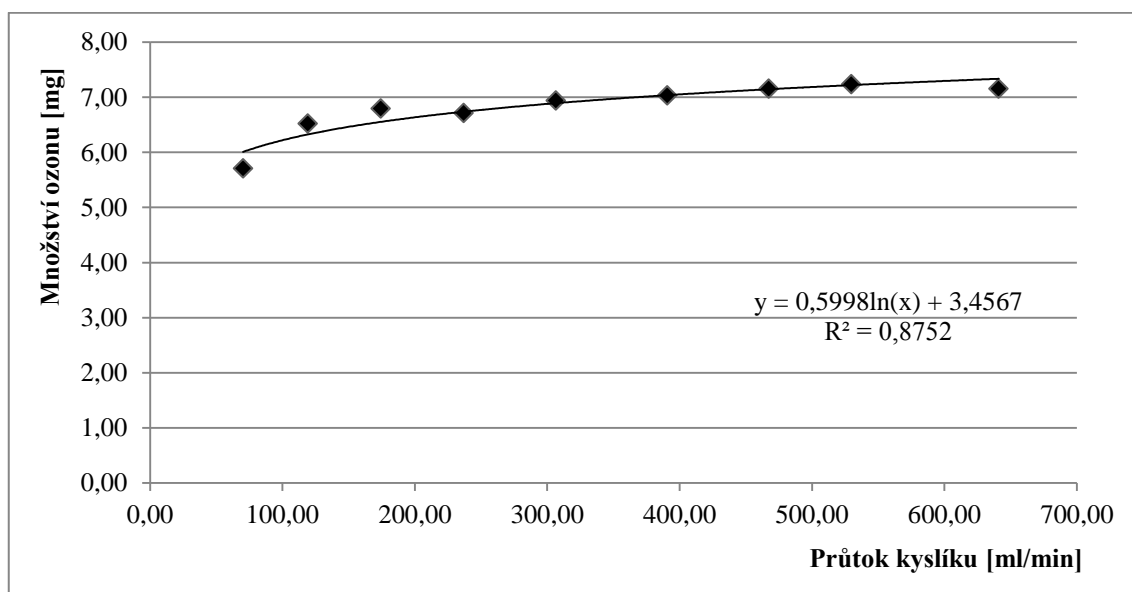
Pokud bychom srovnali tabulku 24 s tabulkou 22 v kapitole 3.3.6, můžeme si všimnout, že množství ozonu je nepatrně vyšší při funkční frekvenci zdroje 25 Hz. Koncentrace použitého roztoku thiosíranu byla $c = 0,0453 \text{ mol/l}$.

Následně bylo přistoupeno k testování obdobné aparatury jako u předchozího příkladu, tentokrát při frekvenci 74 Hz. Výsledky znázorňuje tabulka 25 a grafy 40 a 41.

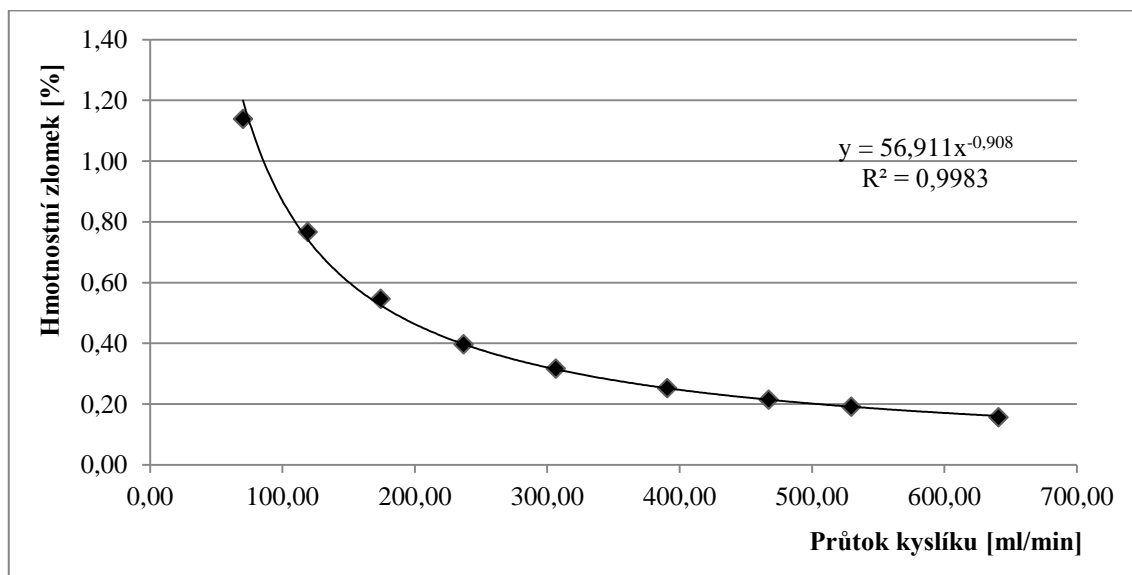
Tabulka 25 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubicí (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 74 Hz

Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	70,19	5,25	5,71	1,14	0,76
0,5	119,24	6,00	6,52	0,77	0,51
1	174,37	6,25	6,80	0,55	0,36
1,5	236,87	6,17	6,71	0,40	0,26
2	306,44	6,38	6,94	0,32	0,21
2,5	390,79	6,47	7,03	0,25	0,17
3	467,29	6,58	7,15	0,21	0,14
3,5	529,72	6,65	7,23	0,19	0,13
4	641,03	6,58	7,15	0,16	0,10

Graf 40 **Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 74 Hz**



Graf 41 **Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 74 Hz**



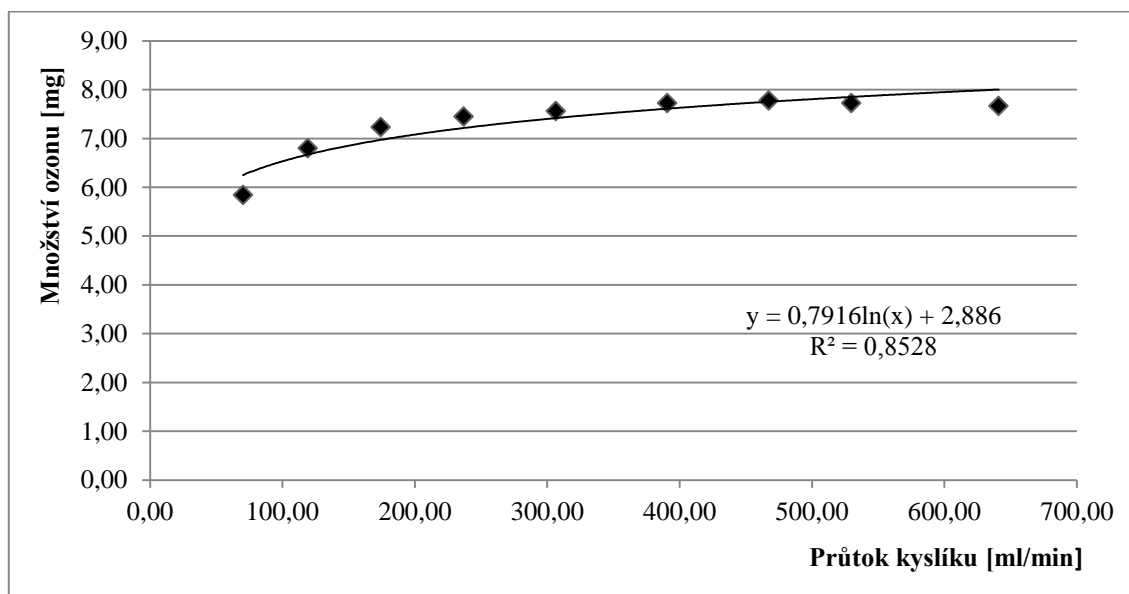
Z tabulky 25 plyne, že při frekvenci 74 Hz vzniká výrazně více ozonu, nežli tomu bylo u frekvence 520,4 Hz či 25 Hz. Koncentrace roztoku thiosíranu byla v tomto případě taktéž $c = 0,0453 \text{ mol/l}$.

Dále byla otestována stejná sestava při frekvenci 90 Hz. Výsledky následují v tabulce 26 a grafech 42 a 43.

Tabulka 26 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubici (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 90 Hz

Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [ml]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	70,19	5,37	5,84	1,17	0,78
0,5	119,24	6,25	6,80	0,80	0,53
1	174,37	6,65	7,23	0,58	0,39
1,5	236,87	6,85	7,45	0,44	0,29
2	306,44	6,95	7,56	0,35	0,23
2,5	390,79	7,1	7,72	0,28	0,18
3	467,29	7,15	7,77	0,23	0,16
3,5	529,72	7,1	7,72	0,20	0,14
4	641,03	7,05	7,66	0,17	0,11

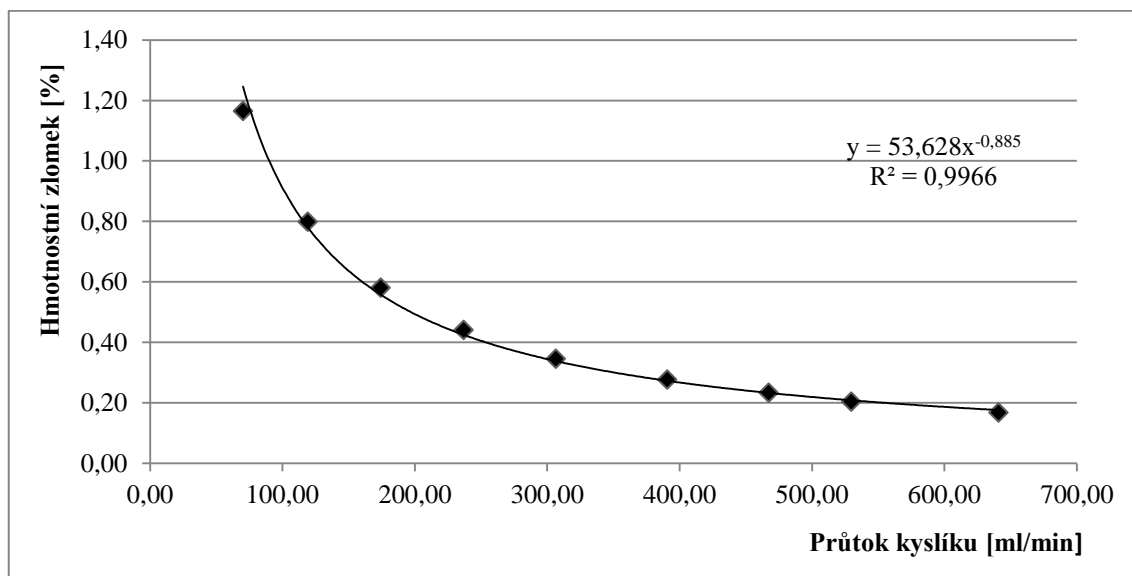
Graf 42 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 90 Hz



Koncentrace roztoku thiosíranu byla shodná jako u předchozích měření, tedy $c = 0,0453$ mol/l. Pokud bychom porovnali výsledky měření při frekvenci 90 a 74 Hz, zjistíme, že jsou si velmi podobné. Pro kompletní stanovení závislosti funkční frekvence zdroje vysokého napětí na množství vyprodukovaného ozonu bylo potřeba ještě provést měření pro frekvenci vyšší než 520,4 Hz. Toto měření však nebylo úspěšné, jelikož

množství vznikajícího ozonu bylo tak malé, že nebylo možné provést titrační stanovení. I tak jsou ale výsledky závislosti frekvence na množství vznikajícího ozonu shrnuty v tabulce 27 a grafu 44.

Graf 43 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 90 Hz

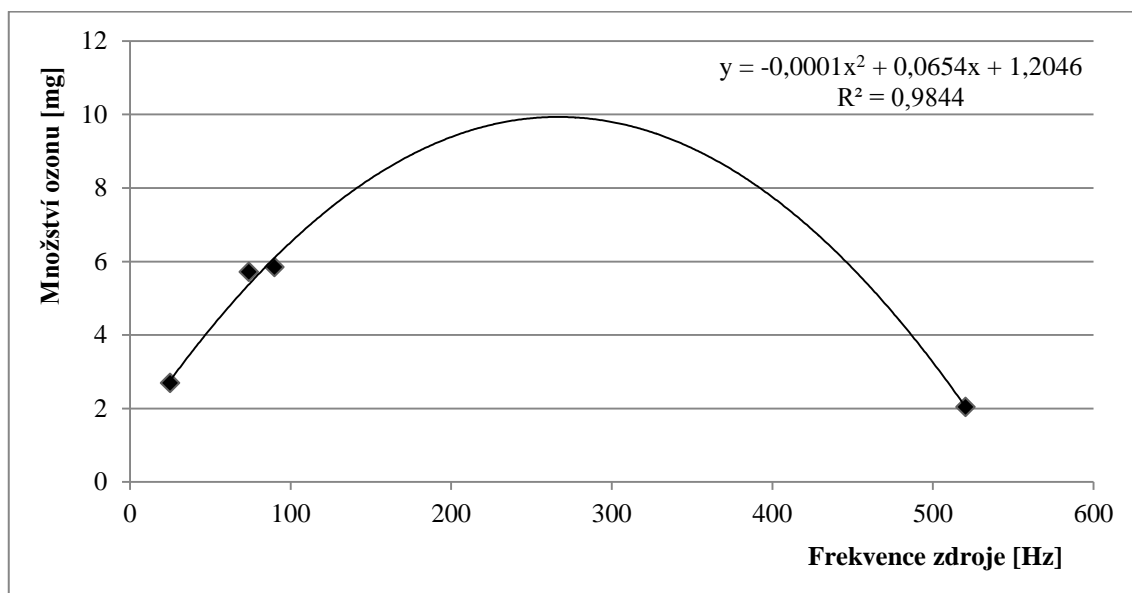


Tabulka 27 Množství vznikajícího ozonu při různých frekvencích zdroje, modifikovaná trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku

Frekvence zdroje [Hz]	Množství ozonu [mg]
25	2,69
74	5,71
90	5,84
520,4	2,04

Pro porovnání byly vybrány hodnoty vznikajícího ozonu pro hodnoty průtoku 70,19 ml/min, tedy odpovídající poloze padáčku 0 na průtokoměru. Díky nízkému počtu dat není možno z tohoto grafu usuzovat příliš přesné vyjádření závislosti funkční frekvence zdroje na produkci ozonu. I přesto je hodnota spolehlivosti křivky (R^2) pro polynomicnou závislost velmi vysoká. Bylo by však vhodné otestovat ještě další frekvence, a to jak nižší než 520,4 Hz, tak i vyšší.

Graf 44 **Závislost množství ozonu na frekvenci zdroje u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku**



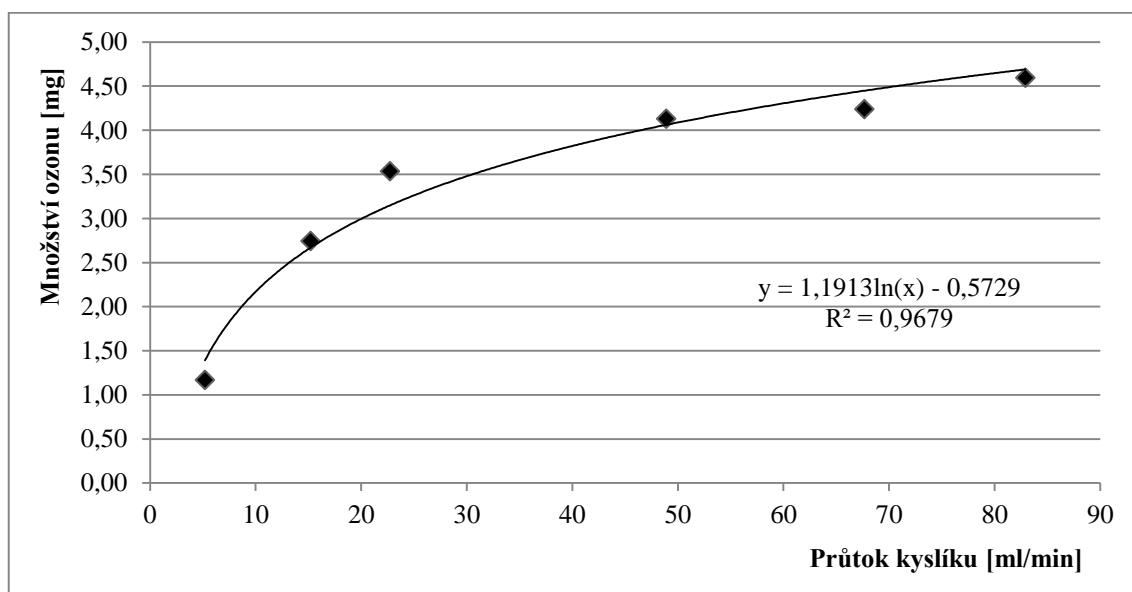
3.3.8 Zdroj z automobilové cívky a modifikovaná trubice při použití kapilárního průtokoměru

Jelikož byla snaha otestovat množství vznikajícího ozonu i za nižších průtoků, než které umožňoval rotometr, byl pro následující měření použit průtokoměr kapilární. Toto zařízení je uvedeno na obr. 6 v kapitole 2.5.1. Výsledky měření pro zdroj z automobilové cívky (obr. 18) a modifikovanou trubicí (C) znázorňuje tabulka 28 a grafy 45 a 46.

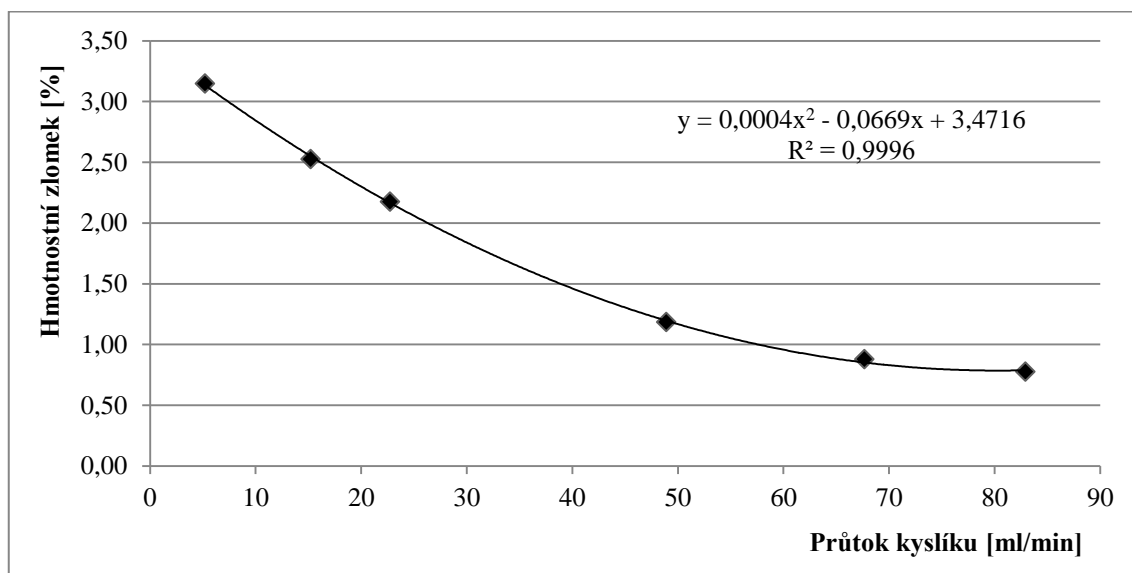
Tabulka 28 **Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubicí (hlazenka 11 + 22 cm), při frekvenci 90 Hz, použití kapilárního průtokoměru**

Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
5,2	1,08	1,17	3,15	2,10
15,23	2,53	2,75	2,53	1,68
22,75	3,25	3,53	2,18	1,45
48,91	3,80	4,13	1,18	0,79
67,67	3,90	4,24	0,88	0,58
82,93	4,23	4,59	0,78	0,52

Graf 45 **Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), při frekvenci 90 Hz, použití kapilárního průtokoměru**



Graf 46 **Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), při frekvenci 90 Hz, použití kapilárního průtokoměru**



Koncentrace použitého roztoku thiosíranu sodného byla $c = 0,0453 \text{ mol/l}$. Při měření byly použity vyměnitelné kapiláry zobrazeny na obr. 5 v kapitole 2.5.1. U křivky v grafu 46 si můžeme povšimnout, že je její průběh shodný s ostatními podobnými křivkami získanými naším testováním. Poněkud se však liší od křivky

získané Kláskem, Hrbkem a Hrubanem³⁴, kde se u průtoku 15 ml/min objevuje maximum křivky.

3.3.9 Zdroj z automobilové cívky a několik modifikovaných trubic

Následně bylo přistoupeno k experimentům se zdrojem vysokého napětí z automobilové cívky (obr. 18) a větším počtem modifikovaných trubic (C). Nejprve byly otestovány dvě vzájemně propojené trubice. Jedna trubice obsahovala nejdelší hlazenku (44 cm) a v druhé byly postupně otestovány další elektrody, od nejkratší až po nejdelší. Jako nejvýhodnější se jeví situace, kdy je v obou trubicích nejdelší elektroda. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v tabulce 29 a grafech 47 a 48.

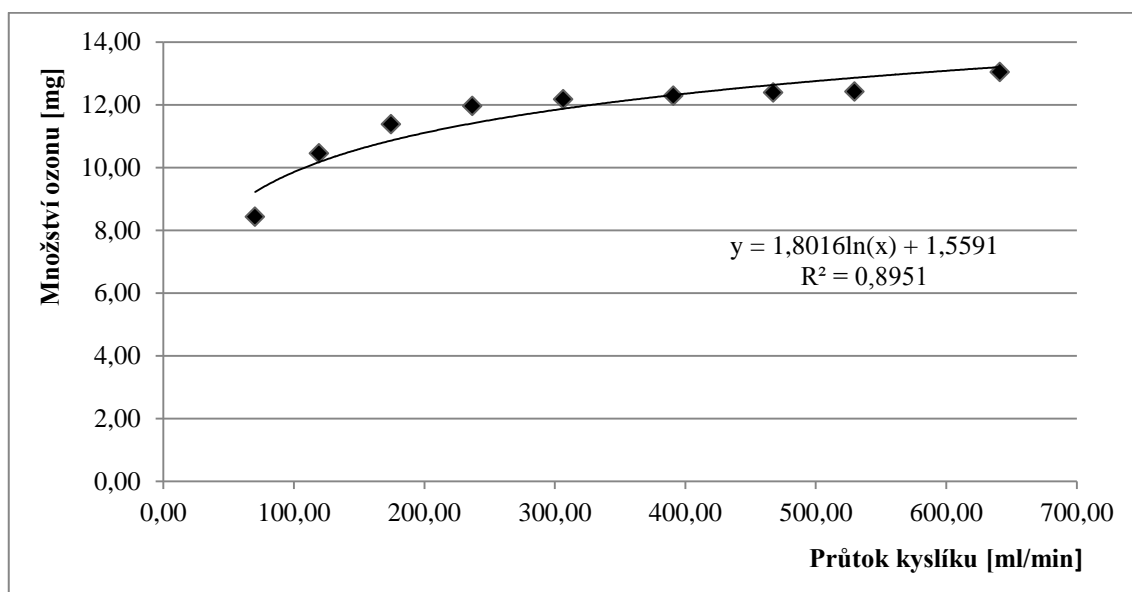
Tabulka 29 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a 2 modifikované trubice (C) (elektroda 44 + 44 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 90 Hz

Poloha padáčku	Průtok kyslíku [ml/min]	Spotřeba thiosíranu [ml]	Množství ozonu [mg]	w ozonu [%]	φ ozonu [%]
0	70,19	7,75	8,43	1,68	1,12
0,5	119,24	9,62	10,46	1,23	0,82
1	174,37	10,47	11,38	0,91	0,61
1,5	236,87	11,00	11,96	0,71	0,47
2	306,44	11,20	12,18	0,56	0,37
2,5	390,79	11,30	12,29	0,44	0,29
3	467,29	11,40	12,39	0,37	0,25
3,5	529,72	11,42	12,42	0,33	0,22
4	641,03	12,00	13,05	0,29	0,19

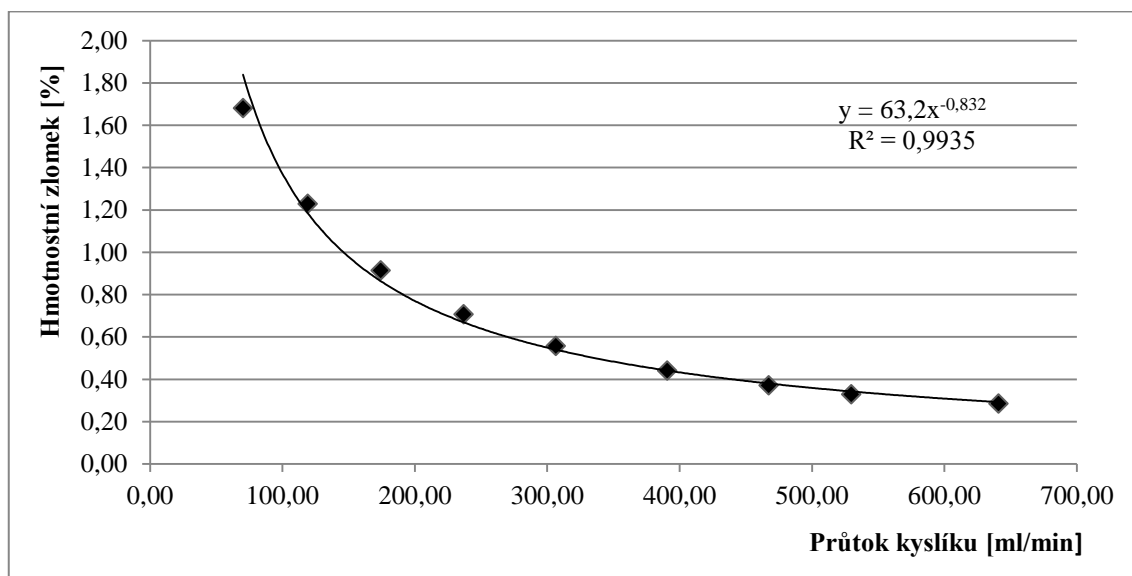
Z těchto výsledků plyne, že připojení další trubice do systému zvyšuje produkci ozonu. Je však potřeba upravit průběh měření v souvislosti s prodloužením trasy procházejícího kyslíku. Z tohoto důvodu byla prodloužena doba probublávání ozonizovaného roztoku z jedné minuty na pět, aby bylo zajištěno, že se veškerý ozon ze systému opravdu dostane až do absorpční nádoby.

Pokud bychom porovnali výsledky tohoto měření s dalšími, při kterých byl použit shodný zdroj vysokého napětí, zjistíme, že toto měření se pro tento zdroj zdá být nejvýhodnější z hlediska účinnosti. Byl použit roztok thiosíranu o koncentraci $c = 0,0453 \text{ mol/l}$.

Graf 47 **Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a 2 modifikovaných trubic (C) (elektroda 44 + 44 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 90 Hz**



Graf 48 **Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a 2 modifikovaných trubic (C) (elektroda 44 + 44 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 90 Hz**



Jelikož bylo měření se dvěma modifikovanými trubicemi úspěšné, byla následně otestována i kombinace shodného zdroje vysokého napětí a tří ozonizačních trubic. Toto měření však ukázalo, že další prodlužování elektrod v systému nemusí být zaručeně výhodné. Výsledná produkce ozonu byla nižší než v předchozím případě a bylo proto od tohoto měření dále odstoupeno.

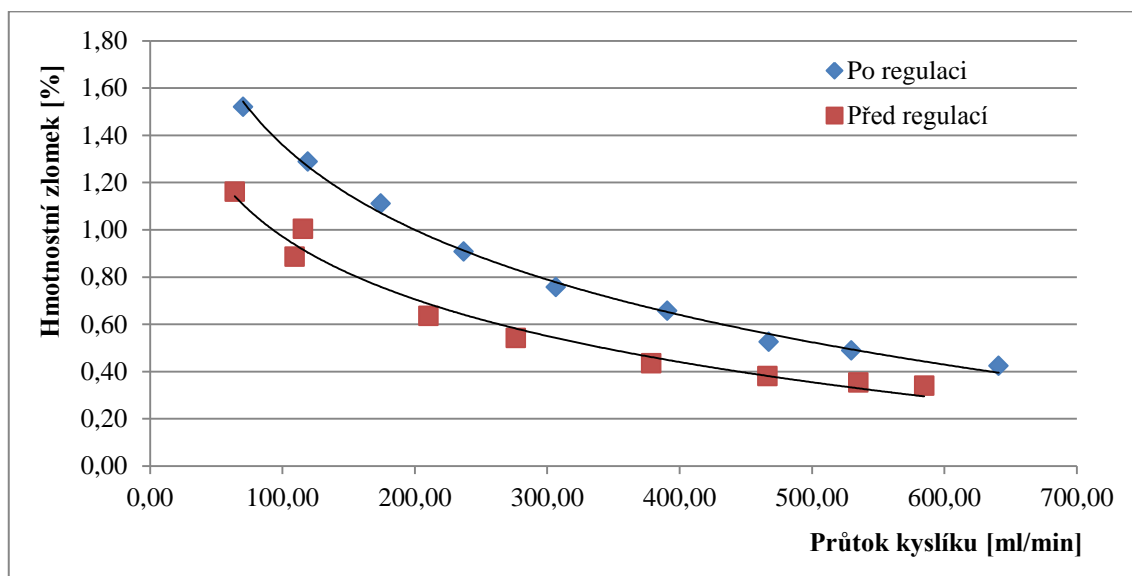
3.4 Shrnutí výsledků měření

Z důvodu lepší přehlednosti celé práce byla na toto místo zařazena kapitola shrnující výsledky měření. Nebudou zde diskutovány všechny výsledky, pouze několik zásadních trendů, které byly primárně sledovány. Prvním z těchto trendů bude vliv regulačního prvku zapojeného do systému ozonizátoru, další vliv napětí vloženého z akumulátoru na Ruhmkorffův induktor a nakonec vliv délky vnitřních elektrod při použití modifikované trubice (C). Ostatní trendy řešené v rámci experimentů je možno dohledat v předchozí kapitole 3.3.

3.4.1 Vliv zapojení regulátoru tlaku do systému ozonizátoru

Pro ukázkou vlivu regulátoru tlaku (obr. 7) v systému ozonizátoru byla vybrána testovaná kombinace obsahující Ruhmkorffův induktor (obr. 15) a sérii tří trubic (A) (obr. 9). Tato problematika je diskutována v kapitole 3.3.1. Jako adekvátní demonstrace tohoto vlivu se jeví srovnání dvou křivek závislosti hmotnostního zlomku vznikajícího ozonu na průtoku kyslíku v rámci jednoho grafu. V následujícím grafu 49 jsou tedy zkombinovány křivka z grafu 8, která popisuje závislost hmotnostního zlomku na průtoku kyslíku při použití induktoru a série tří trubic před zapojením regulátoru tlaku do systému, a dále křivka z grafu 12, kde byly totožné podmínky měření, avšak po zapojení regulátoru.

Graf 49 **Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), 6 V, před a po zapojení regulátoru tlaku**

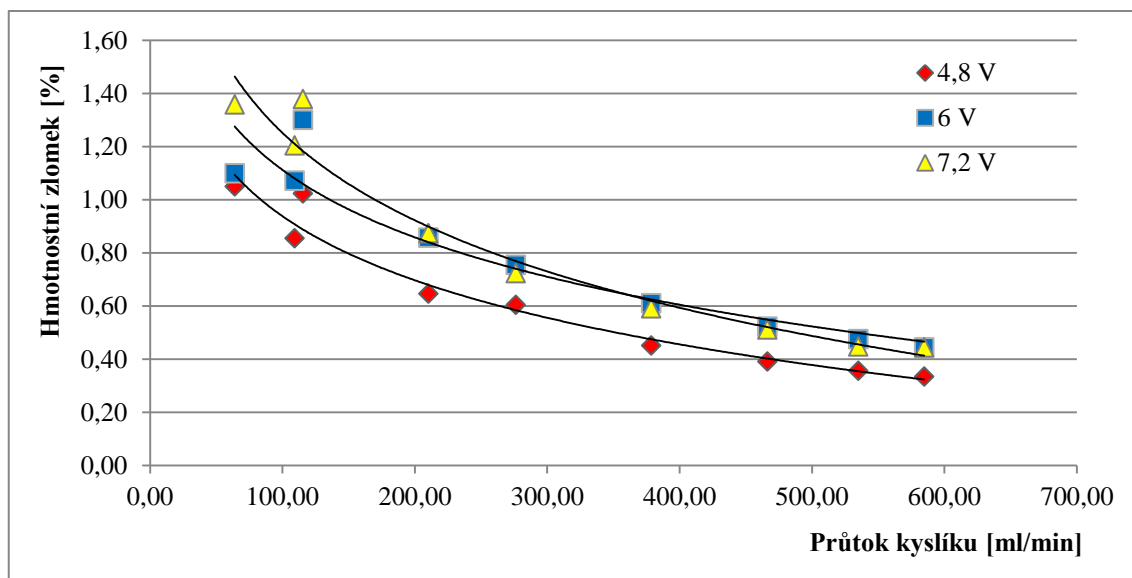


Z grafu 49 jasně plyne, že zapojení regulátoru tlaku do systému ozonizátoru bylo výhodné. Nejen že ozonu vzniká více, což souvisí i s vyšším průtokem kyslíku, ale hlavně je měření po zapojení regulace výrazně přesnější.

3.4.2 Vliv vloženého napětí z akumulátoru na Ruhmkorffův induktor

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.3.1, je možné vložit různá napětí z akumulátoru na zdroj vysokého napětí, konkrétně na Ruhmkorffův induktor. Odvětvení je možno upravit na funkční napětí akumulátoru 4,8 V, 6 V a 7,2 V. Vliv vkládání různých hodnot napětí je zobrazen na grafu 50. Graf 50 obsahuje kombinaci křivek grafů 14, 16 a 18. Přitom graf 14 popisuje závislost hmotnostního zlomku vznikajícího ozonu na průtoku kyslíku při použití Ruhmkorffova induktoru (obr. 15) a trubice odlišné konstrukce (B) (obr. 12) při vloženém napětí z akumulátoru 4,8 V, bez regulace průtoku. Obdobně graf 16 popisuje shodnou situaci, pouze s rozdílem napětí 6 V a nakonec graf 18 s napětím 7,2 V. Tato problematika je detailně diskutována v kapitole 3.3.2.

Graf 50 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), po regulaci průtoku, 4,8 V, 6 V, 7,2 V



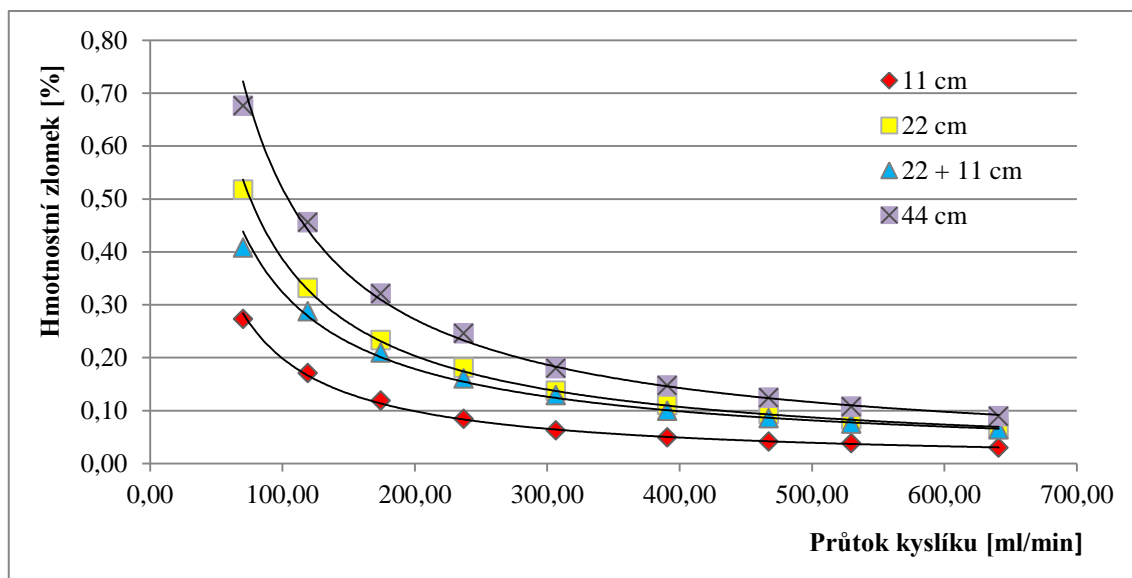
Z grafu 50 vyplývá, že vyšší hodnota napětí vloženého z akumulátoru na induktor je výhodná. Největší procento ozonu vzniká při napětí 7,2 V. Napětí 6 V poskytuje obdobně vysoké procento, avšak napětí 4,8 V v porovnání s ostatními pouze procento malé. Bohužel nebylo možno pokračovat v experimentování za vyšších

vložených napětí, neboť induktor pracuje při maximálním napětí 8 V a akumulátor je možno odvětvit vždy pouze po 1,2 jednotky.

3.4.3 Vliv délky vnitřní elektrody u modifikované trubice

Nově sestavená modifikovaná trubice (C), uvedená na obr. 14 této diplomové práce, umožnila velmi jednoduchým způsobem měnit délku vnitřní elektrody ozonizační trubice střídáním olověných hlazenek různých rozměrů. Toto poskytlo příležitost zjistit závislost produkce ozonu na délce vnitřní elektrody. Pro závěrečné shrnutí tohoto vlivu bylo vybráno měření kombinace zdroje vysokého napětí z automobilové zapalovací cívky (obr. 18) a modifikované trubice (C), uvedeno v kapitole 3.3.6. Výsledný graf 51 je tak kombinací grafů 31, 33, 35 a 37. Tyto grafy popisují závislost hmotnostního zlomku na průtoku kyslíku při použití dříve zmíněné stavby ozonizátoru a délce elektrod 11, 22, 33 (22 + 11) a 44 cm, a to při funkční frekvenci zdroje vysokého napětí 520,4 Hz.

Graf 51 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C), po regulaci průtoku, elektrody 11 cm, 22 cm, 22 + 11 cm, 44 cm



Z grafu 51 plyne, že délka elektrod má významný vliv na výsledné množství vznikajícího ozonu. Nejvíce jej vzniká při použití nejdelsí elektrody (44 cm), nejméně naopak u elektrody nejkratší (11 cm). Co se týče elektrody o délce 22 cm a současného použití dvou elektrod (22 + 11 cm), tam jsou výsledky poněkud neočekávané. Dalo by se očekávat, že elektroda dlouhá 33 cm (vzniklá složením dvou o délkách 11 a 22 cm)

bude poskytovat více ozonu nežli ta dlouhá jen 22 cm. Při měření se však tento trend nepotvrdil. Pravděpodobným vysvětlením je, že při použití dvou elektrod současně došlo k jejich špatnému kontaktu a díky tomu je jejich efektivita jako vnitřních elektrod nižší než by měla být.

3.5 Didaktická část

3.5.1 Didaktika chemie

Jedním z hlavních cílů didaktiky chemie je objevování nových postupů, kterými si žáci efektivně osvojí chemické poznatky³⁵. V této diplomové práci je mnoho možností motivace žáků k hlubšímu poznávání přírodovědných zákonitostí. Záleží především na učiteli, jak a které z těchto možností využije. Studium vlastností ozonu a jeho přípravy usnadňuje následné budování mezipředmětových vztahů.

V rámci současného trendu didaktiky chemie, kdy je snaha do výuky zapojovat větší množství experimentů a podporovat interaktivní vyučování, byla na katedře chemie FPE ZČU v Plzni navržena výuková jednotka na téma ozon a jeho příprava. Hlavním cílem této jednotky bylo nejen přiblížit žákům problematiku ozonu, ale také je motivovat k hlubšímu studiu chemie. Komplexní vyhodnocení této výukové jednotky je možno nalézt v literatuře³⁶. Tato problematika byla také prezentována ve formě posteru na mezinárodní konferenci didaktiků chemie v Donovalech (2013).

3.5.2 Výuková jednotka a její realizace

Výuková jednotka byla realizována celkem třikrát, a to ve dnech 5. a 6. dubna 2013 na Gymnáziu a SOŠ Plasy v západních Čechách. Zúčastnily se tři třídy, tercie osmiletého gymnázia, druhý ročník čtyřletého gymnázia a sexta osmiletého gymnázia. Celkem bylo přítomno 73 účastníků.

Výuková jednotka byla připravena na 45 minut. Nejprve žáci obdrželi dotazník (viz Příloha 1), který měl za úkol zjistit jejich dosavadní znalosti o ozonu a jejich zájem o danou problematiku. Samotný výklad probíhal formou powerpointové prezentace (viz Přílohy 2, 3), která obsahovala všechny základní informace o daném tématu. Během výkladu žáci vyplňovali pracovní listy (viz Přílohy 4, 5), které byly posléze vyhodnoceny a navráceny žákům zpět. Jak prezentace, tak i pracovní listy byly vyhotoveny ve dvou verzích, a to pro ZŠ a SŠ.

Během praktické části hodiny byl žákům představen jednoduchý ozonizátor sestávající ze zdroje vysokého napětí (zdroj z automobilové cívky), ozonizační trubice (s odlišnou konstrukcí) a zdroje kyslíku, který v tomto případě tvořila běžná hustilka na jízdní kolo. Při této příležitosti měli všichni žáci možnost si přivonět ke vznikajícímu ozonu a porovnat jeho specifický zápach s příjemnou vůní, která se vyskytuje např. po

bouřce. Nakonec byl žákům demonstrován postup testování ozonizátoru pomocí jodometrického stanovení vznikajícího ozonu.

Současným cílem katedry chemie je umístit veškeré materiály týkající se ozonu a jeho přípravy, včetně konceptu výukové jednotky, na internetové stránky tak, aby byly dostupné všem zájemcům o danou problematiku.

3.5.3 Návrh na pokus dokazující dezinfekční účinky ozonu

Kromě samotné produkce ozonu je možno do výuky zařadit i jednoduchý pokus, kterým se dají demonstrovat dezinfekční účinky ozonu. Tento pokus sahá i do oblasti biologie, a dá se tedy charakterizovat jako mezipředmětový.

K jeho provedení je potřeba funkční ozonizátor, mikroskop a jakýkoli vzorek obsahující živé organismy v mikroskopu viditelné. V rámci našich experimentů byl použit senný nálev (seno zalijeme vodou a umístíme na několik dní do teplého prostředí). Nejprve je potřeba takto připravený nálev prohlédnout pod mikroskopem. Zjistíme, že je zde výborné prostředí pro některé typy řas, sinic a nálevníků (zde je možno experiment propojit s určováním těchto organismů). Dále takto prozkoumaným vzorkem necháme po dobu 5 minut probublávat ozon. Již na první pohled je zřetelné, že případný zákal vzorku se vyčeřuje a často hnilobný zápach kompletně zmizí. Nakonec se vzorek opět umístí pod mikroskop a zkoumá se, jaké organismy byly zahubeny. Návrh na pracovní list k tomuto pokusu je uveden v Příloze 6.

4 ZÁVĚR

Tato diplomová práce pojednává o ozonu jako tříatomové molekule kyslíku. Jsou zde popsány významné vlastnosti, využití i funkce tohoto plynu. Hlavním tématem této studie je však především ozonizátor, jeho stavba a možnosti jeho testování.

V teoretické části práce jsou zobrazena jednotlivá zařízení, jejichž propojením vznikne jednoduchý a přitom funkční ozonizátor. Praktická část následně popisuje, jakým způsobem lze tento přístroj testovat a dále představuje výsledky snahy toto uskutečnit. Hlavní části ozonizátoru tvoří ozonizační trubice, zdroj vysokého napětí a průtokoměr. K dispozici byly celkem tři typy ozonizačních trubic, tři typy zdrojů vysokého napětí a dva typy průtokoměrů. Při experimentech byly voleny různé kombinace těchto součástí. V průběhu měření se také několikrát naskytla příležitost určitým způsobem ovlivnit základní parametry některých zařízení.

Nejprve byly otestovány kombinace zařízení, která byla využívána již v minulosti. Patří sem zdroj vysokého napětí Ruhmkorffův induktor (obr. 15) pracující s Ni-Fe akumulátorem jako zdrojem energie. Dále se sem řadí série tří ozonizačních trubic (A) (obr. 9) a trubice odlišné konstrukce (B) (obr. 12). Testování se tedy uskutečnilo pro kombinaci induktoru a série tří trubic (A) (kapitola 3.3.1) a pro kombinaci induktoru a trubice odlišné konstrukce (B) (kapitola 3.3.2). Tato měření byla prováděna při různých napětích vložených z akumulátoru na induktor, o čemž pojednávají jak dříve uvedené kapitoly, tak i kapitola shrnující výsledky měření (3.4.2).

Již po několika měřeních se ukázalo jako velmi vhodné zařadit ještě dodatečný prvek regulace průtoku kyslíku do průtokoměru. K tomuto účelu byl využit regulátor tlaku (obr. 7). O jeho vlivu je pojednáno v kapitole 3.3.1 a následně v kapitole shrnující výsledky (3.4.1).

Další snahou bylo získat více zdrojů vysokého napětí lišících se svými parametry od Ruhmkorffova induktoru. Takto byl pořízen vysokonapěťový komerční transformátor (obr. 16). Tento zdroj napětí byl otestován v kombinaci s trubicí odlišné konstrukce (B) (kapitola 3.3.3). Jeho využití však netrvalo příliš dlouho, neboť nebyl konstruován na dlouhodobý provoz a došlo u něj k neopravitelné závadě. Z toho důvodu byla navázána spolupráce s pracovníkem NTC ZČU Ing. Davidem Riegrem, který modifikoval původní Kláskův zdroj napětí³⁴ využívající automobilovou zapalovací cívku dle schématu (kapitola 2.6.3, obr. 17). Tento zdroj byl následně otestován

v kombinaci s trubicí odlišné konstrukce (B). Toto měření však ukázalo, že dostupné trubice nejsou při společném zapojení s tímto zdrojem příliš efektivní. Důvodem je zřejmě příliš silná izolace vnitřní a vnější elektrody způsobená dvěma skleněnými trubicemi (obr. 10, kapitola 2.6.2).

Následné kroky tedy vedly k tvorbě nové ozonizační trubice s poněkud modifikovanou stavbou (C) (obr. 14). Tato trubice byla poté otestována v kombinaci s Ruhmkorffovým induktorem jako zdrojem vysokého napětí (kapitola 3.3.5). Hlavním smyslem tvorby této trubice však bylo dosáhnout co nejvyšší produkce ozonu při zařazení zdroje vysokého napětí z automobilové cívky. Tato trubice dále skýtá zcela novou možnost výměny vnitřní elektrody o různé délce. Bylo tedy provedeno měření kombinace cívky a modifikovaná trubice (C), o kterém je možno se dočíst v kapitole 3.3.6. Vliv délky vnitřní elektrody ozonizační trubice na produkci ozonu je dále diskutován ve shrnující kapitole 3.4.3.

Experimentální práce dále směřovala k možnostem modifikace jednotlivých částí ozonizátoru. Zdroj vysokého napětí z automobilové cívky byl upraven tak, že pouhým vložením kondenzátorů o různých kapacitách do zařízení dojde ke změně funkční frekvence zdroje (kapitola 3.3.7). Jako nejvýhodnější se ukázala frekvence 90 Hz (tabulka 2, kapitola 2.6.3).

V neposlední řadě byl v systému ozonizátoru nahrazen dosud používaný rotometr kapilárním průtokoměrem (obr. 6), který díky možnosti měnit jednotlivé kapiláry (obr. 5) umožnil otestovat účinnost ozonizátoru za velmi nízkých průtoků kyslíku (kapitola 3.3.8).

Poslední modifikace ozonizátoru, o které je pojednáno v této diplomové práci, byla snaha pokračovat v dříve zmíněném trendu prodlužování vnitřních elektrod ozonizační trubice. V kapitole 3.3.9 je uvedeno, jaký vliv na systém má zapojení druhé modifikované ozonizační trubice (C).

Dále je potřeba se věnovat také didaktickým aplikacím dané problematiky. Bylo by vhodné dále používat uvedené studijní materiály (viz Přílohy) a také je rozšířit mezi učitele na základních a středních školách. Téma „ozon“ však naskýtá mnoho dalších možností aplikace do chemického vzdělávání, kterým bych ráda věnovala svou pozornost v rámci své budoucí profese či studia.

Řešení diplomové práce je obrazem složitosti celého problému, který skýtá možnost dalšího studia, jak na poli konstrukce ozonizátoru, tak následně využití ozonu. Bylo by zřejmě vhodné se těmito problémy zabývat i nadále.

5 SEZNAM LITERATURY

1. Brown, G.A.: Úvod do anorganické chemie. SNTL, Praha 1982. 04-611-82.
2. Rabinovič, V.A., Chavin, Z.J.: Stručná chemická příručka. SNTL, Praha 1985. 04-629-85.
3. Remy, H.: Anorganická chemie I. díl. SNTL, Praha 1972. 04-604-72.
4. Heslop, R.B., Jones, K.: Anorganická chemie. SNTL, Praha 1982. 04-615-82.
5. Cotton, F.A., Wilkinson, G.: Anorganická chemie. Academia, Praha 1973. 21-021-73.
6. Ozone molecule formula,
http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Ozone_Molecule_Formula_png,
staženo 30. 5. 2013
7. Horváth, M., Bilitzky, L., Hüttner, J.: Ozone. Akadémiai Kiadó, Budapest 1985. ISBN 963-05-3358-8.
8. Richtr V., Kraitr M.: Příprava a využití ozonu ve školních podmínkách. In: *Chemie XXI (sborník katedry chemie)*. 2006, s. 47-61.
9. McMurry, J.: Organická chemie. VUTIUM, Brno 2007. ISBN 978-80-214-3291-8.
10. Richtr, V., Štrofová, J., Vojtajová, M., Rieger, D.: Ozon, nedoceněné téma ve výuce chemie. In: *Biologie, chemie, zeměpis*. 2013, s. 77-83. ISSN 1210-3349.
11. Skálová, I.: Ozonizace malých množství organických sloučenin. Diplomová práce. Plzeň 1997.
12. Skuhrovcová J.: Ozonizace ve výuce chemie na katedře chemie PF ZČU. Diplomová práce. Plzeň 2002.
13. Honz, Z.: Ozonizace některých triterpenických sloučenin. Diplomová práce. Plzeň 1975.
14. Aplikace ozónových technologií, <http://www.aplikaceo3.cz/?page=3>, staženo 6. 4. 2013.
15. Neiser, J. a kol.: Základy chemických výrob. SPN, Praha 1988. 14-495-88.
16. Praktické zubní lékařství, <http://zubni-lekar-zubar.cz/lecba-zubu-ozonem-ozonova-terapie-ozonoterapie.htm>, staženo 30. 5. 2013
17. Kozubkovi, S. a M.: Ozónová díra – ohrožení pro lidstvo? Nakladatelství CCB, Brno 1993. ISBN 80-85825-03-1.

18. Lippert, E. (ed.) a kol.: Ozonová vrstva Země. Nakl. Vesmír a MŽP ČR, Praha 1995. ISBN 80-85368-61-7 (MŽP).
19. Jech, Č.: V zájmu života ochraňujme ozonovou vrstvu. Děti Země, Brno 1993. ISBN 80-901355-4-4.
20. Sledování ozonové vrstvy, <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/monthly/SH.html>, staženo 17. 6. 2013
21. Holzbecher, Z., Churáček, J. a kol.: Analytická chemie. SNTL/ALFA, Praha 1987. 04-612-87 .
22. Zýka, J. a kol.: Analytická příručka 2. SNTL/ALFA, Praha 1980. 04-602-80.
23. Lean, G.: Action on ozone. UNEP, Kenya 1989. ISBN 92-807-1230-6.
24. Vaníček, K., Kalvová, J.: Analyses of time changes of total ozone in Czechoslovakia. Nakladatelství ČHMÚ, Praha 1992. ISBN 80-901262-4-3.
25. Ozonové a UV zpravodajství ČHMÚ, http://portal.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&nc=1&menu=JSPTabContainer/P10_0_Aktualni_situace/P10_1_Pocasi/P10_1_1_Cesko/P10_1_1_11_Ozon_a_UV&last=false, staženo 17. 6. 2013
26. Tilling, S.: Ozón a skleníkový efekt. TEREZA, Praha 1992.
27. Šírová, O., Veselý, M.: Analytická chemie-analýza kvantitativní. SPN, Praha 1959. 97-66-33.
28. Zýka, J. a kol.: Analytická příručka 1. SNTL/ALFA, Praha 1979. 04-612-79.
29. Pošta, A. a kol.: Laboratorní technika a bezpečnost práce. SNTL, Praha 1981. 04-620-81.
30. Fyzikální všehochuť, <http://www.freeenergy.wbs.cz/Fyzikalni-vsehochut.html>, staženo 1. 6. 2013
31. Bašta, J., Chládek, J., Mayer, I. Teorie elektrických strojů. SNTL, Praha 1968. 04-518-68.
32. Petrov, G. N. Elektrické stroje 1. Academia, Praha 1980. 21-045-80.
33. Vojtajová, M., Richt, V.: Ozonizátory a jejich testování. In: *Sborník z mezinárodní konference „Aktuálne trendy vo vyučovaní prírodných vied“*. 2012, s. 212-216. ISBN 978-80-8082-541-6
34. Klásek, A., Hrbek ml., J., Hruban, L.: Ozonizátor pro práci v semimikroměřítku. In: *Chemické listy*. 1968, s. 207-210.
35. Čípera, J., Svoboda, L.: Didaktika chemie I. JČU, České Budějovice 2000. ISBN 80-7040-404-3.

36. Richtř, V., Vojtajov, M.: Připrava ozonu jako motivační prvek ve výuce chemie.
In: *Sborník z mezinárodní konference „Sčasnost' a perspektivy didaktiky chmie III“*. 2013, s. 117-121. ISBN 978-80-5570-546-0.

6 RESUMÉ

Ozone is currently becoming a phenomenon of our society. This simple chemical compound containing just three atoms of oxygen, has an irreplaceable role in our lives. It protects the whole planet from dangerous UV radiation, helps us desinfectate water we drink and many other things. The question is, do we know enough about this blue smelly gas, about the way it comes into existence, the way it is destroyed, etc? Maybe this thesis can provide at least some answers to above mentioned questions. It also shows the way, how to produce ozone in laboratory conditions and analyse its quantity. The most important thing is to teach our children about this compound and give them opportunity to understand the world around them a little bit more.

This thesis is divided into a theoretical and practical part. In the theoretical part there are described the most important characteristics of ozone, its applications in industry and its role in the environment. There is also mentioned an ozonizer as a device that produces ozone in laboratory conditions. The practical part contains a description of one of the methods, how the ozonizer can be tested and evaluated. Then there are results of experiments dealing with effectivity of various constructions of ozonizer. Last but not least the practical part describes the way how information about ozone and ozonizer can be used in chemical education.

Seznam obrázků

Obr. 1 Molekula ozonu.....	3
Obr. 2 Rotametr	17
Obr. 3 Rotametr.....	17
Obr. 4 Průtokoměry	18
Obr. 5 Kapiláry použité u průtokoměru	18
Obr. 6 Kapilární průtokoměr	18
Obr. 7 Regulátor tlaku	19
Obr. 8 Ozonizační trubice (A)	19
Obr. 9 Tři trubice v sérii (A).....	20
Obr. 10 Průřez ozonizační trubicí odlišné konstrukce (B)	20
Obr. 11 Schéma ozonizační trubice odlišné konstrukce (B)	21
Obr. 12 Ozonizační trubice odlišné konstrukce (B)	21
Obr. 13 Schéma modifikované ozonizační trubice (C).....	22
Obr. 14 Modifikovaná ozonizační trubice (C)	23
Obr. 15 Ruhmkorffův induktor.....	24
Obr. 16 Vysokonapěťový transformátor komerční.....	24
Obr. 17 Schéma zdroje s automobilovou zapalovací cívkou	25
Obr. 18 Zdroj s automobilovou zapalovací cívkou.....	25
Obr. 19 Aparatura použitá ke kalibraci průtokoměrů	26

Seznam tabulek

Tabulka 1 Vlastnosti ozonu	2
Tabulka 2 Kapacita kondenzátoru a jí odpovídající funkční frekvence zdroje vysokého napětí	25
Tabulka 3 Hodnoty průtoku pro rotametr před zapojením regulačního prvku.....	27
Tabulka 4 Hodnoty průtoku pro rotametr po zapojení regulačního prvku.....	28
Tabulka 5 Hodnoty průtoku pro kapilární průtokoměr s kapilárou č. 2	29
Tabulka 6 Hodnoty průtoku pro kapilární průtokoměr s kapilárami č. 3 a 4.....	29
Tabulka 7 Výsledky pro induktor a sérii tří trubic (A), bez regulace průtoku, 4,8 V	33
Tabulka 8 Výsledky pro induktor a sérii tří trubic (A), bez regulace průtoku, 6 V	35
Tabulka 9 Výsledky pro induktor a sérii tří trubic (A), bez regulace průtoku, 7,2 V	37
Tabulka 10 Výsledky pro induktor a sérii tří trubic (A), po regulaci průtoku, 6 V	38
Tabulka 11 Výsledky pro induktor a trubici odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 4,8 V.....	40
Tabulka 12 Výsledky pro induktor a trubici odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 6 V.....	41
Tabulka 13 Výsledky pro induktor a trubici odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 7,2 V.....	43
Tabulka 14 Výsledky pro transformátor a trubici odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku	45
Tabulka 15 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a trubici odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku	46
Tabulka 16 Výsledky pro induktor a modifikovanou trubici (C) (elektroda 11 cm), po regulaci průtoku, 6 V.....	48
Tabulka 17 Výsledky pro induktor a modifikovanou trubici (C) (elektroda 22 cm), po regulaci průtoku, 6 V.....	49
Tabulka 18 Výsledky pro induktor a modifikovanou trubici (C) (elektroda 22 + 11 cm), po regulaci průtoku, 6 V	51
Tabulka 19 Výsledky pro induktor a modifikovanou trubici (C) (elektroda 44 cm), po regulaci průtoku, 6 V.....	52

Tabulka 20 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubici (C) (elektroda 11 cm), po regulaci průtoku	54
Tabulka 21 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubici (C) (elektroda 22 cm), po regulaci průtoku	55
Tabulka 22 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubici (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku	57
Tabulka 23 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubici (C) (elektroda 44 cm), po regulaci průtoku	58
Tabulka 24 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubici (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 25 Hz	60
Tabulka 25 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubici (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 74 Hz	61
Tabulka 26 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubici (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 90 Hz	63
Tabulka 27 Množství vznikajícího ozonu při různých frekvencích zdroje, modifikovaná trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku	64
Tabulka 28 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a modifikovanou trubici (hlazenka 11 + 22 cm), při frekvenci 90 Hz, použití kapilárního průtokoměru	65
Tabulka 29 Výsledky pro zdroj z automobilové cívky a 2 modifikované trubice (C) (elektroda 44 + 44 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 90 Hz	67

Seznam grafů

Graf 1 Kalibrační křivka rotametru před zapojením regulačního prvku	27
Graf 2 Kalibrační křivka rotametru po zapojení regulačního prvku	28
Graf 3 Kalibrační křivka kapilárního průtokoměru pro kapiláru č. 2	29
Graf 4 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 4,8 V	34
Graf 5 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 4,8 V	34
Graf 6 Závislost objemového zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 4,8 V	35
Graf 7 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 6 V	36
Graf 8 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 6 V	36
Graf 9 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 7,2 V	37
Graf 10 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), bez regulace průtoku, 7,2 V	38
Graf 11 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), po regulaci průtoku, 6 V	39
Graf 12 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), po regulaci průtoku, 6 V	39
Graf 13 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 4,8 V	40
Graf 14 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 4,8 V	41
Graf 15 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 6 V	42
Graf 16 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 6 V	42
Graf 17 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 7,2 V	43

Graf 18 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku, 7,2 V.....	44
Graf 19 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u transformátoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku.....	45
Graf 20 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u transformátoru a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku.....	46
Graf 21 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku	47
Graf 22 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a trubice odlišné konstrukce (B), bez regulace průtoku.....	47
Graf 23 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 11 cm), po regulaci průtoku, 6 V	48
Graf 24 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 11 cm), po regulaci průtoku, 6 V	49
Graf 25 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 22 cm), po regulaci průtoku, 6 V.....	50
Graf 26 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 22 cm), po regulaci průtoku, 6 V	50
Graf 27 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 22 + 11 cm), po regulaci průtoku, 6 V.....	51
Graf 28 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 22 + 11 cm), po regulaci průtoku, 6 V	52
Graf 29 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 44 cm), po regulaci průtoku, 6 V.....	53
Graf 30 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a modifikované trubice (C) (elektroda 44 cm), po regulaci průtoku, 6 V	53
Graf 31 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 cm), po regulaci průtoku	55
Graf 32 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 22 cm), po regulaci průtoku	56
Graf 33 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 22 cm), po regulaci průtoku	56

Graf 34	Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku	57
Graf 35	Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku.....	58
Graf 36	Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 44 cm), po regulaci průtoku	59
Graf 37	Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 44 cm), po regulaci průtoku	59
Graf 38	Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 25 Hz.....	60
Graf 39	Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 25 Hz.....	61
Graf 40	Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 74 Hz.....	62
Graf 41	Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 74 Hz.....	62
Graf 42	Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 90 Hz.....	63
Graf 43	Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 90 Hz.....	64
Graf 44	Závislost množství ozonu na frekvenci zdroje u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), po regulaci průtoku	65
Graf 45	Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), při frekvenci 90 Hz, použití kapilárního průtokoměru	66

Graf 46 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C) (elektroda 11 + 22 cm), při frekvenci 90 Hz, použití kapilárního průtokoměru	66
Graf 47 Závislost množství ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a 2 modifikovaných trubic (C) (elektroda 44 + 44 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 90 Hz	68
Graf 48 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a 2 modifikovaných trubic (C) (elektroda 44 + 44 cm), po regulaci průtoku, při frekvenci 90 Hz	68
Graf 49 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), 6 V, před a po zapojení regulátoru tlaku	69
Graf 50 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u induktoru a série tří trubic (A), po regulaci průtoku, 4,8 V, 6 V, 7,2 V	70
Graf 51 Závislost hmotnostního zlomku ozonu na průtoku kyslíku u zdroje z automobilové cívky a modifikované trubice (C), po regulaci průtoku, elektrody 11 cm, 22 cm, 22 + 11 cm, 44 cm	71

Přílohy

Příloha 1 **Dotazník „Ozon“**

Příloha 2 **Prezentace „Ozon“ pro ZŠ**

Příloha 3 **Prezentace „Ozon“ pro SŠ**

Příloha 4 **Pracovní list „Ozon“ pro ZŠ**

Příloha 5 **Pracovní list „Ozon“ pro SŠ**

Příloha 6 **Pracovní list „Dezinfekční účinky ozonu“**

Příloha 1 **Dotazník „Ozon“**

DOTAZNÍK

Třída.....

Věk.....

1. Slyšeli jste někdy o ozonu? Pokud ano, **kde** a v **jaké souvislosti**?

- Ve škole -
- V televizi -
- Na internetu -
- Od rodiny či přátel -

2. Co si představíte pod pojmem **ozon**?

3. Myslíte, že je ozon lidem **prospěšný** nebo jim **škodí**?

4. Popište, jakou **funkci** plní ozon v **atmosféře**.

5. Víte něco o tom, jak ozon **vzniká**?

6. Dozvěděli byste se rádi **další informace** o ozonu? **Proč**?

Příloha 2 Prezentace „Ozon“ pro ZŠ



FAKULTA PEDAGOGICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

OZON

Bc. Markéta Vojtájová



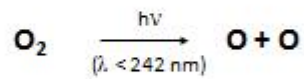
Vlastnosti ozonu

- O_3 - forma kyslíku
- Namodralý, jedovatý, nestálý plyn
- Ostrý zápach, silné oxidační činidlo
- Kapalina (b.v. $-111,9^\circ\text{C}$) – tmavomodrý
- Pevná látka (b.t. $-192,5^\circ\text{C}$) – černofialový
- Molekula – lomená



Vznik ozonu v přírodě

- o Vznik z O_2 působením UV záření nebo při elektrických výbojích



Výskyt ozonu v přírodě

O_3 do troposféry
cirkulací vzduchu

škodlivé účinky
ozonu

ochranná
funkce

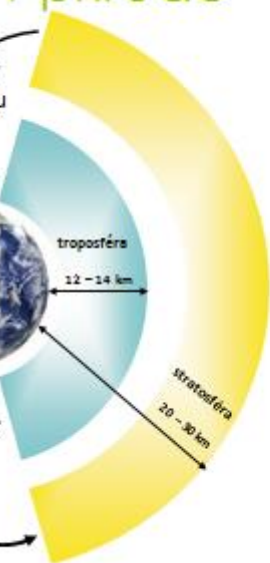


troposféra

12 - 14 km

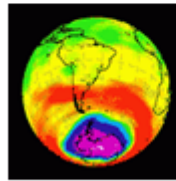
stratosféra

20 - 30 km



Ozonová vrstva

- Ozon – v oblasti UV-spektra elektromagnetického záření extrémně vysoká absorpce → ochrana organismů před UV zářením
- Ozonová díra - freony

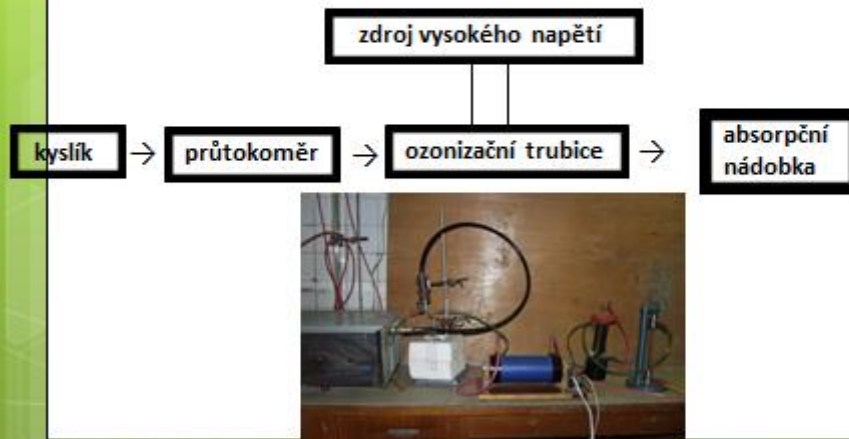


Využití ozonu

- Desinfekce vody apod.
- Bělení celulózy při výrobě papíru
- Medicína – léčba akné, stomatologie

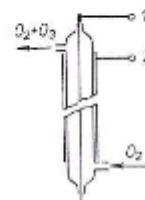


Ozonizátory - schéma



1. Ozonizační trubice

- Uzavřený prostor
- Dvě elektrody
- Tichý výboj
- Zavádění O_2 – odvod směsi O_2 a O_3
- Skleněná trubice – jejím středem veden poniklovaný cyklistický výpletový drát
- Druhá elektroda – alobal na vnější straně trubice

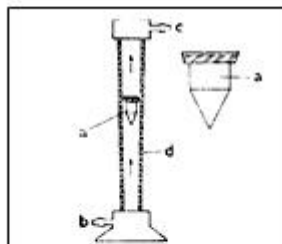


Ozonizační trubice



2. Průtokoměry

- o Padáčkový průtokoměr (rotametr)



Padáčkový průtokoměr

- a – kuželový plovák
- b – přívod měřeného plynu
- c – odvod měřeného plynu
- d – trubice se stupnicí



3. Zdroje vysokého napětí

- Ruhmkorffův induktor napájený baterií Ni-Fe článků
- Konvenční vysokonapěťový transformátor
- Napájení obrazovky TV přijímače
- Účelově zhotovený zdroj vysokého napětí (z automobilové cívky)

Testování ozonizátoru

- 1. Vlastní testování
 - Založeno na schopnosti ozonu reagovat s KI v neutrálním prostředí za vzniku I₂
 - Množství I₂ poté stanoveno titrací odměrným roztokem Na₂S₂O₃
 - Reakce:
$$\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{KI} \rightarrow \text{I}_2 + \text{O}_2 + 2 \text{KOH}$$
$$\text{I}_2 + 2 \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6 + 2 \text{NaI}$$

Výsledky měření

- o Tři trubice + induktor (6 V)

Poloha patičky	Průtok kyslíku (ml/min)	Spotřeba elektřiny (ml)	Množství ozonu (mg)	Koncentrace ozonu (%)
0	70,21	6,93	7,62	1,52
0,5	119,26	9,97	10,96	1,29
1	174,43	12,57	13,82	1,11
1,5	226,87	15,95	15,33	0,91
2	306,65	19,05	16,54	0,76
2,5	390,79	19,66	18,21	0,65
3	487,41	19,95	17,31	0,55
3,5	529,5	18,82	18,49	0,49
4	641,11	17,6	19,35	0,42

Výsledky měření



Výsledky měření



o Děkuji za pozornost.

Příloha 3 Prezentace „Ozon“ pro SŠ



FAKULTA PEDAGOGICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

OZON
Bc. Markéta Vojtájová



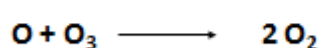
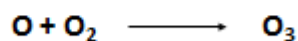
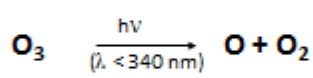
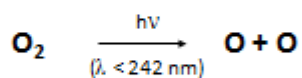
Vlastnosti ozonu

- O_3 - modifikace kyslíku
- Namodralý, diamagnetický, nestálý plyn
- Ostrý zápach, silné oxidační činidlo
- Kapalina (b.v. $-111,9^\circ\text{C}$) – tmavomodrý
- Pevná látka (b.t. $-192,5^\circ\text{C}$) – černořialový
- Molekula – 2 vazby σ a delokalizované elektrony π



Vznik ozonu v přírodě

- o Vznik z O_2 fotochemickými procesy nebo při elektrických výbojích



Výskyt ozonu v přírodě

O_3 do troposféry
cirkulací vzduchu

škodlivé účinky
ozonu

ochranná
funkce



troposféra

12 - 14 km

stratosféra

20 - 30 km

Ozonová vrstva

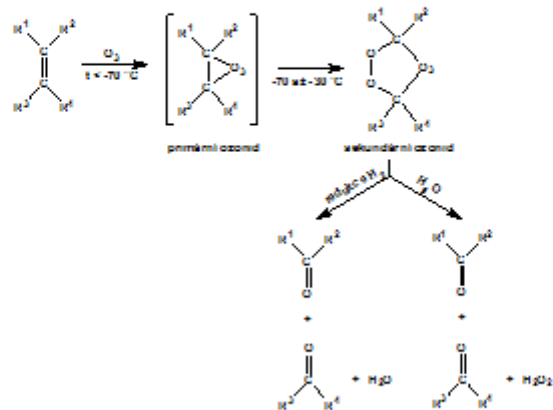
- Ozon – v oblasti UV-spektra elektromagnetického záření extrémně vysoká absorpce → ochrana organismů před UV zářením
- Množství ozonu ve vertikálním sloupci – Dobsonovy jednotky (D.U.)
- 1 D.U. ($p=1013 \text{ hPa}$, $t=15^\circ\text{C}$) \approx vrstva silná 10^{-3} cm

Využití ozonu

- Desinfekce vody apod.
- Bělení celulózy při výrobě papíru
- Medicína – léčba akné, stomatologie



Ozonizace alkenů



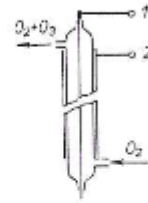
Ozonizátory - schéma



1. Ozonizační trubice

- Hermeticky uzavřený prostor
- Dvě elektrody
- Tichý výboj
- Zavádění O_2 – odvod směsi O_2 a O_3

- Skleněná trubice – jejím středem veden poniklovaný cyklistický výpletový drát
- Druhá elektroda – alobal na vnější straně trubice

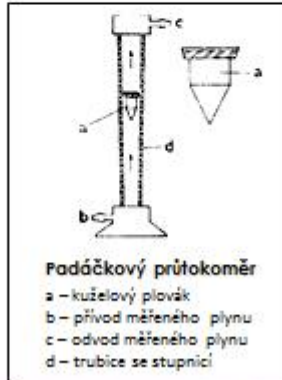


Ozonizační trubice



2. Průtokoměry

- Padáčkový průtokoměr (rotametr)



3. Zdroje vysokého napětí

- Ruhmkorffův induktor napájený baterií Ni-Fe článků
- Konvenční vysokonapěťový transformátor
- Napájení obrazovky TV přijímače
- Účelově zhotovený zdroj vysokého napětí (z automobilové cívky)

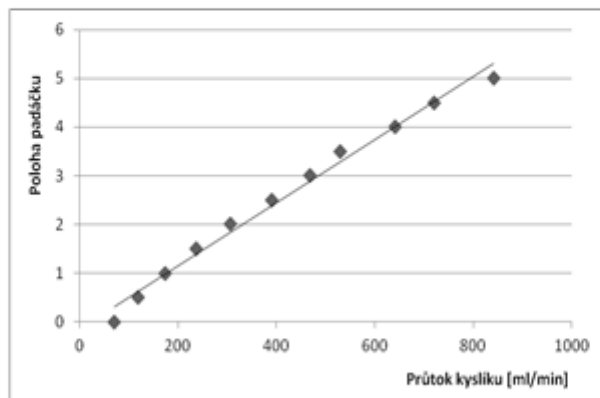
Zdroje vysokého napětí



Testování ozonizátoru

- o 1. Kalibrace průtokoměru
 - o Na rotametri nastavena hodnota průtoku
 - o Proudící O_2 pneumaticky jímán do válce obráceného dnem vzhůru a naplněného vodou
 - o Na stopkách měřen čas, za který rotametrem projde určitý objem O_2
 - o 4x pro každou hodnotu průtoku
 - o Kalibrační křivka

Kalibrační křivka rotametru



Testování ozonizátoru

- 2. Vlastní testování
 - Založeno na schopnosti ozonu reagovat s KI v neutrálním prostředí za vzniku I_2
 - Množství I_2 poté stanoveno titrací odměrným roztokem $Na_2S_2O_3$
 - Reakce:
$$O_3 + H_2O + 2 KI \rightarrow I_2 + O_2 + 2 KOH$$
$$I_2 + 2 Na_2S_2O_3 \rightarrow Na_2S_4O_6 + 2 NaI$$

Testování ozonizátoru

- Postup:
 - Na rotametu nastaven průtok
 - Připojena absorpční nádobka s 12 ml 2%ního roztoku KI
 - 1 min probublávání O_2 , na 5 minut zapnut zdroj vysokého napětí, další 1 min probublávání, 4 min stání
 - Do titrační baňky + 1,2 ml konc. H_2SO_4
 - Titrace $Na_2S_2O_3$ do světle žlutého zbarvení + škrobový maz (modrý roztok) – další titrace do odbarvení

Výsledky měření

- Tři trubice + induktor (6 V)


Poloha pečetě	Průtok kyselku (ml/min)	Spotřeba thioalenu (ml)	Množství ozonu (mg)	Koncentrace ozonu (%)
0	70,21	6,95	7,62	1,02
0,5	119,26	9,97	10,96	1,29
1	174,45	12,57	13,82	1,11
1,5	236,67	15,95	18,33	0,91
2	306,65	19,05	16,34	0,76
2,5	390,79	16,66	18,21	0,65
3	467,41	19,95	17,51	0,55
3,5	529,5	16,62	18,49	0,49
4	641,11	17,8	19,35	0,42

Výsledky měření



Výsledky měření





• Děkuji za pozornost.

PRACOVNÍ LIST – OZON (ZŠ)

Přezdívka.....

Třída.....

Věk.....

1. Doplňte chybějící slova v textu

Ozon je _____ kyslíku, jejíž molekula obsahuje _____ atomy kyslíku. Tvar molekuly je _____. Ozon je za normálních podmínek namodralý _____, který má silné _____ vlastnosti. Ozon vzniká v přírodě fotochemickými procesy nebo při elektrických výbojích. Proto je slabě cítit např. po _____.

Ozonová vrstva chrání všechny živé organismy před _____ zářením. Vyskytuje se v atmosféře, ve výšce asi _____ km. Tato část atmosféry se označuje jako _____. Ozonová vrstva je narušována různým typem chemických látek, např. _____. Tyto látky se přidávají např. do _____ směsí.

Ozon se využívá hlavně k _____ pitné vody. Díky svým silným oxidačním účinkům se používá také k bělení, např. _____ při výrobě papíru. V současné době se ozon využívá také v medicíně k léčbě _____ či ve stomatologii k léčbě _____ kazu.

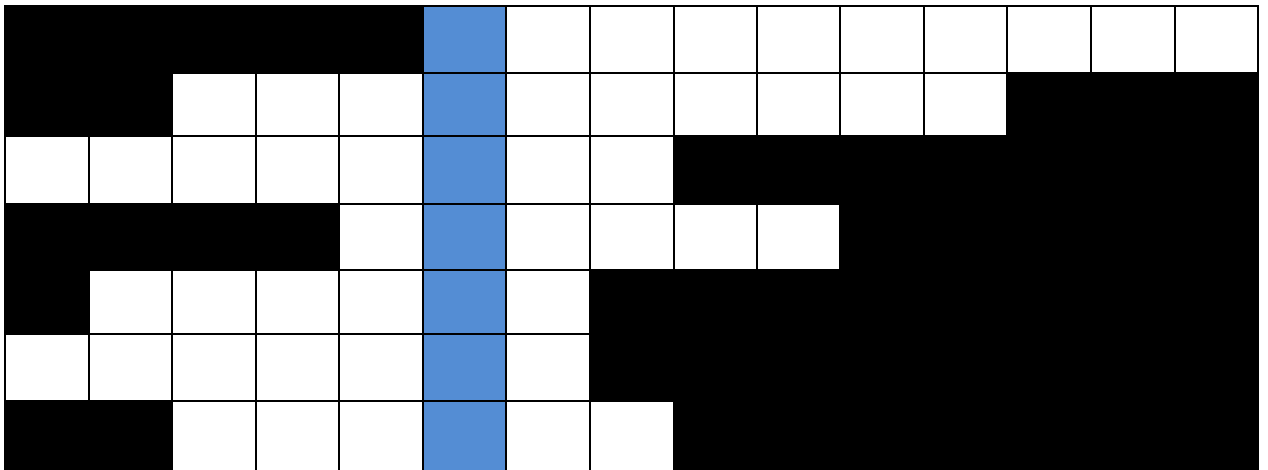
2. Doplňte schéma ozonizátoru

kyslík → _____ → ozonizační trubice → absorpční nádobka

↑

3. Nakreslete jednoduché schéma ozonizační trubice.

4. Vyluštěte křížovku.



Řádky:

- 1 – Část atmosféry, ve které má ozon škodlivé účinky na živočichy.
- 2 – Označení pro zabití mikroorganismů, např. ve vodě.
- 3 – Označení zdroje vysokého napětí, který navrhl např. Ruhmkorff.
- 4 – Látky, které narušují ozonovou vrstvu.
- 5 – Materiál, ze kterého je vyrobena vnější elektroda ozonizační trubice.
- 6 – Nejdůležitější část ozonizátoru se označuje jako ozonizační...
- 7 – Tvar molekuly ozonu.

Tajenka: _____ je způsobem chemické analýzy, který se používá při testování ozonizátoru.

5. Průběh stanovení ozonu

Zakreslete do čtverečků barevně průběh titrace jodu thiosíranem.

--	--	--	--

PRACOVNÍ LIST – OZON (SŠ)

Přezdívka.....

Třída.....

Věk.....

1. Doplňte chybějící slova v textu

Ozon je _____ kyslíku, jejíž molekula obsahuje _____ atomy kyslíku. Tvar molekuly je _____. Ozon je za normálních podmínek namodralý _____, který má silné _____ vlastnosti. Ozon vzniká v přírodě fotochemickými procesy nebo při elektrických výbojích. Proto je slabě cítit např. po _____.

Ozonová vrstva chrání všechny živé organismy před _____ zářením. Vyskytuje se v atmosféře, ve výšce asi _____ km. Tato část atmosféry se označuje jako _____. Ozonová vrstva je narušována různým typem chemických látek, např. _____. Tyto látky se přidávají např. do _____ směsí.

Ozon se využívá hlavně k _____ pitné vody. Díky svým silným oxidačním účinkům se používá také k bělení, např. _____ při výrobě papíru. V současné době se ozon využívá také v medicíně k léčbě _____ či ve stomatologii k léčbě _____ kazu.

2. Odpovězte na otázky.

Co znamená slovo ozonizace?

Jaký typ sloučenin můžeme ozonizovat?

Jaké jsou konečné produkty ozonizace?

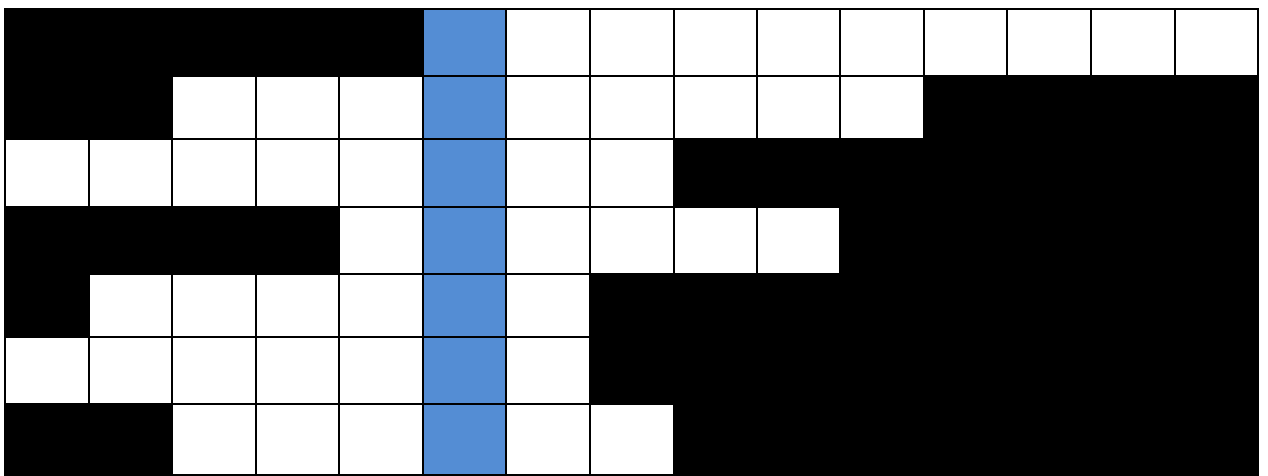
3. Doplňte schéma ozonizátoru

kyslík → _____ → ozonizační trubice → absorpční nádobka

↑

4. Nakreslete jednoduché schéma ozonizační trubice.

5. Vyluštěte křížovku.



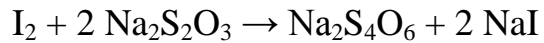
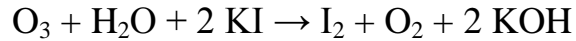
Řádky:

- 1 – Část atmosféry, ve které má ozon škodlivé účinky na živočichy.
- 2 – Označení pro způsob testování průtokoměru, který nám stanoví množství protékajícího kyslíku.
- 3 – Označení zdroje vysokého napětí, který navrhl Ruhmkorff.
- 4 – Látky, které narušují ozonovou vrstvu.
- 5 – Materiál, ze kterého je vyrobena vnější elektroda ozonizační trubice.
- 6 – Nejdůležitější část ozonizátoru se označuje jako ozonizační...
- 7 – Tvar molekuly ozonu.

Tajenka: _____ je způsobem chemické analýzy, který se používá při testování ozonizátoru.

6. Příklad

Testování ozonizátoru se provádí na základě schopnosti ozonu reagovat s jodidem draselným za vzniku jodu, který se následně titračně stanoví odměrným roztokem thiosíranu sodného. Tento proces popisují následující reakce:



Příklad:

Při titraci Vám vyšla spotřeba thiosíranu 17,6 ml. Vypočtěte množství vzniklého ozonu. Koncentrace roztoku thiosíranu je 0,0458 mol/dm³. Molární hmotnost (M) ozonu je 48 g/mol.

Zápis:

$$V(\text{thiosíranu}) = 17,6 \text{ ml}$$

$$c(\text{thiosíranu}) = 0,0458 \text{ mol/dm}^3$$

$$M(\text{ozonu}) = 48 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{ozonu}) = ?$$

Pracovní list – dezinfekční účinky ozonu

Popis:

Tento experiment názorně ukazuje dezinfekční účinky ozonu, které se využívají v průmyslu zpracování vody. Současně je spojen s pozorováním biologického materiálu.

Pomůcky: ozonizátor, senný nálev, mikroskop, kádinka, kapátko

Postup práce:

1) Příprava senného nálevu:

Seno zalijeme vodou, lehce přiklopíme a ponecháme několik dní v teplém prostředí.

2) Samotný experiment:

Pomocí kapátka odebereme vzorek vody ze senného nálevu a umístíme pod mikroskop, kde sledujeme veškeré žijící organismy. Následně tento vzorek ponecháme v absorpční nádobce ozonizátoru probublávat ozonem po dobu 5 minut. Kapátkem posléze opět odebereme vzorek z ozonizovaného nálevu a sledujeme pod mikroskopem. Všimáme si, které organismy přežily a také barvy a zápachu vzorku před a po ozonizaci.

Úkoly:

1) Pojmenujte alespoň 2 organismy, které jste pozorovali ve vzorku ze senného nálevu.

2) *Nakreslete 1 organismus pozorovaný ve vzorku a zařad'te jej do systému.*

3) *Popište parametry použitého ozonizátoru (typ průtokoměru, hodnota průtoku, použitá ozonizační trubice, zdroj vysokého napětí).*

4) *Popište mechanismus dezinfekčního působení ozonu na živé organismy (připojte stručný popis cytoplazmatické membrány buňky).*

5) *Charakterizujte barvu a zápach senného nálevu před a po ozonizaci.*

