

# PŘÍPRAVA A VYUŽITÍ OZONU VE ŠKOLNÍCH PODMÍNKÁCH

Václav Richtr, Milan Kraitr

**SOUHRN:** Článek se zabývá možnostmi přípravy ozonu pro demonstrační i preparativní účely. Uvedeny jsou také základní fyzikální a chemické vlastnosti ozonu. Pozornost je věnována rovněž využití ozonu a jeho vlivu na životní prostředí.

**Klíčová slova:** ozon, ozonizátor.

## 1 ÚVOD

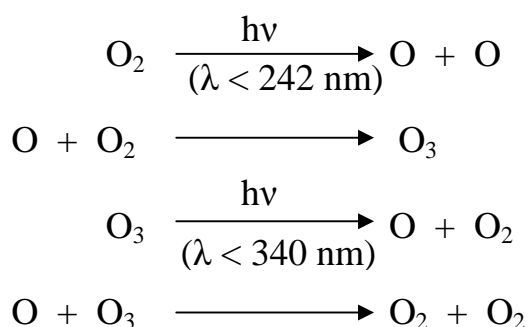
Pojem ozon vyvolává u lidí nejrůznější asociace. Je to např. vůně vzduchu po bouři. Dnes je ozon pravděpodobně nejvíce spojován s civilizačními problémy, především s jeho nepříznivými vlivy na životní prostředí v přízemní vrstvě vzduchu či naopak s jeho likvidací ve vyšších vrstvách atmosféry (tvorba „ozonových děr“). Zcela jasno v těchto záležitostech nemívají ani učitelé chemie, kteří by měli žáky aktuálně informovat. Na katedře chemie Fakulty pedagogické ZČU v Plzni se zabýváme využitím ozonu v organické chemii dlouhodobě. V roce 1975 byla zpracována první diplomová práce<sup>1</sup> s touto tematikou. Byla zaměřena na konstrukci zařízení pro ozonizaci gramových množství nenasycených sloučenin (ozonizační trubice zhotovená na zakázku podle Henneka a Perilsteina<sup>2</sup> dosahovala délky 1100 mm). V dalších letech byl na naší katedře modifikován Kláskův ozonizátor<sup>3</sup>, který svými parametry umožňuje jak ozonolýzu nenasycených sloučenin v semimikroměřítku, tak didaktické aplikace. Toto zařízení, využívající jako zdroj vysokého napětí automobilovou cívku napájenou ze speciálně zkonstruovaného síťového zdroje, nás inspirovalo k dalším konstrukcím. Přesto, že literatura uvádí i jiné možnosti získávání ozonu<sup>4-7</sup>, naše experimenty se trvale zaměřily na víceúčelová zařízení, využitelná k demonstraci vlastností ozonu ve výuce chemie i k přípravě ozonu pro aplikace v organické semimikrotechnice. Zaměřili jsme se při tom na modifikace ozonizačních trubic a hledání vhodného zdroje vysokého napětí. Postupně získávané zkušenosti jsme průběžně zveřejňovali.<sup>8-11</sup>

## 2 OZON A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

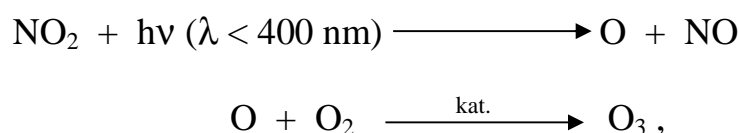
Ozon, který si laická veřejnost a bohužel mnohdy i na chemii orientovaní jednotlivci včetně učitelů chemie představují jako příjemně vonící, zdraví prospěšný plyn, odborná literatura popisuje zcela jinak<sup>12</sup>. Jedná se o nestálý, velmi reaktivní modrý diamagnetický plyn s charakteristickým ostrým zápachem, podle

kterého jej již v roce 1840 pojmenoval C. F. Schönbein (z řeckého ozein = čichati, páchnouti). Ozon kondenzuje na tmavě modrou kapalinu (teplota varu  $-111,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a černofialovou pevnou látku (teplota tání  $-192,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Jak kapalný, tak pevný ozon jsou výbušné v důsledku rozkladu na plynný  $\text{O}_2$ . Kapalný ozon se v libovolných poměrech mísí s methanem, oxidem uhelnatým, fluorem a jeho sloučeninami ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ,  $\text{CClF}_3$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{OF}_2$ ), ale tvoří dvě vrstvy s kapalným argonem, dusíkem, kyslíkem a tetrafluormethanem. Ozon může být podle zápachu (vůně) zjištěn již v koncentracích až 0,01 ppm; maximální povolená koncentrace, při které ozon nepůsobí dráždivě, je při dlouhodobém působení 0,1 ppm, při krátkodobém vdechování (do 10 minut) se považují za netoxické koncentrace až do 1 ppm.

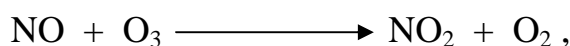
Problematikou výskytu ozonu v atmosféře, jeho dopadu na životní prostředí a jeho stanovením ve vzduchu a vodě se zabývají autoři Mikuška, Večeřa a Janák<sup>13</sup>, kteří citují 183 původních sdělení. Zatímco výskyt ozonu v přízemních vrstvách atmosféry (troposférický ozon ve vrstvě do 12 až 14 km od zemského povrchu) je pro všechno živé škodlivý, ozonová vrstva ve stratosféře (20 – 30 km od povrchu Země) chrání povrch Země před dopadem škodlivé ultrafialové složky ( $\lambda < 340\text{ nm}$ ) slunečního záření. Za normálních poměrů existuje rovnováha mezi vznikem stratosférického ozonu z molekulárního kyslíku  $\text{O}_2$  působením krátkovlnného ultrafialového záření ( $\lambda < 242\text{ nm}$ ) a jeho rozpadem vlivem dlouhovlnnější složky ultrafialového záření ( $\lambda < 340\text{ nm}$ ). Uvedené procesy lze popsat takto:



Do troposféry se stratosférický ozon dostává cirkulací vzduchu. Celkový vzrůst obsahu ozonu v přízemních vrstvách troposféry je také způsoben fotochemickou reakcí, která je katalyzovaná jinými látkami obsaženými v prostředí:

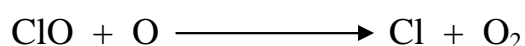
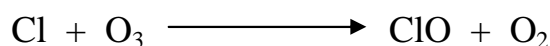


Zpětná reakce oxidu dusnatého na oxid dusičitý, probíhající podle rovnice



je velmi rychlá, a proto v čistém vzduchu, znečištěném lidskou činností (např. motorismem), je množství ozonu malé.

Problémem naší civilizace je neustálý pokles stratosférického ozonu, způsobený především emisemi halogenových polutantů, převážně freonů (uhlovodíků s obsahem chloru a fluoru) do ovzduší. Cirkulací atmosféry se tyto látky dostávají až do stratosféry, kde jsou štěpeny UV složkou slunečního záření za uvolnění elementárního chloru, který ve své reaktivní formě reaguje v katalytickém cyklu vedoucím k rozkladu ozonu takto:



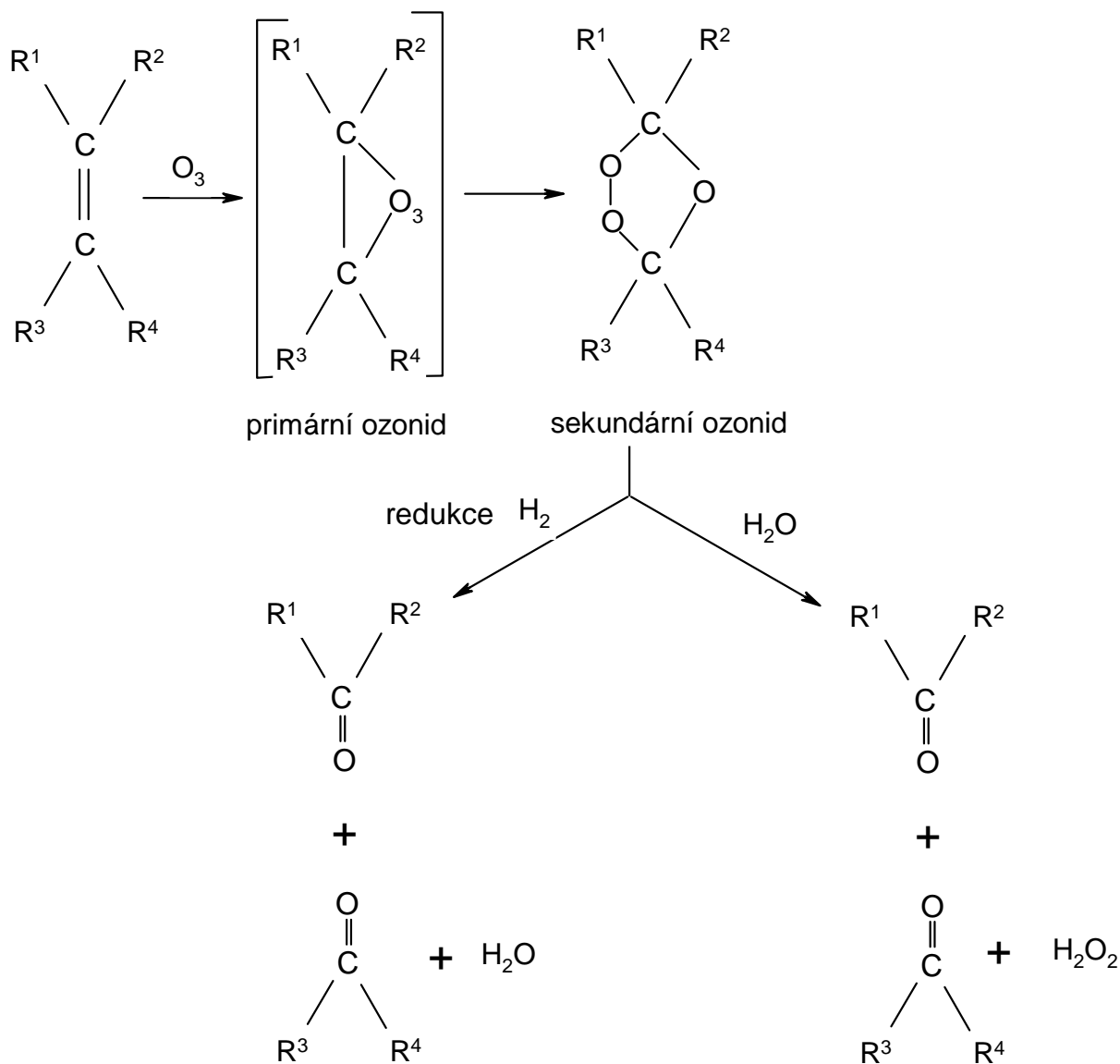
Většina atomů chloru je však vázána ve formě tzv. rezervoárových molekul, HCl a ClNO<sub>2</sub>, které spolu se specifickými sezonními podmínkami sehrávají klíčovou roli při vzniku tzv. ozonových děr, mj. v Antarktidě. Na celkovém úbytku ozonu se nepodílejí pouze oxidy dusíku produkované automobilovou dopravou, jak bylo uvedeno dříve, ale i lety nadzvukových letadel a kosmických lodí.

### 3 PRAKTICKÉ VYUŽITÍ OZONU

Z praktického hlediska je důležité to, že ozon je velmi reaktivní forma kyslíku. Do popředí vystupují jeho vlastnosti oxidační a schopnost tvorby nestabilních ozonidů s dvojnými vazbami organických sloučenin. Tyto vlastnosti jsou využívány všude, kde je ozon aplikován jako dezinfekční činidlo. V praxi je často využíván při úpravě vody pro pitné účely, kde nahrazuje dosud rozšířenější chloraci vody<sup>12,14</sup>. Zde se využívá především jeho oxidačních vlastností. Je využíván též jako moderní průmyslový bělicí prostředek<sup>15</sup>. Jak při ozonizaci vody, tak při průmyslových bělicích postupech se jedná o produkci velkých objemů ozonu v průmyslových ozonizátorech. Protože zde hrozí únik ozonu do ovzduší, jsou tyto operace monitorovány speciálně k tomu účelu vypracovanými analytickými metodami<sup>13</sup>.

Schopnost ozonu atakovat adičním mechanismem dvojnou vazbu organických sloučenin je využívána v analytické chemii nenasycených organických sloučenin a v organické syntéze *při přípravě karbonylových sloučenin*<sup>16</sup>, případně karboxylových kyselin. Jde o proces, při kterém v první fázi vzniká nestabilní primární ozonid, přesmykující na ozonid sekundární. Zatímco primární ozonidy vznikají při teplotách pod -70 °C, při teplotách v rozmezí -70 až -30 °C dochází k jejich přesmyku na ozonidy sekundární. Tyto ozonidy se neizolují (jsou obvykle výbušné), ale hned v roztoku jsou hydrolyticky nebo redukčně převáděny na karbonylové sloučeniny. Zatím co při hydrolytickém rozkladu vzniká jako vedlejší produkt peroxid vodíku, při redukčním rozkladu vzniká voda. Metodu rozkladu volíme v závislosti na charakteru vznikajících karbonylových sloučenin. Tam, kde vznikají pouze ketony, můžeme využít rozklad

hydrolytický. V případě vzniku aldehydů je výhodnější rozklad ozonidu redukcí (nejčastěji kovem v kyselině, např. zinkem v kyselině octové) nebo katalytickou hydrogenací. Pokud jako konečný produkt požadujeme karboxylovou kyselinu, je využitelná hydrolyza ozonidu s následným dooxidováním hydrolytických produktů některým z běžně využívaných oxidačních činidel.



Z uvedeného schématu je patrné, že popsáný proces přípravy ozonidu a jeho následného rozkladu, běžně uváděný pod souhrnným názvem *ozonolýza*, je za předpokladu dokázané struktury konečných karboxylových sloučenin využitelný v organické analýze k důkazu struktury výchozí nenasycené sloučeniny (olefinu). Vzhledem k tomu, že v současné době jsou studia struktury sloučenin založena převážně na spektrálních metodách, posouvají se množství ozonizovaných

sloučenin do řádu desítek miligramů, což se samozřejmě promítá do požadovaných nároků na množství použitého ozonu a tudíž do konstrukce ozonizátoru.

Ozonizace za účelem analytickým i preparativním se provádějí tak, že se chlazeným roztokem nenasyčené sloučeniny ve vhodném rozpouštědle nechá probublávat ozonizovaný kyslík s obsahem 2 až 5 % ozonu. Použité rozpouštědlo musí být k ozonu netečné. Často se užívá např. kyselina octová, chlorid uhličitý, petrolether apod.

## 4 KONSTRUKCE OZONIZÁTORŮ

Vzhledem k reaktivitě a nestabilitě se ozon připravuje vždy na místě spotřeby v ozonizátorech. V průmyslovém měřítku ozonizátory pracující při tlaku 0,1 až 0,2 MPa, napětí 15 až 20 kV a frekvenci 50 nebo 500 Hz produkují až tunová množství ozonu denně<sup>12</sup>. V laboratorních podmínkách je produkce ozonu udávána i v mg/min<sup>3,8</sup>, u některých zdrojů využívaných pro sledování obsahu ozonu v životním prostředí dokonce v µg/min<sup>5</sup>.

V případě laboratorních ozonizátorů, kterými se budeme dále zabývat, je ozonizátor tvořen ozonizační trubicí nebo baterií těchto trubic, připojených na vhodný zdroj vysokého napětí. Dále uváděné konstrukční alternativy (viz kap. 4.1 a 4.2) mohou posloužit též jako inspirace pro další konstrukce. V případech, kdy je žádoucí znát kvalitu a množství produkovaného ozonu, je nezbytným doplňkem vhodný průtokoměr, který si předem okalibrujeme pro daný rozsah průtoků plynu vstupujícího do ozonizační trubice jímáním plynu do odměrného válce v pneumatické vaně. Vzhledem k tomu, že jsou rozdíly ve fyzikálních vlastnostech (hustota, viskozita) vzduchu a kyslíku, je pro přesnější měření nutno provádět kalibraci průtokoměru pro každý plyn zvlášť. Má-li být ozonizátor použit pro preparativní účely, je vhodné znát jeho charakteristiku (celkové množství produkovaného ozonu za minutu a koncentraci ozonu v ozonizované směsi při daném průtoku). K tomu účelu se nejčastěji využívá titrace jodu uvolněného při reakci ozonu s jodidem draselným v neutrálním prostředí<sup>17</sup>.

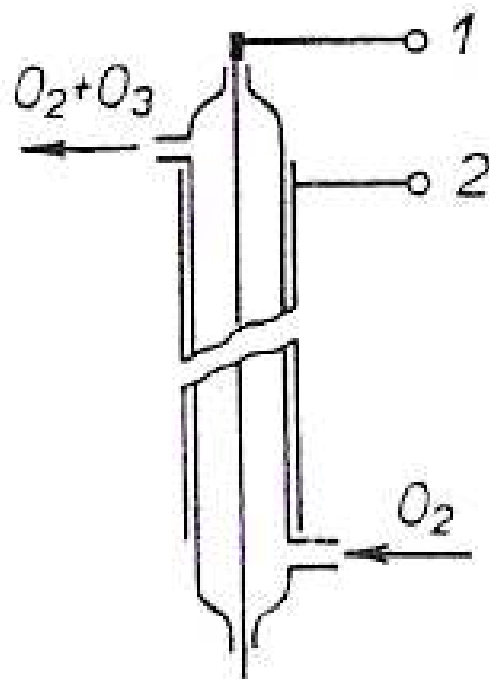
### 4.1 ZDROJE VYSOKÉHO NAPĚTÍ

Při našich experimentech byl jako zdroj vysokého napětí použit Ruhmkorffův induktor napájený baterií Ni-Fe článků s možností odvětvení napětí 6 až 12 V, což umožňuje bezpečný provoz ozonizačních trubic při 25 až 85 kV. Jako alternativní zdroj vysokého napětí byl užit vyřazený černobílý televizor Ogoňok, jehož součástí je síťový oddělovací transformátor. Úprava televizoru s funkční vysokonapěťovou částí spočívá v úplném odpojení obrazovky a v jejím zavzdušnění odlomením vakuovacího zátavu. Vhodné je i odpojení ostatních, pro provoz vysokonapěťové části zbytečných, obvodů. Pro napájení ozonizační trubice je vhodné vysokofrekvenční napětí 15 kV (15,6 kHz), které je přiváděno na klobouček vysokonapěťové diody. Toto napětí se snadno odvětzuje sejmutím přívodu z kloboučku diody (jako při její výměně) a připojením přívodu na vnitřní

elektrodu ozonizační trubice. Druhá elektroda je připojena ke kostře televizoru. Oba přívody, to znamená připojení vysokého napětí na vnitřní elektrodu a kostry na vnější elektrodu ozonizační trubice, jsou z bezpečně zakrytého televizoru provedeny vysokonapěťovým kabelem užívaným k propojení cívky se svíčkou automobilu.

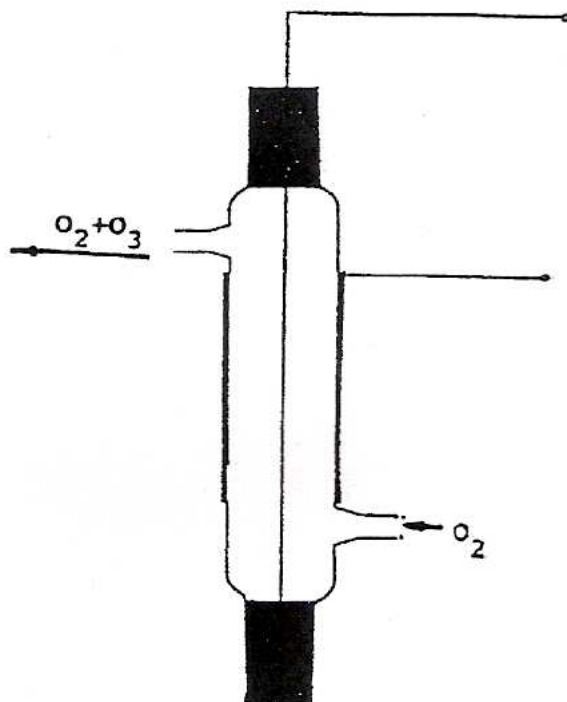
## 4.2 OZONIZAČNÍ TRUBICE

Nejdůležitější součástí ozonizátoru jsou ozonizační trubice. V principu se jedná o sousedé uspořádání obvykle skleněných trubic, které umožňuje průchod vzduchu nebo kyslíku válcem, v jehož středu je jedna elektroda a na povrchu elektroda druhá tak, aby po vložení dostatečně vysokého napětí mohl mezi elektrodami probíhat tzv. tichý výboj. Výše uvedený Ruhmkorffův induktor (viz kap. 4.1) umožňuje připojení ozonizační trubice používané v makroměřítku<sup>2</sup> (v gramových množstvích), která je zajímavá délkou dráhy ozonizovaného kyslíku (téměř 2 m) i konstrukcí, neboť centrální elektroda je tvořena skleněnou trubicí naplněnou rtutí a vnější elektroda je tvořena vodním pláštěm připojeným k vodovodu. Protože se jedná o parametry ve školních podmínkách těžko využitelné, přiklonili jsme se k využití Kláskovy<sup>3</sup> trubice, konstruované pro semimikrotechniku. Její rozměry byly autory navrženy pro připojení na automobilovou zapalovací cívku. Tuto ozonizační trubicí (viz obr. 1) tvoří skleněná trubka o světlosti 6,5 mm a vnějším průměru 8 mm, která je na obou



Obr. 1 Ozonizační trubice

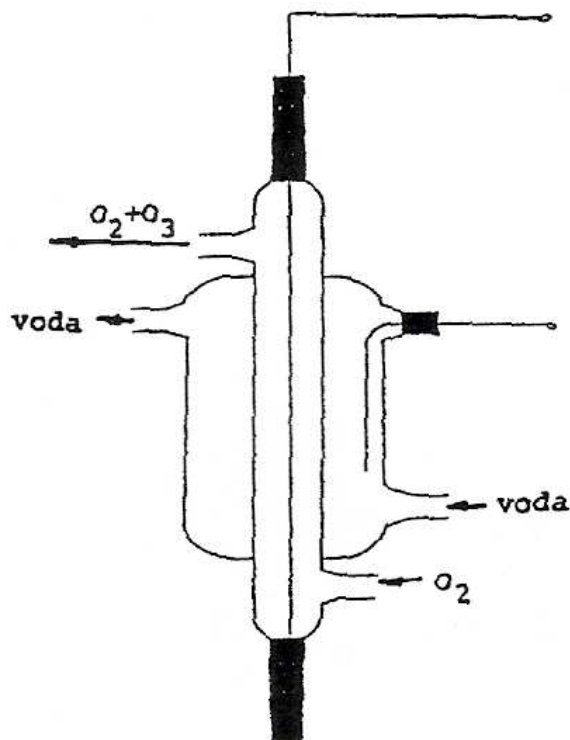
koncích zúžena do silnostěnné kapiláry světlosti 2,2 mm a délky 10 – 20 mm. Délka nezúžené části trubice je 160 mm. Přibližně 5 mm od místa zúžení jsou na obou koncích trubice přitaveny olivky pro přívod kyslíku (vzduch) a pro odvod směsi kyslík – ozon. Kapilárními konci trubice je provlečen poniklovaný drát (použili jsme cyklistický výpletový drát z kola). Drát je v kapiláře těsně upevněn epoxidovou pryskyřicí. Vně je trubice ovinuta hliníkovou fólií (alobal) v délce 130 mm. Drát a hliníková fólie tvoří dvě elektrody připojené vysokonapěťovým kabelem na zdroj vysokého napětí. Tři takto zkonstruované trubice zapojené v sérii tvoří ozonizační baterii, která může být připojena na induktor (viz kap. 4.1) napájený napětím 6 V. Při tomto napětí induktor na sekundárním vinutí (vyvedeno na jiskřiště) poskytuje asi 25 kV. Aby se zabránilo proražení původních trubic, modifikovali jsme jejich rozměry zvětšením vnějšího průměru trubice na 14 mm (obr. 2). Spojením tří takto upravených trubic do série se vytvořila ionizační baterie, která při připojení na jiskřiště induktoru napájeného napětím 9 V a při průtoku kyslíku  $45 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  produkuje kyslík s 2,7 % hm. ozonu.



Obr. 2 Modifikovaná ozonizační trubice (vnější průměr 14 mm)

Připojením této baterie na vysokofrekvenční vysoké napětí televizoru (viz kap. 4.1) docházelo k velmi rychlému zahřívání trubic, které znemožňuje jejich dlouhodobější využití. Proto byla ozonizační trubice opatřena vnějším chladícím pláštěm (vnější průměr trubice 24 mm), do něhož po celé délce zasahuje měděný drát. Ten spolu s vodním pláštěm tvoří vnější elektrodu. Vnitřní elektroda je tvořena stejně jako u trubic předchozího typu poniklovaným drátem z jízdního kola

(viz obr. 3). Toto uspořádání umožňuje dlouhodobý provoz s dostatečnou produkcí ozonu pro preparativní účely.

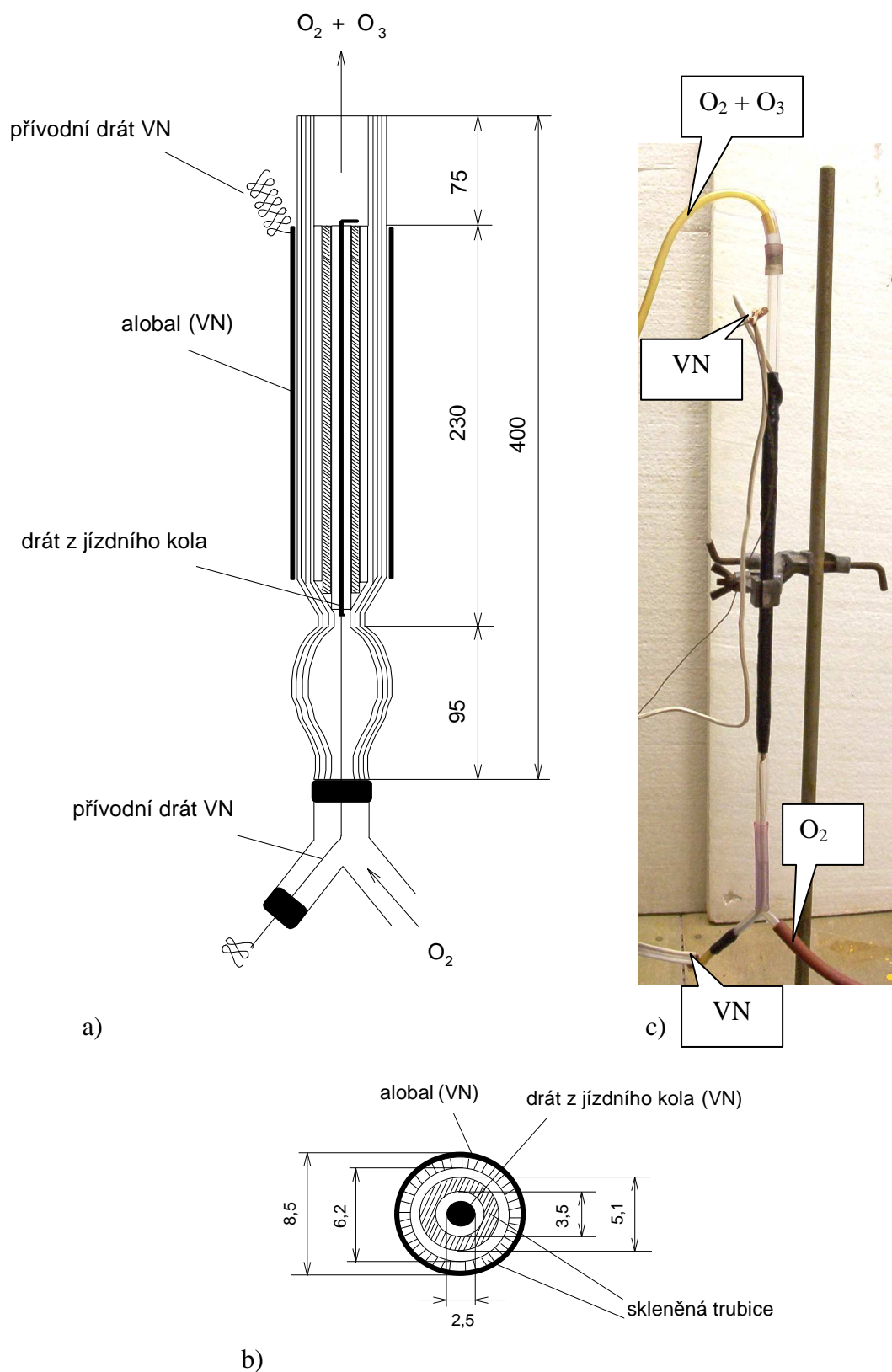


**Obr. 3 Ozonizační trubice napájená vysokofrekvenčním napětím z televizoru**

Celková délka trubice: 273 mm; délka nezúžené části trubice: 235 mm; délka trubice tvořící obal vodního pláště: 119 mm; šířka ozonizační trubice: 14 mm; šířka trubice tvořící obal vodního pláště: 24 mm

Všechna uvedená zařízení vyhovovala našim potřebám, tj. produkci ozonu pro ozonolýzy nenasycených organických sloučenin v semimikroměřítku (do 1 g látky). Jejich nevýhodou je malá naděje na využití k demonstračním účelům do škol vzhledem k náročnosti konstrukce ozonizačních trubic vyžadující spolupráci skláře. Tento nedostatek odstraňuje trubice, kterou si může zhotovit každý učitel sám, pokud má k dispozici plynový kahan, umožňující běžné zpracování trubic z měkkého skla podle přiloženého nákresu (obr. 4).





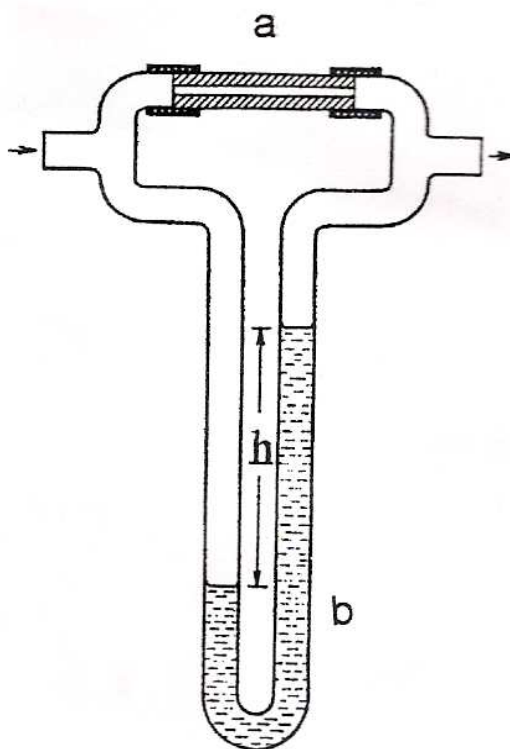
Obr. 4 Ozonizační trubice

VN – vysoké napětí, a), b) podélný a příčný řez (rozměry jsou uvedeny v mm), c) celkový pohled na ozonizační trubici

Produkce ozonu s použitím této trubice připojené na Ruhmkorffův induktor napájený z baterie napětím 6 V je podle reakce vystupujícího plynu s jodidem draselným<sup>17</sup> při stejných průtocích kyslíku překvapivě vysoká: srovnatelná nebo dokonce vyšší než u předchozí konstrukce (obr. 1).

### 4.3 MĚŘENÍ PRŮTOKU OZONIZOVANÝCH PLYNŮ

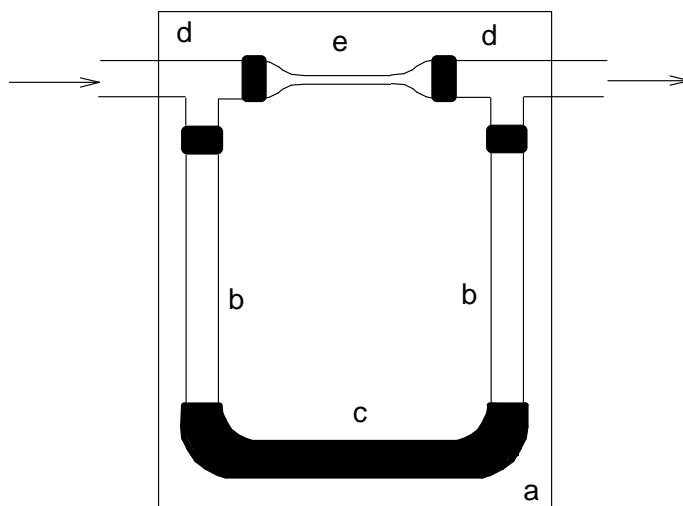
K měření množství prošlého plynu můžeme využít různé průtokoměry<sup>4</sup>. Nejčastěji používáme průtokoměry kapilární, tzv. reometry, které jsou použitelné po výměně kapiláry (a) pro různé rozsahy průtoků plynu (obr. 5). Proudí-li plyn zúženou trubicí (kapilárou), dochází na začátku zúžení k zvětšení a na konci zúžení k poklesu tlaku. Tento rozdíl je měřitelný na manometru (b), kde se projeví rozdílem výšek hladiny (h) kapaliny v obou ramenech.



Obr. 5 Kapilární průtokoměr

a – výměnná kapilára, b - manometr

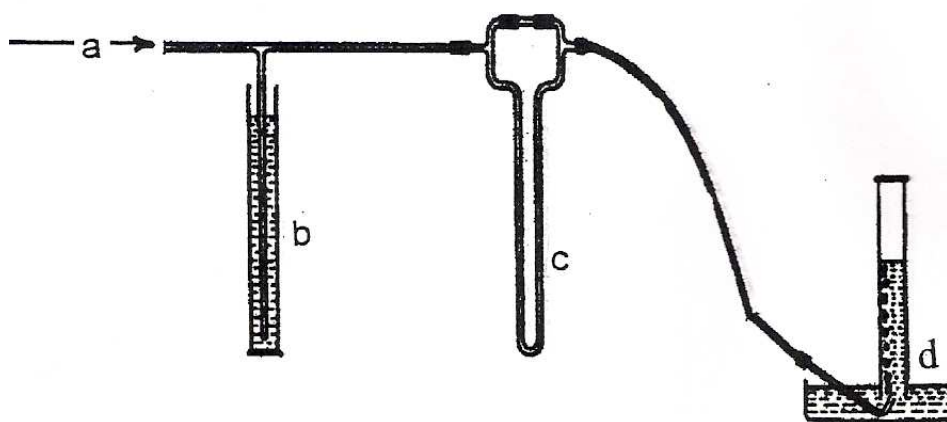
Průtokoměr plníme kapalinou, nejčastěji vodou. Můžeme použít i řadu jiných kapalin, které s naměřeným plynem nereagují. Rtuť však pro svou vysokou hustotu vhodná není. Zásada je taková, že čím je hustota použité kapaliny nižší, tím je průtokoměr citlivější a tím méně musíme seškrtnit použitou kapiláru. Průtokoměr znázorněný na obr. 5 se dá sestavit velmi jednoduše z dostupných dílů podle experimentálních požadavků. Nejméně náročné provedení je znázorněno na obr. 6. Na základní desku z akulitu (děrovaného sololitu) jsou drátky upevněny dvě



**Obr. 6 Jednoduchý průtokoměr sestavený z dostupných dílů:**

a – základní deska, b – skleněná trubice, c – hadička, d – T-kus,  
e – výměnná kapilára

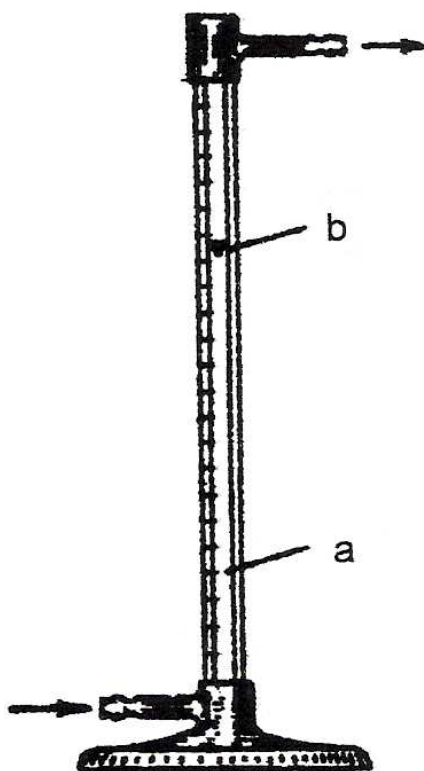
skleněné trubičky (b) propojené hadičkou (c) a spojené s T kusy (d), mezi které se vkládá do kapiláry zúžená trubice (e). Pro usnadnění a zpřesnění kalibrace je vhodné trubice (b) podložit proužky milimetrového papíru. Rozsah použití průtokoměru lze stejně jako u profesionálních výrobků měnit volbou kapiláry (e) vhodného průřezu. Při kalibraci průtokoměru postupujeme tak, že do něho přivádíme plyn pod stálým přetlakem. Tento přetlak nastavíme redukčním ventilem tlakové láhve s použitým kyslíkem, nebo vřazením vyrovnávače tlaku (obr. 7), kde je přetlak nastavitelný hloubkou ponoření trubice do kapaliny, případně hustotou použité kapaliny ve válci (b). Jakmile se kapalinový sloupec manometru ustálí, změříme rozdíl hladin manometru a objem plynu, který vyteče za časovou jednotku z druhého ramene manometru. Plyn jímáme do odměrného válce potřebného objemu.



**Obr. 7 Kalibrace průtokoměru**

a – přívod plynu, b – vyrovnávač tlaku, c – průtokoměr,  
d – pneumatická vana s odměrným válcem

Na zcela jiném principu pracuje průtokoměr padáчковý (rotametr). Ve svislé, nahoru se nepatrně rozšiřující cejchované trubici (a) se v proudícím plynu vznáší plováček (b), jehož poloha je dána přetlakem proudícího plynu. Plovák má na horním okraji šikmé zářezy, které způsobují jeho roztočení. Tato rotace zlepšuje stabilitu plováku a zabraňuje jeho přilepení ke stěnám. Průtokoměry tohoto typu jsou tvořeny sadou cejchovaných trubic a plováků různých průměrů, těsně upevnitelných do univerzálního stojanu (obr. 8).



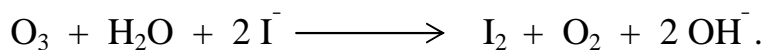
Obr. 8 Padáчковý průtokoměr (rotametr)

a – vertikální trubice se stupnicí, b - plováček

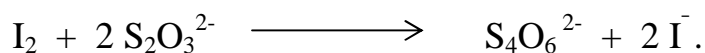
Pro práci v semimikroměřítku je využitelná trubice nejmenšího průřezu. Toto zařízení se dá do jisté míry improvizovat byretou s odříznutým kohoutem uchycenou kolmo v držáku a uzavřenou vrtanou dobře těsnící gumovou zátkou s odvodní trubičkou. V takto upravené byretě se v proudu spodem přiváděného plynu vznáší lehký materiál vhodného tvaru (pěnový polystyren, peříčko apod.). I průtokoměry tohoto typu (profesionální i amatérsky zhotovené) vyžadují kalibraci jako průtokoměry kapilární (obr. 7).

#### 4.4 TESTOVÁNÍ OZONIZÁTORU

Při testování ozonizátoru je využita schopnost ozonu kvantitativně reagovat s jodidem draselným v neutrálním prostředí podle rovnice:



Uvolněný jod je po okyselení titrován odměrným roztokem thiosíranu sodného:



Vlastní testování je prováděno tak, že je po definovanou dobu při známých průtocích zaváděn ozonizovaný plyn do nadbytku 2% roztoku jodidu draselného a následně je provedena titrace okyseleného roztoku uvolněného jodu roztokem thiosíranu sodného ( $c = 0,05 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) na škrob. Pro každý průtok ozonizovaného plynu je měření provedeno třikrát a průměrné spotřeby odměrného roztoku thiosíranu jsou přepočteny na množství tomu odpovídajícího ozonu, neboť  $1 \text{ cm}^3 \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ( $c = 0,05 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) představuje  $2,4 \text{ mg O}_3$ . Vypočtené hodnoty se zpracují do tabulky, případně do grafu jako závislost množství vznikajícího ozonu [mg] na průtoku ozonizovaného plynu [ $\text{cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$ ].

Jednotlivá měření byla prováděna takto: Absorpční nádobka (obr. 9) byla naplněna  $12 \text{ cm}^3$  2% roztoku jodidu draselného. Do roztoku byl zaváděn kyslík, jehož průtok byl seřízen podle průtokoměru na konkrétní hodnotu do  $750 \text{ cm}^3$  za minutu (pro větší průtoky by bylo potřeba zvětšovat rozměry absorpční nádobky). Po ustálení proudu kyslíku byl současně se stopkami zapnut na pět minut induktor. Po uplynutí této doby byl induktor vypnut. Zavádění ozonizovaného kyslíku pokračovalo ještě minutu (u nejnižších průtoků 2 minuty), aby došlo k úplnému vynesení vzniklého ozonu do absorpční nádobky). Po dalších čtyřech minutách byl obsah absorpční nádobky kvantitativně (přelitím a spláchnutím dvakrát  $10 \text{ cm}^3$  destilované vody) převeden do titrační baňky. Po přidání  $5 \text{ cm}^3$  zředěné kyseliny sírové (1:3) byla provedena titrace roztokem thiosíranu sodného ( $c = 0,05 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) do téměř nezatelného nažloutlého tónu a po přidání škrobového mazu (zmodrání) do odbarvení.



Obr. 9 Absorpční nádobka

## 5 ZÁVĚR

Problematika výskytu ozonu v ekosféře, jeho vlastností a dopadů na život člověka jsou dnes mimořádně aktuální. Výuka chemie se v souvislosti s problematikou ozonu může opírat nejen o suché aktualizace, ale také o experimenty. Ani v době moderních výukových trendů včetně počítačových simulací chemických experimentů neztrácí na významu reálný experiment. Příkladem nedávno popsaného využití ozonu ve školním experimentu je přeměna isoeugenolu na vanilin publikovaná P. Pfeiferem<sup>18</sup>. Popsaný postup využívá vedle ozonizace také tenkovrstvou chromatografii jako metodu kontroly průběhu ozonolýzy.

V tomto pojednání jsme se pokusili podat přehled možností přípravy ozonu ve školních podmínkách. Popsané postupy a zařízení nejsou míněny jako pevný návod, ale jako inspirace pro realizace odpovídající možnostem jednotlivých experimentujících učitelů.

Využitelnost popsaných ozonizačních trubic ve výuce chemie spočívá samozřejmě zejména v demonstraci vlastností ozonu. Ozonolýza nenasycených organických sloučenin v semimikroměřítku (kolem 100 mg nenasycené sloučeniny) má využití především ve vysokoškolské didaktice.

Obecně platí, že na stejné trubici se zvyšuje produkce ozonu se zvyšujícím se napětím vkládaným na primární vinutí induktoru. Použité napětí je však omezeno rozměry a konstrukcí trubice.

V případě využití vysokofrekvenčního zdroje vysokého napětí (televizor) je třeba počítat se zahříváním ozonizačních trubic, které je vhodné opatřit vodním chlazením.

Při použití stejné ozonizační trubice a určité hodnoty vysokého napětí vzrůstá celkové množství ozonu se vzrůstajícím průtokem kyslíku, ale jeho koncentrace je nejvyšší při určitém poměrně nízkém průtoku a se zvyšujícím se průtokem klesá v důsledku ředění vznikajícího ozonu nadbytečným kyslíkem.

## LITERATURA

1. Honz Z.: *Ozonizace některých triterpenických sloučenin* (diplomová práce). Pedagogická fakulta v Plzni, Plzeň 1975.
2. Henne A.L., Perilstein W.L.: J. Am. Chem. Soc. **65**, 2183 (1943).
3. Klásek A., Hrbek ml. J., Hruban L.: Chem. Listy **62**, 207 (1968).
4. Keil B. a kol.: *Laboratorní technika organické chemie*. ČSAV, Praha 1963.
5. Podhájecký P., Langmaier J., Trojánek A.: Chem. Listy **87**, 302 (1993).
6. Mikuška P., Štikarovský J., Zdráhal Z.: Chem. Listy **87**, 441 (1993).
7. Hynková I.: Biologie – Chemie – Zeměpis **6**, 124 (1997).
8. Richtř V., Kraitř M., Štrofová J., Skálová I.: *50. Sjezd chemických společností*, str. 154. Vydavatelství UP, Olomouc 1997.
9. Richtř V., Kraitř M., Štrofová J.: *Nové trendy vzdělávání učitelů přírodovědných oborů*, str. 189. Karolinum, Praha 1998.
10. Kraitř M., Richtř V., Štrofová J.: *Materiały międzynarodowego seminarium problemów dydaktyki chemii*, str. 21. Uniwersytet Opolski, Opole 1997.
11. Richtř V., Kraitř M., Štrofová J.: Chemické rozhledy **5**, 149 (2004).

12. Greenwood N.N., Earnshaw A.: *Chemie prvků* (svazek 1). Informatorium, Praha 1993.
13. Mikuška P., Večeřa Z., Janák J.: Chem. Listy **86**, 407 (1992).
14. Neiser J., Hauzar I., Kraitr M., Jelínek F.: *Obecná chemická technologie*. SPN, Praha 1981.
15. Kraitr M., Štrofová J., Ríchnr V., Nápravník V.: *Chemie XVIII* (sborník katedry chemie), str. 53. ZČU, Plzeň 2000.
16. Červinka O., Dědek V., Ferles M.: *Organická chemie*. SNTL, Praha 1970.
17. Laitinen H.A.: *Chemical Analysis*. Mc Graw-Hill, New York 1960.
18. Pfeifer P., Zurawski A., Röder T.: Unterricht Chemie **15**, 34 (2004) Nr. 84.

## **PREPARATION AND USE OF OZONE AT SCHOOL CONDITIONS**

### **Summary**

Possibilities of the ozone preparation for demonstrative purpose are given. Physical and chemical properties of ozone are described as well. Attention is paid to the ozone use and its influence on the environment.

**Key words:** ozone, ozone preparation.