

Experimenty s ozonem

Projekt Experimenty s ozonem vede k samostatné práci studentů pod vedením zkušeného pedagoga – experimentátora. Zahrnuje nejen oblast chemie (kyslík, ozon), ale zasahuje též do oblasti biologie, ekologie a fyziky. Kromě práce s ozonem se v tomto projektu věnujeme měření průtoku plynu a konstrukci průtokoměrů.

Využité přístroje:

ozonizátor, kapilární průtokoměr

Cílová skupina/náročnost: studenti 1. až 4. ročníku gymnázia

Všechny uvedené texty, obrázky a videa jsou vlastní, není-li uvedeno jinak. Autory Youtube embed videí lze nalézt při kliknutí na znak Youtube ve videu během přehrávání.

Autor:

doc. Václav Richtř

K plnohodnotnému využití této studijní opory je nutný přístup k on-line zdrojům a materiálům.

Tento materiál vznikl z finanční podpory Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky v rámci projektu „Popularizace vědy a badatelsky orientované výuky“, reg .č. CZ.1.07/2.3.00/45.0007.

1 Základní informace o projektu

Název

Experimenty s ozonem

Anotace programu/zaměření/hlavní cíl

Projekt je zaměřen na práci s ozonem a na využití jeho vlastností. S tím souvisí i měření průtoku plynů a konstrukce průtokoměru.

Cílová skupina

Studenti 1. až 4. ročníku gymnázia

Organizační podmínky

3členné až 4členné skupiny

Mezipředmětové vztahy

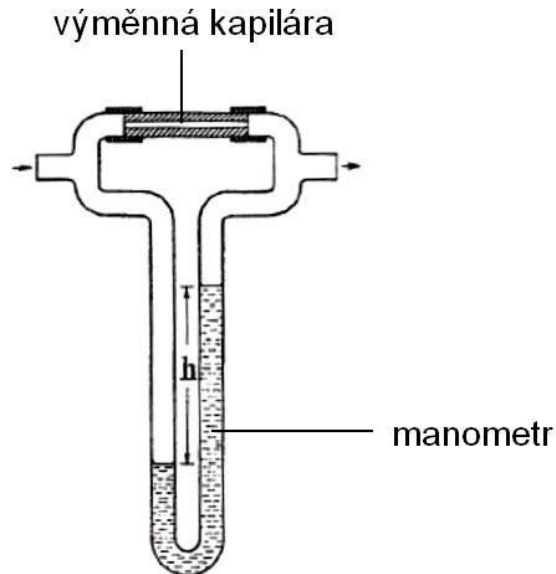
Chemie, fyzika, ekologie, biologie

2 Poznámky k využití přístrojů

Projekt umožňuje zařazení jednotlivých aktivit podle vybavení pracoviště a schopnosti účastníků projektu k různým improvizacím. Bez nároků na přístrojové vybavení je pouze aktivita 1 a 6. Tyto aktivity jsou teoretickou přípravou pro realizaci ostatních s různým stupněm náročnosti. Aktivity 7 až 11 vyžadují funkční ozonizátor doplněný vhodným zdrojem kyslíku (tlakovou lahví s redukčním ventilem) a průtokoměrem. Požadavky jednotlivých aktivit na vybavení vyplynou po přečtení textu, který se jich týká.

3 Měření průtoku ozonizovaného kyslíku

K měření množství plynu procházejícího zařízením za časovou jednotku užíváme různé průtokoměry, jejichž funkce je založena na různých principech. Nejčastěji se jedná o průtokoměr kapilární nebo padáčkový, ve speciálních případech, kdy je třeba měřit velmi malé průtoky plynů, je užíván průtokoměr bublinový. Ve školní praxi je téměř univerzálně využitelný průtokoměr kapilární, který lze poměrně snadno bez větších nároků zhotovit amatérsky a následně otestovat.



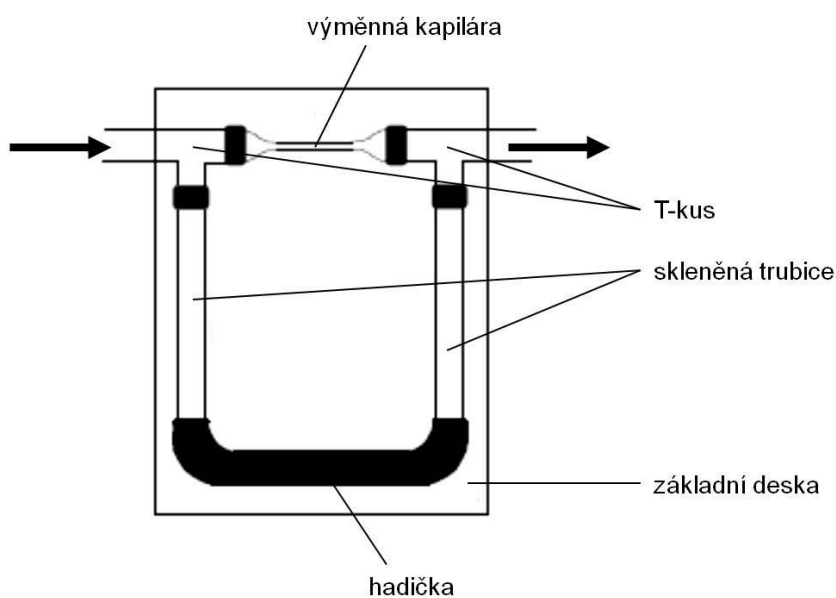
Kapilární průtokoměr znázorněný na obr. 1 využívá známého jevu, kdy plyn vstupující do zúžené trubice (kapiláry) má vyšší tlak než plyn za zúžením. Rozdíl obou tlaků je měřen manometrem, plněným kapalinou, nejčastěji obarvenou vodou. Rozdíl mezi hladinami kapaliny (h) je úměrný rychlosti proudění plynu kapilárou a je závislý na hustotě kapaliny. Platí to, že čím je hustota kapaliny větší, tím je rozdíl (h) menší, a tudíž měření je méně přesné a naopak. Teoretické zdůvodnění uvedených jevů nalezneme v učebnicích fyziky pod pojmy Bernoulliho rovnice, případně Venturiho trubice.

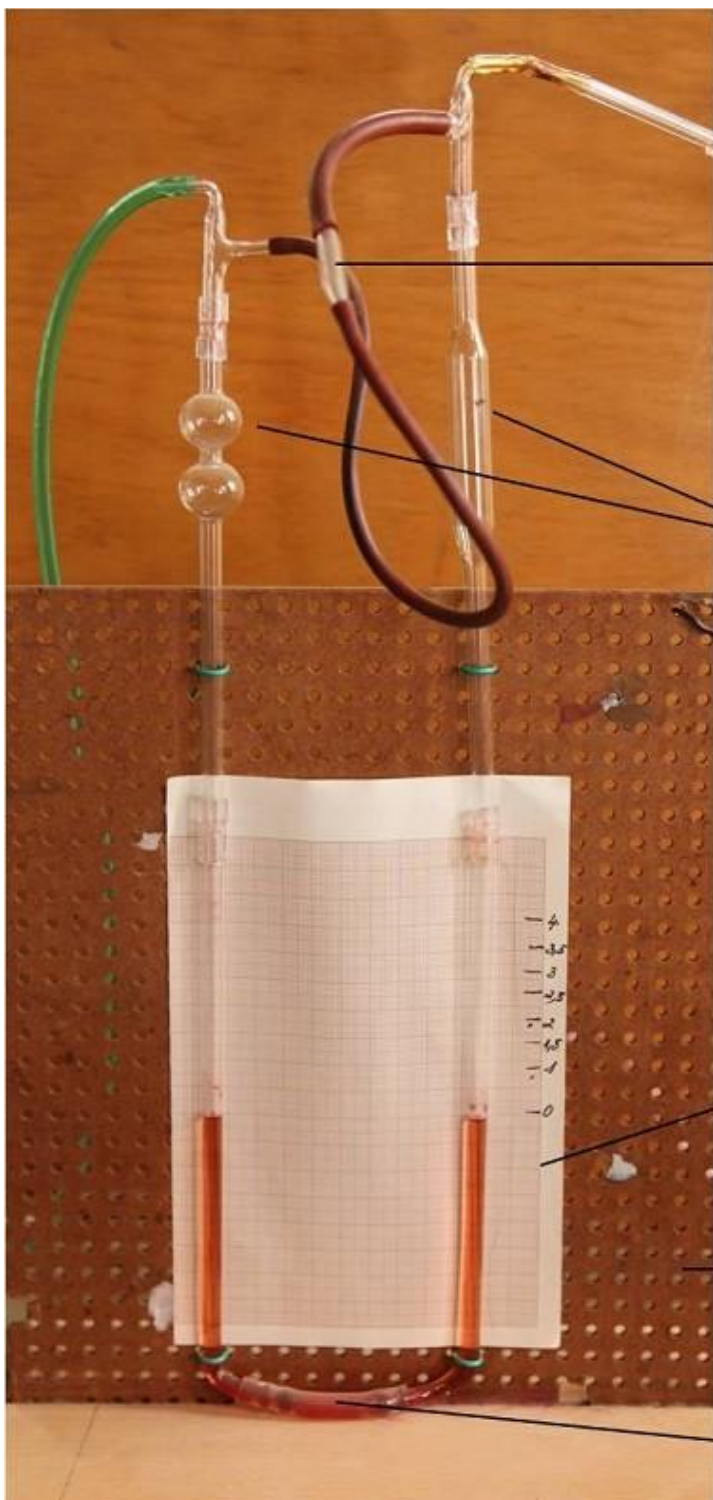
4 Zhotovení improvizovaného kapilárního průtokoměru

Velmi jednoduchý kapilární průtokoměr zhotovíme podle schematického obrázku 2, kdy na základní desku připevníme drátkem dvě skleněné trubice, propojené hadičkou vhodného průřezu. Obě trubice jsou kousky hadiček spojené s T-trubicemi, mezi které se vkládá kapilára vhodného průřezu. Průřez kapiláry je třeba ověřit experimentálně testováním (viz dále). Při ověřování funkce průtokoměru bylo zjištěno, že je třeba před napojené měrné trubice na T-kusy propojené kapilárou zařadit rezervoár, který zabrání při náhlé změně tlaků v ramenech průtokoměru přestříknutí kapaliny do systému. Reálné uspořádání průtokoměru je patrné z obr. 3.

Tento průtokoměr je tvořen deskou z děrovaného sololitu rozměrů 25 x 30 cm, která je vsazena do základové desky rozměrů 25 x 20 cm. Na desku jsou ve vzdálenosti 10 cm rovnoběžně připevněny drátky dvě skleněné trubičky průřezu 6 mm, ohnuté do pravého úhlu a ve spodní části (na základové desce) propojené polyethylenovou hadičkou. Trubičky jsou pomocí proužků polyethylenové hadičky prodloužené částmi pipety, které tvoří výše popisovaný rezervoár manometrické kapaliny pro případ tlakového rázu.

Druhý konec pipetových nástavců je polyethylenovou hadičkou spojen v plameni upraveným komerčně dodávaným T-kusem, umožňujícím vsazení průtok plynu omezující kapiláry a přívod a odvod protékajícího plynu. Kapilára, která umožňuje průchod směsi kyslíku s ozonem, je z důvodu snadné vyměnitelnosti vsazována mezi dvě dostatečně dlouhé polyethylenové hadičky. Zařazujeme-li průtokoměr ještě před ozonizační trubice, kde prochází čistý kyslík, mohou být propojovací hadičky pryžové. Na desku pod trubičky s kapalinou je vkládán milimetrový papír, na který jsou označovány polohy menisku kapaliny pro konkrétní průtoky plynů.





kapilára omezující
průtok plynu

pojistný rezervoár
pro náhlý tlakový ráz

milimetrový papír

deska z děrovaného
sololitu

spojovací hadička

5 Zhotovení kapiláry průtokoměru

Kapilára musí být z důvodu snadné manipulace mechanicky odolná, rozměrově odpovídající napojení na T-kusy a svým průřezem odpovídající požadovanému průtoku plynu. Nejjednodušší je při použití plynového kahanu vsunout skleněnou trubičku do plamene tak, že její střed zasahuje do tmněji zbarvené oblasti plamene, která je chladnější, a její okraje do nesvítivé, výhřevnější oblasti (obr. 4). Po důkladném prohřátí trubičky za rovnoměrného otáčení v plameni trubičku z plamene vyjmeme a okamžitě upažíme. Po oddělení vytažených kapilár středovou nevytaženou část oboustranně vkládáme do plamene, přičemž sledujeme postupné uzavírání otvorů až do požadované průchodnosti po vložení do průtokoměru, kde se snažíme o optimální využití průtokoměru. Celý postup zhotovení kapiláry je patrný z obr. 5.



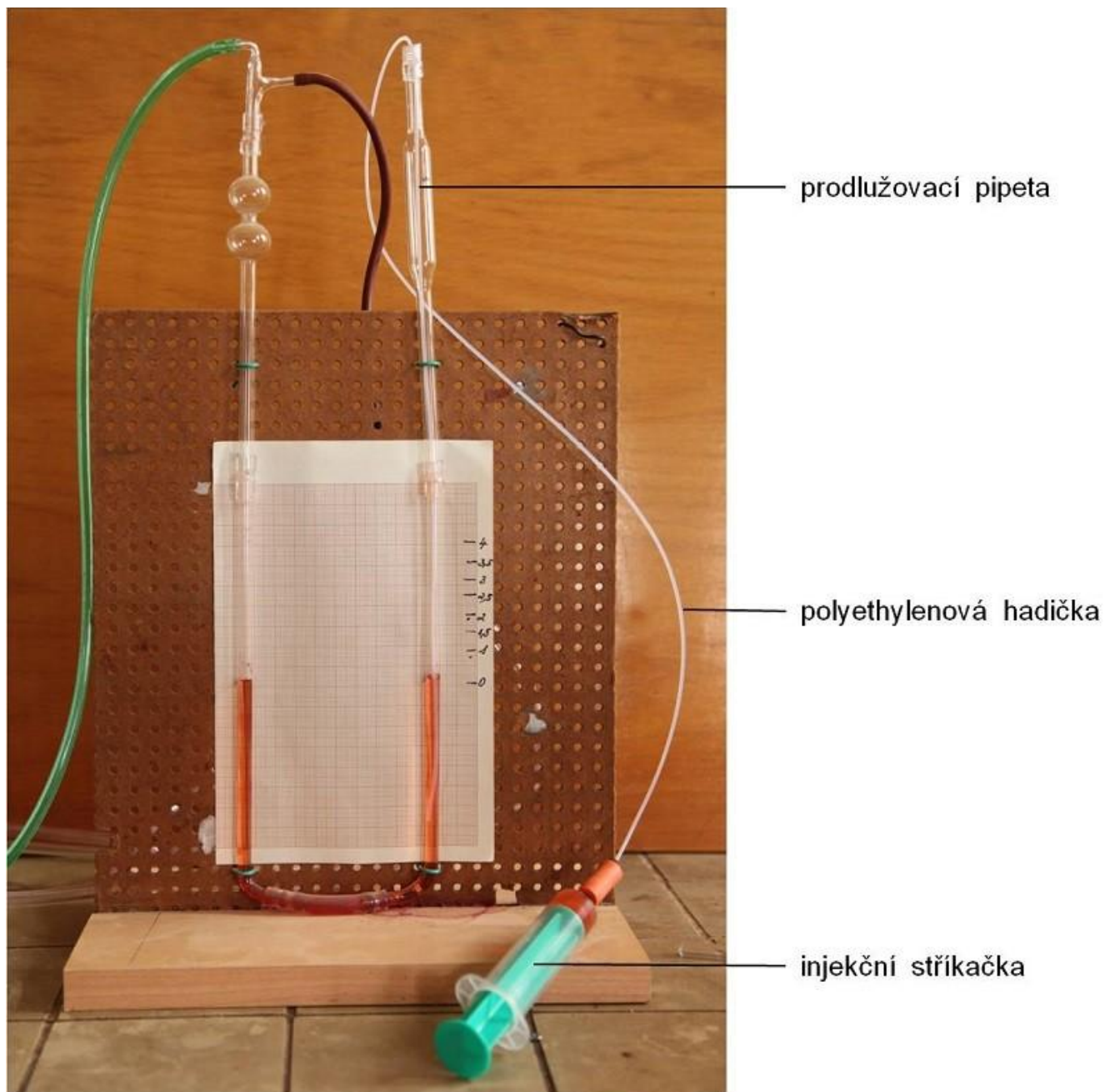
6 Kalibrace průtokoměru

Podle požadovaného rozsahu měření si připravíme odměrný válec potřebného objemu, nádobu s vodou, do které můžeme válec položit tak, aby se naplnil vodou, a následně mohl být v kolmé poloze uchycen do držáku (podle objemu válce velkého či malého chladičového) upevněného na laboratorním stojanu.

Přívodní hadičku průtokoměru připojíme na zdroj plynu s možností regulace průtoku, odvodní hadičku opatříme skleněnou trubičkou upravenou tak, aby se dala pevně vsunout k ústí v držáku zavěšeného, vodou naplněného odměrného válce. Po nastavení vhodného průtoku plynu si na průtokoměru označíme polohu menisku měrné kapaliny, připravíme si stopky, které v okamžiku vsunutí trubičky pod ústí válce zapneme a v okamžiku najímání známého objemu vypneme. Z časového údaje potřebného k jímání určitého objemu plynu vypočteme průtok plynu v ml za minutu a ze zjištěných údajů sestrojíme graf závislosti polohy menisku manometrické kapaliny a průtoku plynu (ml) za minutu.

7 Výměna kapaliny v průtokoměru

V případě, že dojde k úniku či poškození kapaliny v průtokoměru, je nutné obě ramena průtokoměru (obr. 3) zbavit původní kapaliny a nahradit ji novou. To lze provést nejnázem tak, že se na jednom rameni průtokoměru odpojí T-kus s napojením na omezovací kapiláru. Tím se otevře vstup do prodlužovací pipety. Tímto vstupem se zasune polyethylenová hadička, nasazená místo jehly na injekční stříkačce vhodného objemu (20 cm³). Tato hadička musí být dostatečně dlouhá, aby zasáhla až do spodní hadičky, propojující obě ramena průtokoměru. Tato úprava umožňuje úplné odsátí původní kapaliny, náhradu novou kapalinou bez vytvoření nežádoucích vzduchových bublin i přesné ustavení polohy menisku měrné kapaliny. Celý postup výměny kapaliny je patrný z obr. 6.



8 Ozonizátory a jejich využití

Všechna zařízení, která produkují ozon, lze zahrnout pod jednotný název ozonizátor. Ozonizátory využívané v technické praxi jsou různých výkonů. Ve výuce vystačíme s poměrně jednoduchými sestavami, tvořenými bezpečným zdrojem vysokého napětí, ozonizační trubicí vhodné konstrukce a zdrojem kyslíku, nejčastěji tlakovou lahví. Pro některé práce je výhodné sestavu doplnit průtokoměrem. Jako zdroj vysokého napětí se užívá vhodná cívka, napájená přerušovaným napětím autobaterie nebo stabilizovaného zdroje stejnosměrného napětí. Příkladem je automobilová zapalovací cívka napájená ze zvláštního zdroje. Ozonizační trubice jsou různé konstrukce. Příkladem je námi užívaná sestava [Richtr, V., Štrofová, J., Vojtajová, M., Rieger, D.: Biologie, chemie, zeměpis. 2013, 77-83]. Další zařízení bylo popsáno již v roce 1968 [Klásek, A., Hrbek ml., J., Hruban, L.: Chemické listy. 1968, s. 207-210]. Velmi inspirativní je souhrnné pojednání [Richtr, V., Kraitr, M.: Příprava a využití ozonu ve školních podmínkách. Chemie XXI (Sborník katedry chemie, s. 47-61) ZČU, Plzeň 2006. Viz také <http://fpe.zcu.cz/kch/Studium/racionalizace.html>].

9 Chemické působení ozonu a jeho dezinfekční účinky

Základními vlastnostmi ozonu jsou jeho oxidační účinky a jeho schopnost adice na dvojnou vazbu. Obě vlastnosti jsou lidskou společností využívány, ale projevují se též negativně při tvorbě životního prostředí. V téměř každé učebnici organické chemie se setkáme s adicí ozonu na dvojnou vazbu za vzniku nestabilních ozonidů poskytujících hydrolyzou nebo redukcí karbonylové sloučeniny. Tato vlastnost se však projevuje i proti vůli člověka například formou stárnutí pryže. Oxidační účinky ozonu jsou využívány jak při dezinfekci vody a prostředí, tak při jeho stanovení.

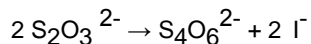
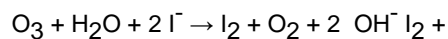
V praxi se velmi často využívá ozon jako dezinfekční prostředek. Ve vodárenství ozon nahrazuje chlor. Účinky ozonu lze prokázat jednoduchým experimentem, ke kterému kromě zdroje ozonu potřebujeme mikroskop a jakýkoliv vzorek obsahující živé organismy v mikroskopu viditelné. Tento vzorek si připravíme zalitím sena vodou a ponecháním po několik dní v teplém prostředí. Po několika dnech slitím vody z naloženého sena pod mikroskopem zjistíme přítomnost různých řas, sinic a nálevníků. Zde je možno provést i určení jednotlivých mikroorganismů. Část tohoto roztoku odlijeme do promývačky, kterou po dobu 5 minut probublává ozonizovaný kyslík. Již pouhým okem můžeme registrovat změny. Původně kalný roztok se vyčeří a hnilobný zápach mizí. Pod mikroskopem pak zjistíme, že některé mikroorganismy byly usmrceny.

Destrukce pryže

K tomuto experimentu postačí, když polyethylenovou hadičku, kterou prochází ozonizovaný kyslík z ozonizační trubice, nahradíme hadičkou pryžovou. V závislosti na produkci ozonu hadička velmi rychle tvrdne a nakonec ztrácí pevnost (láme se). Tato změna je důkazem adice ozonu na dvojnou vazbu pryže. Tímto experimentem můžeme kromě jiného vysvětlit i vliv prostředí na pneumatiky. To se promítá i do legislativních opatření, vymezujících dobu použitelnosti zimních pneumatik.

10 Stanovení ozonu

Stanovení obsahu ozonu v kyslíku, který prošel ozonizační trubicí, je založeno na uvolnění jodu z roztoku jodidu draselného a na titraci uvolněného jodu thiosíranem sodným v kyselém prostředí:



Celkový obsah a procentuální zastoupení ozonu ve směsi ozonu a kyslíku, vystupující z ozonizační trubice, závisí na průtoku kyslíku. Základní charakteristiku našeho ozonizátoru získáme testováním, které je založeno na kvantifikaci procesů popsaných výše uvedenými rovnicemi. Při testování postupujeme takto:

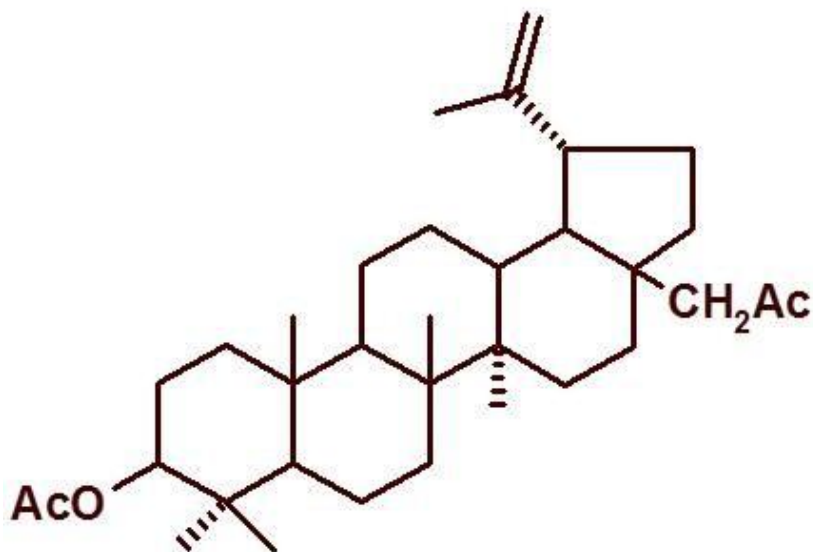
1. Do absorpční nádoby (promývačky) vpravíme 12 ml 2% roztoku jodidu draselného.
2. Ozonizační trubici včetně propojovacích hadic dokonale propláchneme kyslíkem a nastavíme požadovaný průtok kyslíku.
3. Se stopkami v ruce přesně na pět minut zapneme zdroj vysokého napětí.
4. Po vypnutí zdroje vysokého napětí pokračujeme v zavádění kyslíku ještě tak dlouho, až veškerý vzniklý ozon projde absorpční nádobkou.
5. Obsah promývačky kvantitativně převedeme do titrační baňky, okyselíme 1,2 ml 96% kyseliny sírové a titrujeme thiosíranem sodným o koncentraci 0,05 mol/dm³ na škrob.
6. Celkové množství vzniklého ozonu v mg získáme vynásobením spotřeby thiosíranu sodného číslem 1,2 (1 ml odměrného roztoku thiosíranu sodného odpovídá 1,2 mg ozonu).
7. Vzniklé množství ozonu vyneseme do grafu proti průtoku kyslíku v ml/min.

Po změně průtoku kyslíku stejným způsobem získáme další hodnoty, které opět vyneseme do grafu.

11 Ozonizace betulindiacetátu

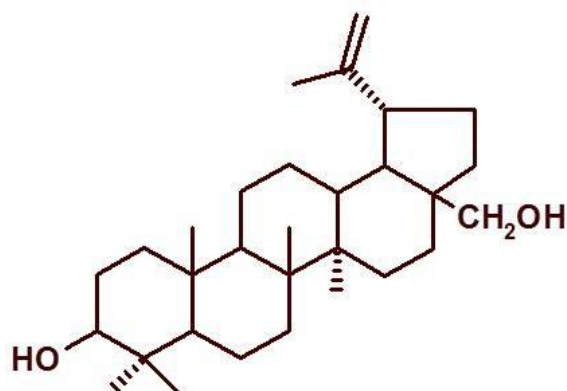
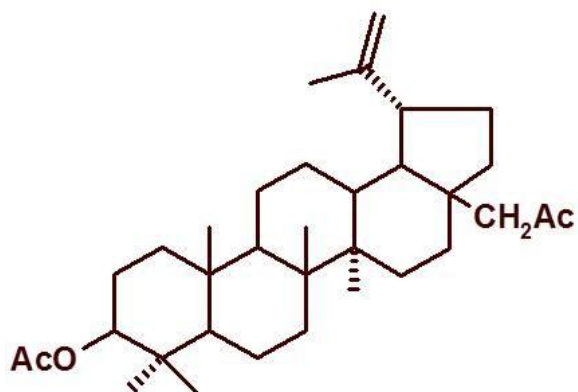
Ozonizace betulindiacetátu (obr. 7) je příkladem uplatnění ozonu v organické chemii při získávání karbonylových sloučenin. Při použití tenkovrstvé chromatografie během ozonizace i zpracování vznikajícího ozonidu si lze představit i význam ozonolýzy v organické analýze.

Vlastní ozonizaci betulindiacetátu předchází jeho příprava acetylací betulinu získaného z extraktu březové kůry ethanolem [Trnka, T. a kol.: Praktikum z organické chemie. SPN, Praha 1986]. Před započítím práce je nutné se seznámit s principy a technikou chromatografických metod [Richtř, V., Kraitř, M.: Tenkovrstvá chromatografie ve výuce chemie. Chemie XX (Sborník katedry chemie, s. 57-70), ZČU, Plzeň 2004. Viz také <http://fpe.zcu.cz/kch/Studium/racionalizace.html>].



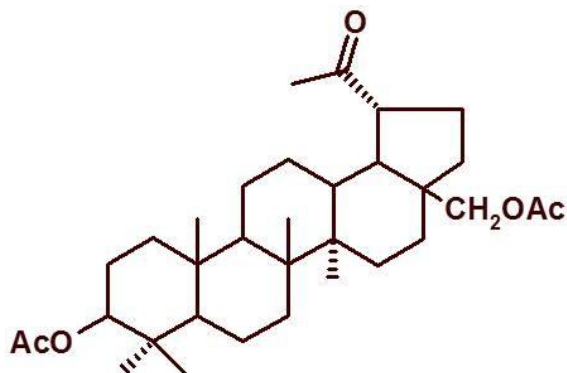
12 Příprava diacetátu betulinu

Surový betulin (obr. 8) byl získán extrakcí březové kůry horkým ethanolem a zahuštěním vzniklého extraktu ke krystalizaci. 520 mg vysušeného produktu bylo rozpuštěno v 1,6 ml absolutního pyridinu a ke vzniklému roztoku bylo přilito 2,5 ml acetahydridu a ponecháno 5 dní v uzavřené lékovce při laboratorní teplotě. Vyloučené krystalky byly odsáty, promyty 5% kyselinou chlorovodíkovou, vodou a ethanolem. Po vysušení bylo získáno 290 mg betulindiacetátu (obr. 7), který byl opakovaně krystalován z ethanolu a jeho čistota byla kontrolována chromatografií na silikagelu a změřením t. t., která činila 222 °C.



13 Ozonizace diacetátu betulinu a zpracování produktu ozonizace

200 mg betulindiacetátu bylo rozpuštěno v 5 ml chloroformu a po přidání 7 ml ethylacetátu umístěno v promývací zkumavce do kádinky s ethanolem chlazeným na $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ponorným chladičem kapalin a zkumavkou byl probubláván po dobu 3 hodin ozonizovaný kyslík rychlostí 15 ml/min. Průběh ozonizace byl kontrolován každých 30 minut tenkovrstvou chromatografií na silikagelu vyvíjením směsí n-hexan-ethylacetát (10:3) a postřikem 5% kyselinou sírovou a vypálením na vařiči. Po vymizení stopy pohyblivějšího betulindiacetátu byla ozonizace přerušena, obsah zkumavky byl převeden do 100 ml Erlenmayerovy baňky a zředěn 8 ml koncentrované kyseliny octové. Po odpaření chloroformu a ethylacetátu do vakua byl přidán v množství 1 g zinkový prach, se kterým byla směs třepána po dobu 3 hodin. Po této době byl zinek odfiltrován a promyt ethylacetátem. Vzniklý filtrát byl zředěn vodou a organická vrstva oddělena, promyta vodou, 2% roztokem hydrogenuhličitanu sodného, vodou a vysušena bezvodým síranem sodným. Po oddestilování rozpouštědel bylo získáno 120 mg odparku, jehož složení bylo kontrolováno tenkovrstvou chromatografií na silikagelu. Bylo zjištěno, že vzniklý norketon (obr. 9) je mírně znečištěn, což by neškodilo pro syntetické účely, ale pro fyzikálněchemickou identifikaci by bylo nutno přikročit k chromatografickému zpracování.



14 Závěrečné tipy

Literatura

Richtr, V., Štrofová, J., Vojtajová, M., Rieger, D.: Biologie, chemie, zeměpis. 2013, s. 77-83. Další Klásek, A., Hrbek ml., J., Hruban, L.: Chemické listy. 1968, s. 207-210].

Richtr, V., Kraitr, M.: Příprava a využití ozonu ve školních podmínkách. Chemie XXI (Sborník katedry chemie, s. 47-61) ZČU, Plzeň 2006.

Trnka, T. a kol.: Praktikum z organické chemie. SPN, Praha 1986.

Richtr, V., Kraitr, M.: Tenkovrstvá chromatografie ve výuce chemie. Chemie XX (Sborník katedry chemie, s. 57-70), ZČU, Plzeň 2004.

<http://fpe.zcu.cz/kch/Studium/racionalizace.html>.