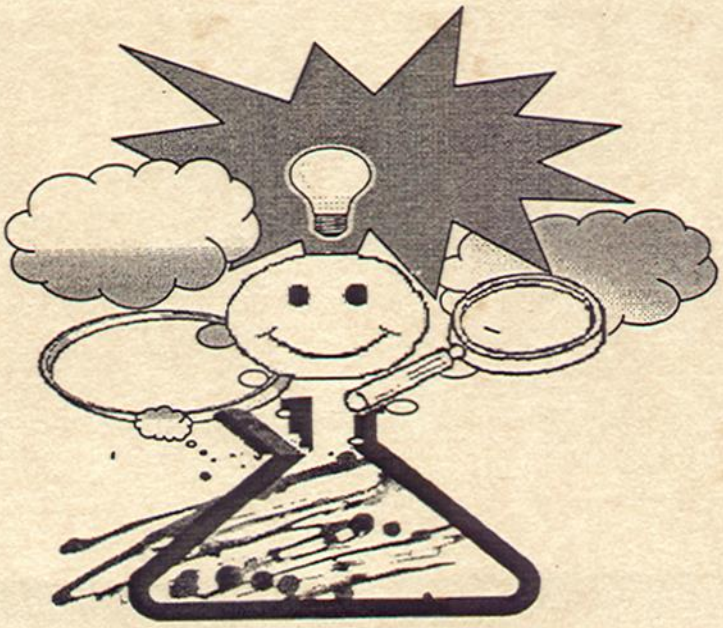
UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta

Zajímavé experimenty z chemie kolem nás

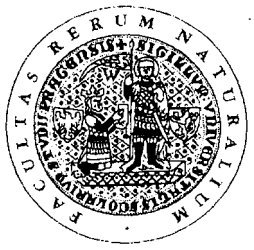
Renata Šulcová, Hana Böhmová, Eva Stratilová Urválková



Praha 2009

Zajímavé experimenty z chemie kolem nás

Renata Šulcová, Hana Böhmová, Eva Stratilová Urválková



Praha 2009

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta

Zajímavé experimenty z chemie kolem nás

Autoři:

RNDr. Renata Šulcová, Ph.D.
Mgr. Hana Böhmová
RNDr. Eva Stratilová Urválková

Publikace vznikla na základě mezinárodní spolupráce s dalšími autory:
prof. Hans Joachim Bader &
Martin Rothweil, Kuno Mayer, Linda Kaufmann, Silke Heuser
z J. W. Goethe-Universität, Frankfurt, Germany

doc. Iwona Maciejowska & Renata Wietecha-Posłuszny
z Uniwersytet Jagielloński, Wydział Chemii, Poland

Mgr. Dana Pisková & Mgr. Barbora Zákostelná
z Univerziy Karlovy v Praze, Přírodovědecké fakulty

Návody přeložili:
RNDr. František Zemánek z německého originálu,
RNDr. Eva Stratilová Urválková a Mgr. Hana Böhmová z anglického originálu

Lektorovala:

Prof. RNDr. Hana Čtrnáctová, CSc.

Vydala:
Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha 2009

© Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha 2009
© Renata Šulcová a kolektiv autorů, Praha 2009

ISBN 978-80-86561-43-1

OBSAH

Předmluva **5**

Seznam experimentů **7**

Vysvětlivky k bezpečnostnímu označení chemikálií **8**

Zajímavé chemické experimenty s látkami každodenního života **9**

Chemik detektivem – forenzní chemie **31**

Použité zdroje **47**

Předmluva

Publikace, kterou jste právě otevřeli, je určena všem učitelům chemie na středních i základních školách, kteří mají zájem ukazovat svým žákům chemii jako živou, zajímavou disciplínu, a proto se snaží výuku chemie zpestřit a zatraktivnit. Motivaci, náměty, návody a dokumentaci k uvedeným experimentům jsme získávali a tvořili postupně jako materiály pro praktické laboratorní semináře, motivované evropským projektem CITIES. Semináře byly s učiteli chemie realizovány v letech 2008, 2009 v laboratoři Katedry učitelství a didaktiky chemie Přírodovědecké fakulty UK v Praze.

V této publikaci jsou zařazeny experimenty, na kterých se autorsky spolupodíleli kolegové z České republiky, Německa a Polska a které jsme upravili a realizovali dle možností našich středních škol a poté je prakticky ověřili s učiteli chemie. Autoři si společně kladou za cíl změnit v pozitivním smyslu vztah žáků k chemii a ukázat jim, v čem může být chemie užitečná pro ně i pro celou společnost. Kromě toho chceme pomoci učitelům chemie v tom, jak chemické poznatky prakticky aplikovat, poskytnout jim k tomu materiály, které jejich žáky přesvědčí o nezbytnosti chemie v moderní společnosti a ukážou její projevy v každodenním životě. Vybraná aktuální témata a moderní chemické aplikace jsou proto prostřednictvím zjednodušených experimentů představována v podobě srozumitelné učitelům a zároveň dostatečně přístupné i jejich středoškolským žákům. Navíc učivo orientované prakticky i zajímavé laboratorní metody v chemickém vzdělávání mohou širokému spektru žáků s různými schopnostmi a zájmy ukázat právě chemii jako poutavou a atraktivní vědu.

První část publikace nazvaná *„Zajímavé chemické experimenty s látkami každodenního života“* zahrnuje soubor pokusů týkajících se látek běžných v denní praxi, které reflektují aktuální otázky spojené s chemií (např. recyklace odpadů, znečištění životního prostředí, alternativní pohonné hmoty, vlastnosti biopaliv a další), nebo takových experimentů, které seznamují žáky se zkoumáním běžných produktů, jejichž spojitost s chemií si sami často ani neuvědomují (např. složení různých druhů obalových materiálů, nábytkových desek či podlahových krytin, syntetických pryskyřic a plastů či umělých vláken nebo důkazy některých složek potravin či přírodních látek). Uvedené pokusy propojují výuku chemie s celospolečenským významem této vědy a navíc reagují na některé nevhodně pojaté průmyslové aplikace chemie ve výuce. Druhá část této publikace, která byla iniciována německými a polskými náměty, byla v našich podmínkách nazvána *„Chemik detektivem – forenzní chemie“*. V ní jsou nabídnuty a ověřeny experimenty týkající se různých způsobů detekce otisků prstů, zajišťování stop, odhalování přítomnosti krve nebo zjišťování přítomnosti oxidujících látek (např. při žhářství). Pojetí jednotlivých experimentů je propojeno s teorií tak, aby byl vytvořen smysluplný celek.

Pro snadnější realizaci uvedených experimentů ve školách jsme zpracovali k textům i vlastní fotodokumentaci a materiály jsou k dispozici též na webové stránce:
http://www.natur.cuni.cz/~kudch/main/JPD3/.

Nové trendy v obsahu školní výuky chemie – důrazy na význam aplikované chemie, chemického průmyslu a jeho produktů pro běžný život každého člověka – mohou navíc přispívat k odstranění negativního vnímání chemie ve společnosti a přitom pomáhat vytvořit příznivější prostředí i pro rozvoj přírodovědně-technických talentů. Podmínkou je, aby témata byla žákům zprostředkována vhodnou formou. Domníváme se totiž, že stávající obsah přírodovědného vzdělávání v našich školách neodráží dosud téměř vůbec (nebo snad zatím jen okrajově) současný stav odpovídajících odborných disciplín a jejich technické a průmyslové aplikace. Pro žáky je pak důsledkem této izolace nedostatečná souvislost mezi přírodovědnými poznatky ze školy a přínosem přírodních věd pro společnost a běžný život každého člověka.

A tak právě v chemii již dlouho pociťujeme, přestože náš život si bez ní dnes již nedokážeme představit, že praktické výsledky této přírodní vědy jsou často nedoceňovány či odsuzovány, stále se šíří negativní klima ztotožňování chemie se vším, co je neekologické, nezdravé a celkově působící proti životu. Tento jednostranný přístup a fobii, živenou senzacechtivými články často nekompetentních novinářů i poplašnými zprávami médií, ale též neaktuálním způsobem našeho chemického vzdělávání, mnohdy omezeného na seznam faktů, pouček, nesrozumitelných názvů a vzorců, je tedy potřeba napravit.

Věříme, že se nám podaří přirozenou formou motivovat učitele k vlastní aktivní práci s žáky a seznamovat je s praktickými aplikacemi vědeckých objevů. Zároveň chceme učitele upozornit na uplatnění vhodných metod a forem výuky pro vlastní praxi a tím jim zprostředkovat přirozené přijetí cílů a úkolů stanovených rámcovými vzdělávacími programy a celkovou reformou českého školství.

Všem účastníkům našich seminářů a dalším učitelům chemie děkujeme za ověření uvedených námětů v praxi a též za jejich cenné připomínky a nápady, které nám poskytli na základě vlastních praktických zkušeností.

Autorský kolektiv

Seznam experimentů

První část: **Zajímavé chemické experimenty s látkami každodenního života**

Obalové materiály, syntetické pryskyřice a umělá vlákna, bionafta 9
Potraviny a přírodní látky 22

1. Tloušťka hliníkové vrstvy v obalových materiálech, nápojových kartonech:
   Příprava roztoků iontů Al^{3+} 9
   Stanovení hmotnosti hliníku a tloušťky hliníkové vrstvy 11
2. Dřevotříska:
   2.A Výroba pojiva - močovinoformaldehydové pryskyřice 12
   2.B Hydrolýza pojiva a důkaz produktů v hydrolyzátu 14
   2.C Recyklace dřevotřískových desek a důkaz složek pojiva 16
3. Polyurethan z ricinového oleje 17
4. Příprava polyamidového vlákna 18
5. Výroba bionafty 19
6. Potraviny a přírodní látky:
   6.A Redukční účinky vitaminu C 22
   6.B Důkaz vitaminu C v ovoci a zelenině 23
7. Důkaz redukujících sacharidů 24
8. Důkaz bílkovin 25
9. Odhalení přítomnosti glutamátu v instatní polévce: ninhydrinová reakce 27
10. Fluorescence rostlinných barviv 28

Druhá část: **Chemik detektivem – forenzní chemie**

Odhalování otisků, zajišťování a zviditelnění stop, důkazy přítomnosti krve 31

11. Odhalování otisků prstů: použití prášků 31
12. Odhalování otisků prstů: použití par jodu 32
13. Odhalování otisků prstů: použití kyanoakrylátové metody 33
14. Odhalování otisků prstů: použití ninhydrinu 35
15. Odhalování otisků prstů: použití dusičnanu stříbrného 37
16. Zajišťování otisků bot, nohou a vozidel:
    sádra jako činidlo pro uchování stop 38
17. Obnovení embosovaných písmen a čísel:
    zviditelnění zničených stop na mosazných předmětech 40
18. Krev: Teichmanův hemoglobinový test 41
19. Krev: zjišťování stop krve pomocí luminolu 43
20. Pyrotechnika a žhářství: zjišťování přítomnosti oxidujících látek 45

Vysvětlivky k bezpečnostnímu označení chemikálií

E výbušný
O oxidující
F+ extrémně hořlavý
F vysoce hořlavý
T+ vysoce toxický
T toxický
C žíravý
Xi dráždivý
Xn zdraví škodlivý
N škodlivý pro životní prostředí

První část: Zajímavé experimenty s látkami každodenního života

Experimenty uvedené v první části se týkají látek, snimiž se setkáváme v každodenní praxi. Zkoumat budeme některé obalové materiály, syntetické pryskyřice a umělá vlákna, bionaftu a potraviny z pohledu vitaminu C, bílkovin a aminokyselin či barviva z rostlin a jejich fluorescenci. Několik původních námětů kolektivu autorů Hanse Joachima Badera z J. W. Goethe-Universität ve Frankfurtu doplnily dalšími vhodnými experimenty a fotodokumentací Renata Šulcová a Hana Böhmová a spolu s Evou Stratilovou Urválkovou a Danou Piskovou zajistily a realizovaly jejich ověření a případné úpravy.

Obaly, pryskyřice a syntetické materiály, bionafta

1. Tloušťka hliníkové vrstvy v obalových materiálech

B. Landsgesell, H. J. Bader, MNU 57/5 (15.7.2004) Seite 285 – 289

Hliníková vrstva vložená mezi PE folie (například v nápojových kartonech) brání průchodu světla, pachů a vodní páry. Materiál má malou hmotnost, dobrou opracovatelnost a je pevný. Vrstva je vytvořena buď technikou napařování (nelze použít na papír a lepenku), nebo laminování, silnější vrstvy jsou lepeny.
Tloušťka vrstvy se určí na základě plochy vrstvy, hustoty a hmotnosti obsaženého hliníku. Hmotnost hliníku lze stanovit rozpuštěním v kyselině a následnou titrací hlinitých iontů chelatonem III.

Zadání: Určete hmotnost hliníku ve vzorku obalového materiálu a tloušťku hliníkové vrstvy.

Chemikálie: roztok chelatonu III (DiNa-EDTA, c = 0,1 mol/dm^3; X_n), xylenolová oranž (na špičku špachtle rozpuštěno v 1 cm^3 vody; X_n), síran zinečnatý (c = 0,1 mol/dm^3; Xi, N), kyselina chlorovodíková (w = 18 %; C), kyselina chlorovodíková (c = 2 mol/dm^3; C), octan sodný p.a., vrstvená folie s obsahem hliníku – nápojové kartony (zbavené papírové vrstvy – odtrhnout, odmáčet pod vodou), obal od másla, případně sáček na chipsy (velmi tenká folie, proto je potřeba větší množství) či alobal, pevný hydroxid sodný (C)

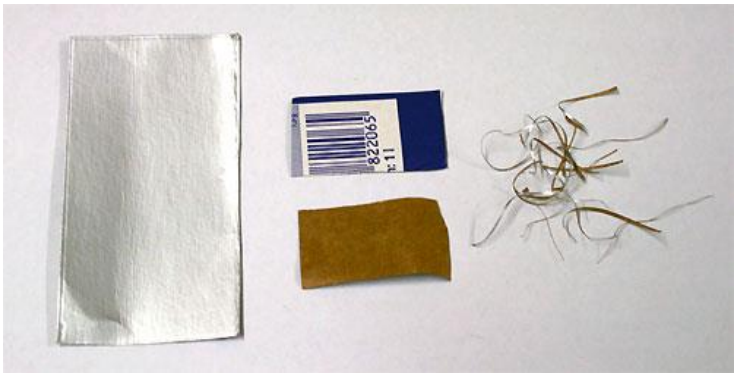
Pomůcky: váhy (miligramová přesnost), nůžky, pipeta 100 cm^3, odměrný válec, malá kádinka (průměr asi 2,5 cm, výška max. 6 cm), malé hodinové sklo, byreta 50 cm^3 s malou nálevkou, velká nálevka, filtrační papír, kahan, kádinka 500 cm^3, kádinka 250 cm^3 (úzký typ), titrační baňka, univerzální indikátorové proužky

Postup:

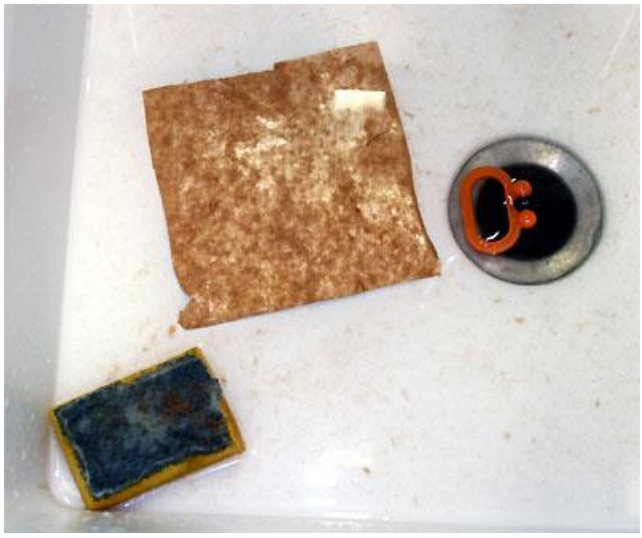
1. den - příprava roztoku iontů Al^{3+}

50 cm^2 vrstvené folie (u tenkých vrstev 100 cm^2) rozstříhejte na co nejužší proužky šířky 1 až 2 mm. Ty vložte do uzavíratelné nádoby a vhodnými nůžkami ještě zmenšete. (Tato komplikovaná metoda se užívá, aby nedošlo k problémům s elektrostatickým nábojem při plnění nádoby.) Přidejte 10 cm^3 kyseliny chlorovodíkové (w = 18 %) a hrdlo nádoby překryjte malým hodinovým sklem. Reakce probíhá přes noc do druhého dne, dochází ke zřetelnému uvolňování plynu (vodík). Hliník se téměř rozpustí působením kyseliny chlorovodíkové:

$$2\ Al + 6\ H^+(aq) + 6\ Cl^-(aq) \rightarrow 2\ Al^{3+} + 6\ Cl^-(aq) + 3\ H_2(g)$$



hliníková folie oddělená z papírové vrstvy nápojového obalu, rozstříhané hliníkové proužky



odstraňování zbytků papírové vrstvy

hliníkové proužky v kyselině

vývoj vodíku

2. den – stanovení hmotnosti hliníku a tloušťky vrstvy

Obsah nádobky přefiltrujte do kádinky (250 cm^3) a nádobku dvakrát vypláchněte destilovanou vodou. K takto získanému vzorku přidejte 50 cm^3 roztoku chelatonu III (c = 0,1 mol/dm^3) a 1 cm^3 kyseliny chlorovodíkové (c = 2 mol/dm^3), roztok zahřejte k varu a na 10 minut umístěte do vroucí vodní lázně. Ionty hlinité se kvantitativně vážou přebytkem chelatonu III.

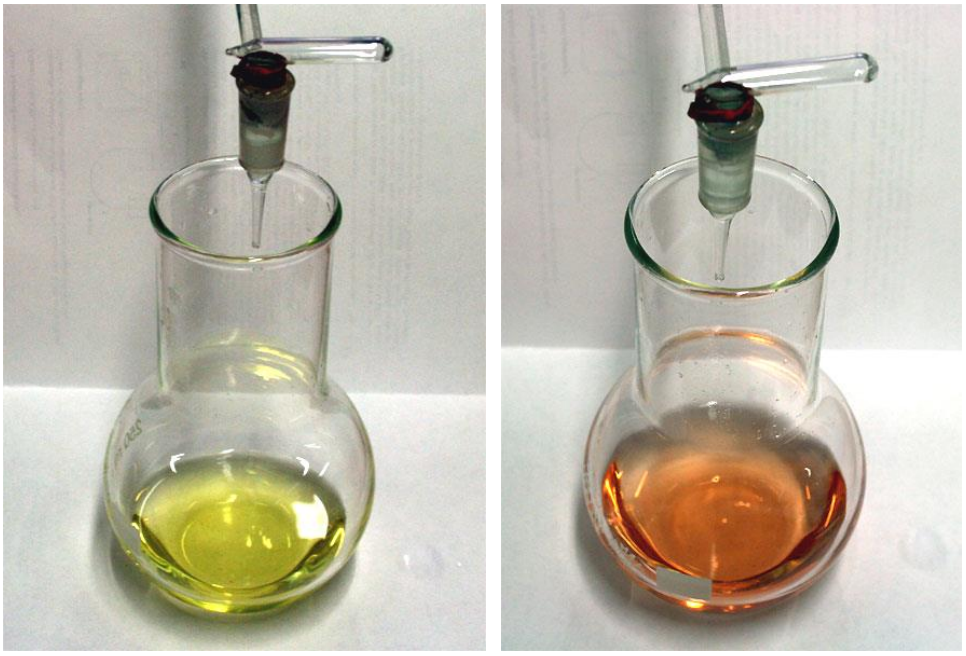
Po ochlazení přidejte malé množství pevného hydroxidu sodného (roztok je silně kyselý) a několikrát na špičku špachtle octanu sodného, až pH dosáhne hodnoty mezi 5 a 6. Při nižším pH nedojde v bodě ekvivalence k barevnému přechodu! Přidejte 3 kapky indikátoru - vodného roztoku xylenolové oranže – a titrujte roztokem síranu zinečnatého (c = 0,1 mol/dm^3) až do ostrého přechodu ze žluté do červené (nadbytek zinečnatých iontů tvoří červený komplex s xylenolovou oranží).

zbytky proužků s nezreagovaným hliníkem – var směsi

úprava pH na 5-6

<u>Výpočet:</u>

Zpětnou titrací síranem zinečnatým zjistíte, kolik chelatonu III bylo k hlinitým iontům přidáno navíc. Protože koncentrace roztoků chelatonu III i roztoku síranu zinečnatého jsou stejné, odpovídá 1 cm^3 spotřebovaného roztoku síranu zinečnatého 1 cm^3 přebytku roztoku chelatonu III. Z rozdílu celkového a přebytečného objemu chelatonu III získáte objem chelatonu III navázaného na hlinité ionty. Z molárních hmotností obou látek vyplývá, že **1 cm^3 použitého odměrného roztoku chelatonu III odpovídá hmotnosti hliníku 2,698 mg.**



barva indikátoru před a po bodu ekvivalence

Tloušťku hliníkové vrstvy v centimetrech vypočtete jako podíl objemu hliníku a plochy vrstvy (50, resp. 100 cm^2). Objem hliníku lze vyjádřit jako podíl hmotnosti hliníku zjištěné titrací a hustoty hliníku (2,7 g/cm^3):

$$d = V/S = m/(\rho.S)$$

Při pokusném provedení byl použit obdélník kartonu o rozměrech 4x8 cm, na hliník připadlo 16,6 cm^3 roztoku chelatonu, tj. karton obsahoval 44,79 g hliníku. Při výše uvedené hustotě to odpovídá 5,2 μm silné vrstvě.

V literatuře se uvádí tloušťka hliníkové folie 6,5 μm pro nápojový karton, u sáčku na chipsy 0,05 μm.

2. Dřevotříska

Dřevěný materiál s know-how, H.J. Bader, A.Lühken, NiU-Chemie 10 (1999) Nr. 50, 33 (83)

2.A Výroba pojiva: močovinoformaldehydové pryskyřice

Zadání: Zkoumejte vlastnosti močovinoformaldehydové pryskyřice vyrobené různými postupy.

Chemikálie: roztok formaldehydu (*w* = 37 %; T), močovina, chlorid amonný (Xn), hydroxid sodný (*w* = 40 %; C), kyselina sírová (*w* = 10 %; C)

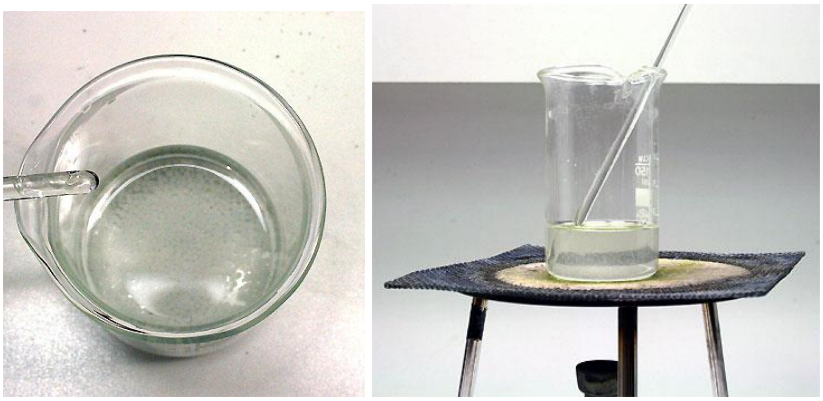
Pomůcky: kádinka 200 cm^3, skleněná tyčinka, topná deska, sušárna, skleněná nádobka s víčkem (asi 50 cm^3), pH-papírky, 2 porcelánové misky (d = cca 50 cm^3), ochranné brýle

Postup:

V digestoři v kádince za stálého míchání skleněnou tyčinkou postupně přidávejte 15 g močoviny ke 30 g roztoku formaldehydu. Vznikne bezbarvá, viskózní kapalina. Směs zahřejte

na 90 °C, okyselte několika kapkami kyseliny sírové a míchejte tak dlouho, až vznikne velmi viskózní hmota. Pozor, směs může začít prudce vřít, hrozí vystříknutí obsahu z kádinky!!! Viskózní hmotu pak rychle neutralizujte několika kapkami koncentrovaného hydroxidu sodného. Vzniklý reakční produkt rozdělte na tři části.

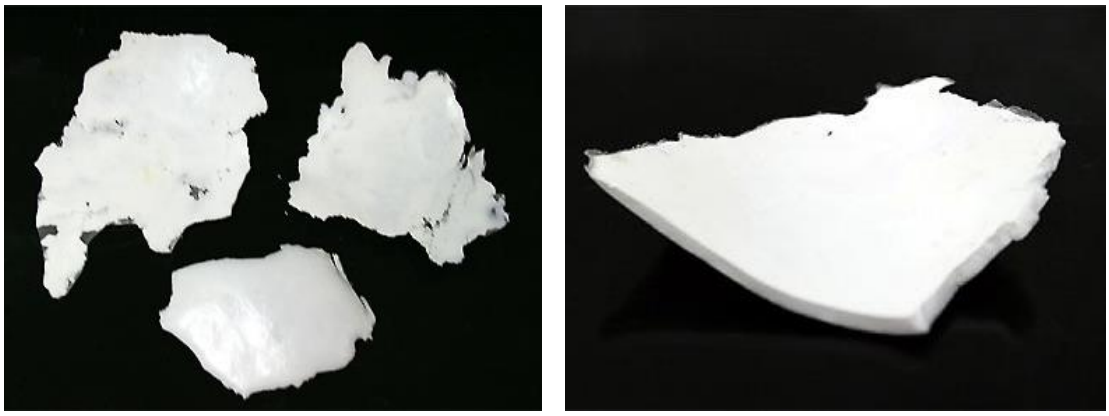
Jeden díl uložte do uzavřené skleněné nádoby, druhý uložte v pocelánové misce do sušárny při 120 °C, ke třetímu na porcelánové misce přidejte asi 3 g chloridu amonného a uložte na 40 až 60 minut do sušárny.



rozpouštění močoviny ve formaldehydu

Pozorování:

Nezahřívaný vzorek pryskyřice je ještě po několika dnech viskózní. Vzorek obsahující chlorid amonný se přeměnil na mechanicky velmi odolný produkt, který ve třecí misce nelze rozmělnit na prášek. Bez přidání chloridu amonného vznikla pevná pryskyřice, kterou lze rozetřít na prášek. Polykondenzací roztoku formaldehydu s močovinou tedy vzniká pryskyřice používaná jako lepidlo (pojivo), která vlivem vyšší teploty dále kondenzuje. Chlorid amonný slouží jako tvrdidlo.



močovinoformaldehydová pryskyřice

2.B Hydrolýza pojiva a důkaz produktů v hydrolyzátu

Zadání: Proveďte hydrolýzu močovinoformaldehydové pryskyřice vroucí vodou a dokažte vzniklé produkty hydrolýzy. Porovnejte obsah volných složek před a po hydrolýze.

Chemikálie: pryskyřice připravená v pokusu A, ureáza, roztok fenolftaleinu v alkoholu, Schiffovo činidlo (tj. 0,1% roztok fuchsinu/rosanilinu odbarvený oxidem siřičitým; T), případně kyselina sírová (w = 96% nebo c = 18 mol/dm^3; C) a disodná sůl kyseliny chromotropové (Xi)

Pomůcky: kádinka 100 cm^3, 4 zkumavky, kahan, špachtle, ochranné brýle, popř. pH-metr

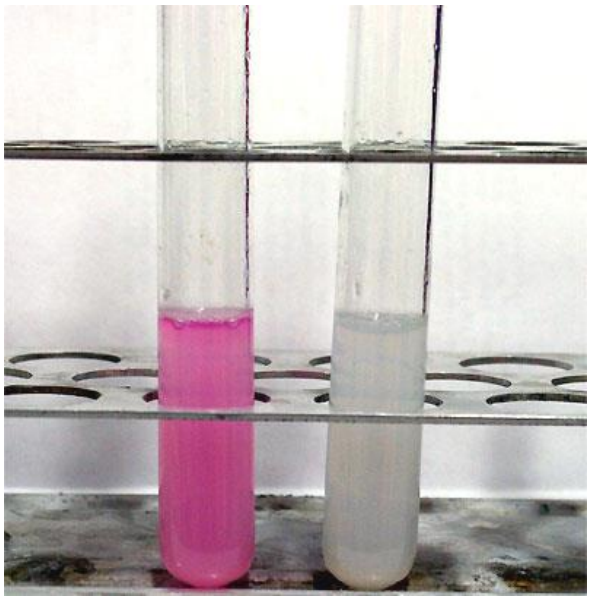
Postup:

Hydrolýza: Do zkumavky s asi 20 cm^3 **vařící destilované vody** přidejte kousek umělé pryskyřice velikosti hrachu, nechte asi 10 minut povařit, pak ochlaďte na 30°C. Získaný roztok rozdělte do tří zkumavek.

Obdobně velký kousek pryskyřice nechte stejnou dobu louhovat **ve studené vodě.**

V roztocích dokažte formaldehyd a močovinu dále popsaným způsobem. Porovnejte množství formaldehydu / močoviny uvolněné ve studené a ve vroucí vodě.

Důkaz močoviny ureázou: K hydrolyzátu v první zkumavce přidejte několik kapek fenolftaleinu a na špičku špachtle ureázy, krátce silně protřepte. Po 1 až 2 minutách se začne bezbarvý roztok barvit červeně – ureáza štěpí močovinu a uvolňující se amoniak způsobuje zásaditou reakci roztoku. Děj je též možné sledovat pH-metrem.

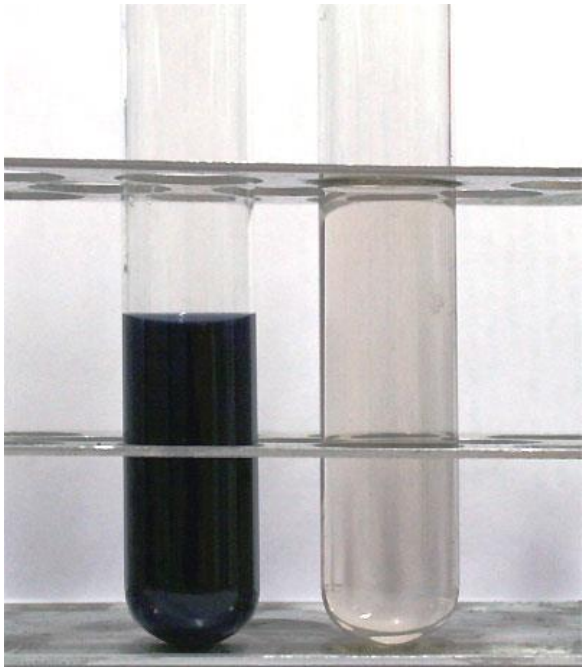


důkaz močoviny v hydrolyzátu z pryskyřice, vpravo: výluh zastudena – bez močoviny

Důkaz formaldehydu (karbonylové skupiny): Schiffova zkouška – k roztoku ve druhé zkumavce přidejte 1 – 2 cm^3 Schiffova činidla. Asi po 1 minutě původně bezbarvý roztok začne červenat.

důkaz formaldehydu v hydrolyzátu z pryskyřice,
vpravo: výluh zastudena – pouze stopy formaldehydu

Důkaz formaldehydu chromotropovou kyselinou: Ve zkumavce rozpusťte malé množství (na špičku špachtle) disodné soli kyseliny chromotropové v cca 3 cm^3 koncentrované kyseliny sírové. Takto připravené činidlo pomalu opatrně přilijte k hydrolyzátu ve třetí zkumavce. Roztok se zbarví tmavě červeně. Někdy je třeba směs zahřát na vodní lázni na 60 °C.



důkaz formaldehydu v hydrolyzátu z pryskyřice,
vpravo: výluh zastudena – bez formaldehydu

2.C Recyklace dřevotřískových desek a důkaz složek pojiva

R. Šulcová, H. Böhmová. Netradiční experimenty z organické a praktické chemie. Praha: UK v Praze, PřF 2007, ISBN 978-80-86561-81-3.(s. 65-66)

Zadání: Proveďte hydrolýzu formaldehydové pryskyřice obsažené v dřevotřískové desce (nebo linoleu) a dokažte vzniklé produkty.

Chemikálie: kousky dřevotřísky (tlouštka do 1 cm, délka do 6 cm) nebo linolea, ureáza, fenolftalein, Schiffovo činidlo (tj. 0,1% roztok fuchsinu/rosanilinu odbarvený oxidem siřičitým; T), tzv. Bradyho činidlo (tj. roztok 2,4-dinitrofenylhydrazinu (T+) v koncentrované kyselině chlorovodíkové (C): 1,2 g 2,4–dinitrofenylhydrazinu se rozpustí ve 12 cm^3 koncentrované HCl; vzniká světle žlutý roztok, který se míchá do zhoustnutí; potom se přilije 600 cm^3 zředěné HCl (c = 2 mol/dm^3) za neustálého míchání)

.

Pomůcky: kádinka 500 cm^3, kahan či topná deska, síto, ochranné brýle

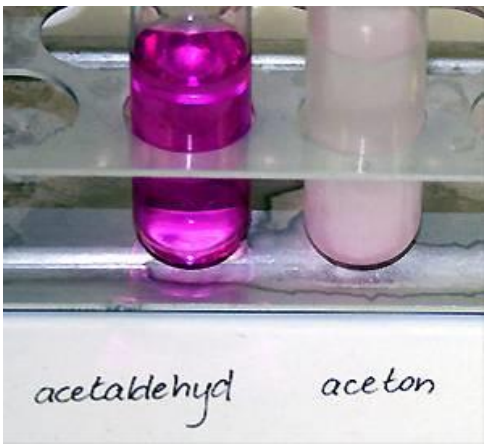
Postup:

Hydrolýza: V kádince uveďte do varu 200 cm^3 vody. Přidejte několik kousků dřevotřísky a směs vařte tak dlouho, dokud se kousky nerozpadnou (10 – 15 minut). Třísky oddělte sítem od extraktu, rozprostřete na noviny a nechte přes noc uschnout. Ve žlutě zbarveném extraktu dokažte formaldehyd Schiffovým činidlem a močovinu ureázou.

Důkaz močoviny ureázou: K extraktu v první zkumavce přidejte několik kapek fenolftaleinu a na špičku špachtle ureázy, krátce silně protřepte. Po 1 – 2 minutách se začne bezbarvý roztok barvit červeně – ureáza štěpí močovinu a uvolňující se amoniak způsobuje zásaditou reakci roztoku. Vzhledem k zbarvení roztoku je vhodnější sledovat změny pH pomocí pH-metru.

Důkaz formaldehydu (karbonylové skupiny): Schiffova zkouška – k roztoku ve druhé zkumavce přidejte 1 cm^3 Schiffova činidla. Asi po 1 minutě původně bezbarvý roztok zčervená.

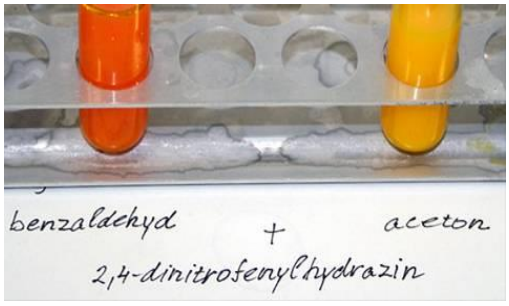
piliny z dřevotřísky – Schiffovo činidlo – po přikápnutí do extraktu z pilin



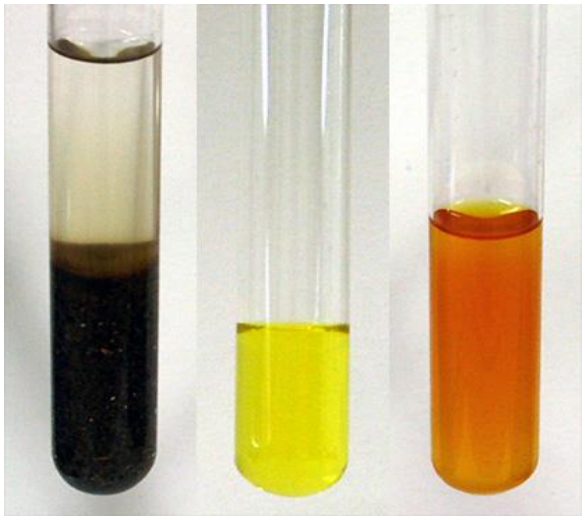
pro porovnání: reakce oxosloučenin s Schiffovým činidlem

Důkaz formaldehydu 2,4-dinitrofenylhydrazinem: Do čisté zkumavky připravíme asi 5 cm^3 2,4-dinitrofenylhydrazinu v koncentrované HCl a přidáme asi 1 cm^3 vyextrahovaného roztoku. Po chvilce pozorujeme barevné změny. V přítomnosti formaldehydu vzniká oranžový zákal.

2,4-dinitrofenylhydrazin v konc. HCl



2,4-dinitrofenylhydrazin v konc. HCl po přikápnutí benzaldehydu/acetonu



extrakt z pilin z dřevotřísky – 2,4-dinitrofenylhydrazin – po přikápnutí extraktu z pilin

3. Polyurethan z ricinového oleje

H. Sommerfeld, R. Blume, H.J. Bader PdN-Ch. 2/39. Jg. 1990 S. 28

Zadání: Připravte polyurethanovou pryskyřici z ricinového oleje.

Chemikálie: ricinový olej z lékárny, 1,4-diazabicyklo[2.2.2]oktan (T), tolulen-2,4-diisokyanát nebo difenylmethan-diisokyanát (T)

Pomůcky: zkumavky, špachtle

Postup:

Ve zkumavce se smísí 2g ricinového oleje s 0,6 cm^3 diisokyanatu. Po přidání několika krystalků aktivátoru 1,4-diazabicyklo[2.2.2]oktanu se během několika minut exotermní reakcí vytvoří polyurethanová pryskyřice.

Někdy proběhne reakce rychle i bez aktivátoru, zejména když se směs mírně zahřeje. Jako aktivátor se dá také použít sacharosa, není ovšem tak aktivní.

4. Příprava polyamidového vlákna

R. Šulcová, H. Böhmová. Netradiční experimenty z organické a praktické chemie. Praha: UK v Praze, PřF 2007, ISBN 978-80-86561-81-3.(s. 63-64)

Zadání: Proveďte dle návodu bezpečnou přípravu polyamidového vlákna a vyzkoušejte jeho pružnost, pevnost, a další vlastnosti.

Chemikálie: *roztok **A***: dichlorid kyseliny adipové v hexanu (nebo petroletheru) (Xn, F+), *roztok **B***: hexan-1,6-diamin (= hexamethylendiamin; Xn, C, Xi) ve vodném roztoku methanolu (F, T); aceton (F, Xi), destilovaná voda. (Množství látek vhodných k použití: 0,22 g adipoylchloridu do 6 cm^3 roztoku petroletheru a 0,35g hexamethylendiaminu do 6 cm^3 vodného roztoku methanolu).
(Lze použít kitu pro syntézu Nylonu, např. roztok A: 200 cm^3 roztoku dichloridu kyseliny adipové v tetrachlormethanu a roztok B: 200 cm^3 hexametylendiaminu ve vodném roztoku methanolu).

Pomůcky: kádinky 50 cm^3, odměrné válce na 25 cm^3, pinzeta, skleněná tyčinka, Petriho miska, střička s vodou

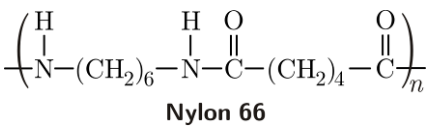
Postup:

V úzké vyšší kádince s roztokem A opatrně vlijeme po tyčince na stěnu roztok B tak, aby nedošlo k promíchání. Na rozhraní obou fází dojde k reakci, vznikne jemný film, který uchopíme pinzetou, vytáhneme nad hladinu a namotáváme na pinzetu nebo na tyčinku jako souvislé syntetické vlákno. Získané vlákno promyjeme v ethanolu, acetonu a několik minut pod tekoucí vodou.

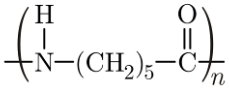
Zapište rovnici reakce!

Pozorování a vysvětlení:

Po slití roztoků se na fázovém rozhraní tvoří plast, který lze vytáhnout v nekonečné tenké vlákno a namotat na tyčinku. Vzniklé vlákno má řadu vlastností, pro které je dnes užíváno jako textilní i průmyslový materiál, např. je pružné a pevné, lze jej vytáhnout velice tenké, je odolné vlivům běžných chemikálií, lze jej dobře barvit.



Nylon 66



Nylon 6

namotání nekonečného syntetického vlákna

5. Výroba bionafty

V. Baur, I. Melle, H.J. Bader CHEMKON , Weinhweim 2000

Zadání: Připravte vzorek bionafty reesterifikací řepkového oleje methanolem.

Chemikálie: sodík (C, F) nebo hydroxid sodný (C), methanol (T, F), řepkový olej

Pomůcky: kádinka 400 cm^3, 3 velké zkumavky (průměr asi 2,5 cm), magnetická míchačka s topnou deskou, teploměr, zpětný chladič ke zkumavce: provrtaná zátka s 40 cm trubičkou, stojan, křížové svorky a držáky, pipety

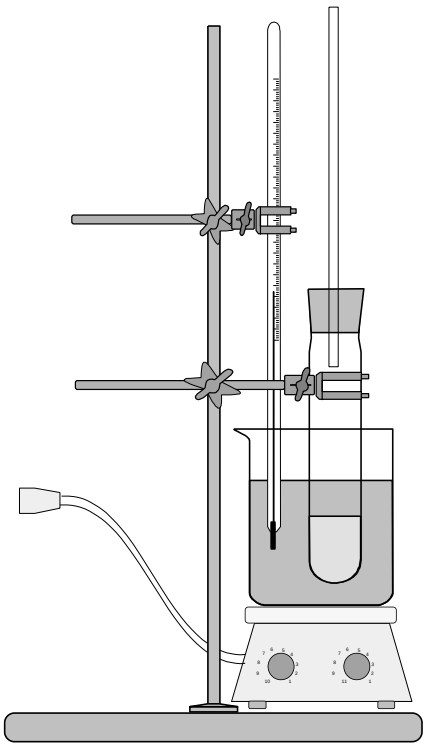
Postup:

Příprava roztoku natrium-methoxidu (předem): 0,1 g očištěného sodíku nebo 0,3 g hydroxidu sodného se přidá ke 100 cm^3 methanolu. Oba způsoby vedou ke stejným výsledkům. Rovnováha, která se ustaví při reakci methanolu s hydroxidem, je posunuta vpravo:

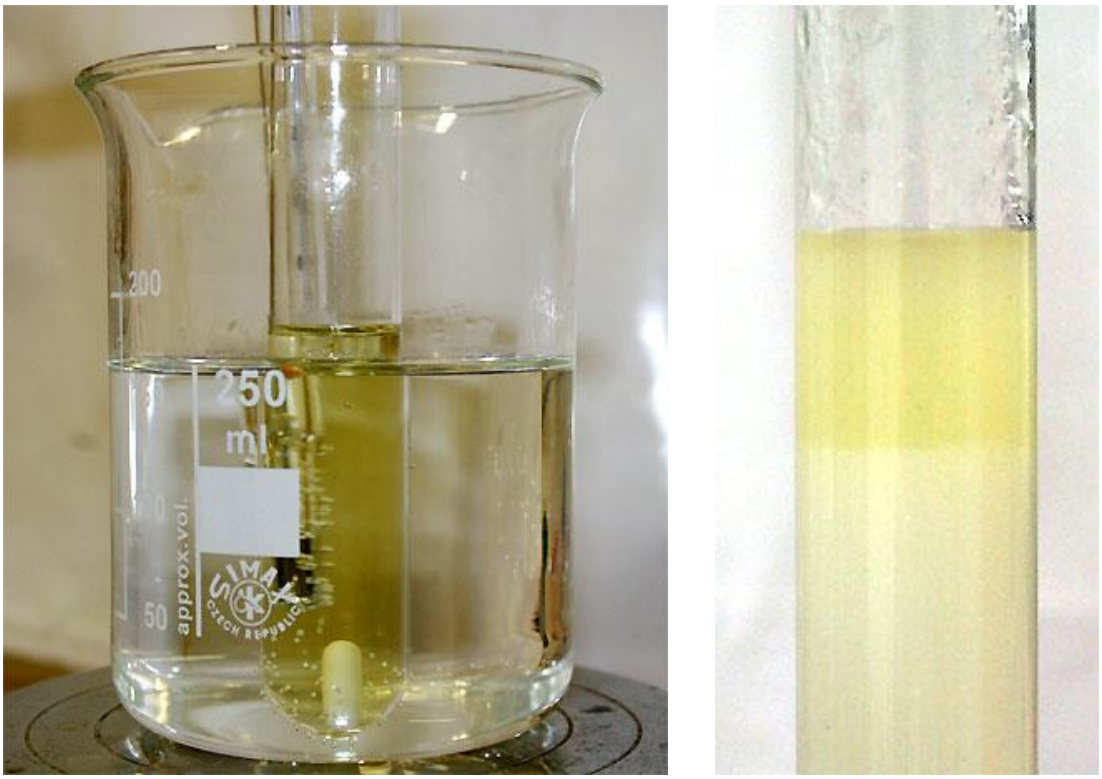
$$CH_3OH + Na^+ + OH^- \rightleftharpoons CH_3O^- + Na^+ + H_2O.$$

roztok natrium-methoxidu, natrium-methanolátu ???

Reesterifikace: Kádinku zpoloviny naplňte vodou a zahřejte na 75 °C. Do suché zkumavky nalijte 8 cm^3 roztoku natrium-methoxidu a 4 cm^3 řepkového oleje a vhoďte míchací tělísko. Nasaďte chladič a zahřívejte na vodní lázni při intenzivním míchání. Nejprve se vytvoří mléčná emulze, přibližně po 5 minutách čirý roztok. Vypněte míchačku a reakční směs bez ochlazení přemístěte do zkumavky naplněné ze ¾ vodou. Vytvoří se dvě fáze. Krátce protřepejte, vyčkejte na nové oddělení fází a odpipetujte horní fázi – bionaftu – do čisté zkumavky.



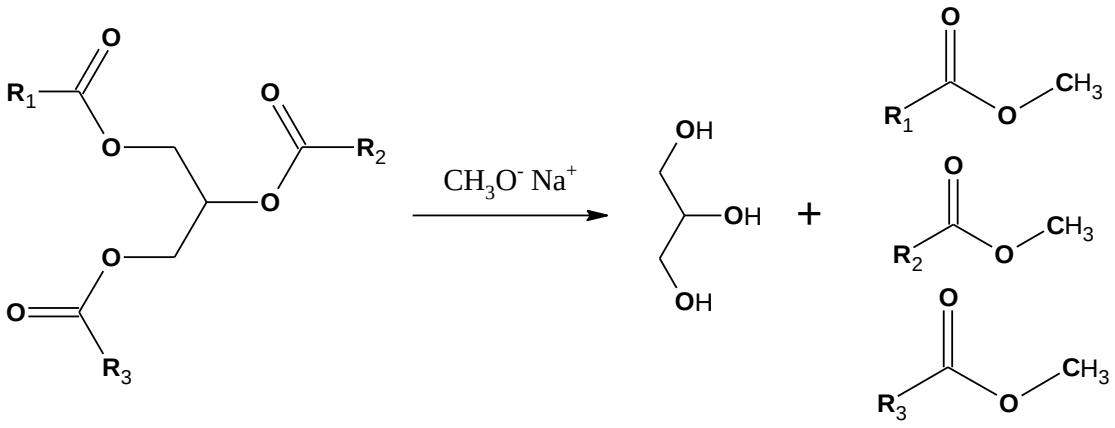
aparatura pro přípravu bionafty



čirá reakční směs v kádince – vpravo rozvrstvení produktů: horní vrstva je bionafta

Pozorování a vysvětlení:

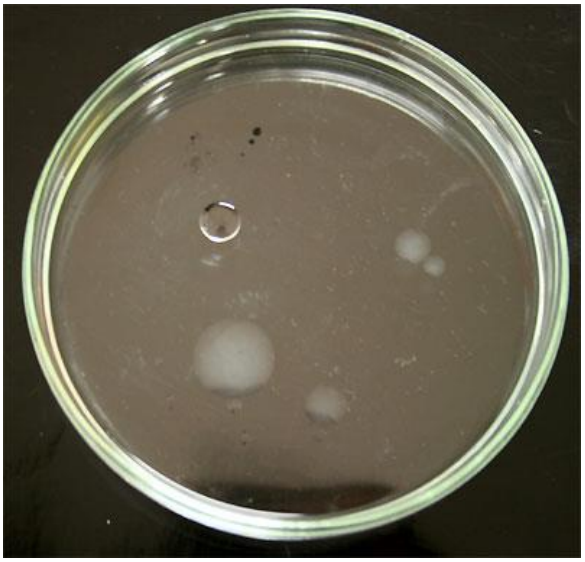
Řepkový olej a roztok natrium-methoxidu nejsou při pokojové teplotě ani při 75 °C navzájem mísitelné. Reakcí s methanolátovými ionty dochází k reesterifikaci řepkového oleje – vzniká směs methylesterů mastných kyselin (především kyseliny olejové, linolové a linolenové) a glycerolu. Tyto látky jsou za horka rozpustné v methanolu.



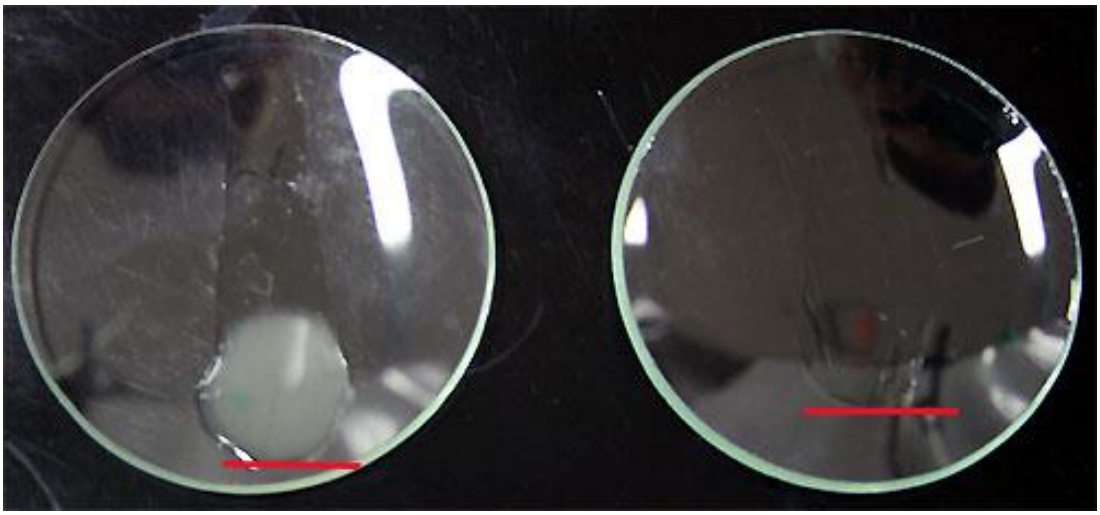
řepkový olej (triacylglycerol) **methylestery**

S vyrobeným produktem je možno provést pokusné srovnání vlastností bionafty a řepkového oleje. Na základě rozdílného stékání kapalin po skle nebo vytékání z pipety lze porovnat viskozitu obou látek, případně též jejich rozpustnost ve vodě.

Smísí-li se reakční směs s vodou, reaguje natrium-methoxid částečně na hydroxid sodný a methanol. Jak methanol, jeho sodná sůl, tak glycerol i hydroxid sodný jsou rozpustné ve vodě. Methylestery mastných kyselin – bionafta – vytvoří horní (nevodnou) fázi. Bionafta má menší viskozitu (větší pohyblivost) než původní řepkový olej.



„mastná oka“ řepkového oleje (čirý) a bionafty (zakalená) na vodě



bionafta (vlevo) stéká rychleji než řepkový olej (vpravo)

6.A Redukční účinky vitamínu C

Bayer Health Care, LÉKY A CHEMIE, 2.2 Působení léčiv, Pokus 13

Zadání: Pozorujte redukční účinky vitamínu C ve vitamínovém přípravku.

Chemikálie: zředěný roztok síranu železitého ($w(Fe_2(SO_4)_3 \cdot H_2O)$ = 0,1%; Xn), roztok thiokyanatanu amonného ($c(NH_4SCN)$ = 1 mol/dm^3; Xn), tablety s obsahem vitamínu C, destilovaná voda

Pomůcky: zkumavky, stojan na zkumavky, kapátka, odměrné válce 100 cm^3 a 5 cm^3, kádinka 250 cm^3

Postup:

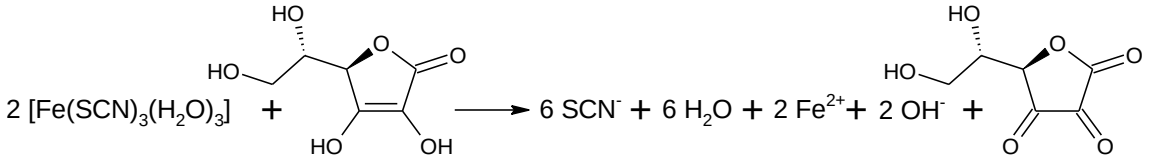
Tabletu rozpusťte ve 100 cm^3 destilované vody. K 5 cm^3 roztoku síranu železitého přidejte několik kapek roztoku thiokyanatanu amonného. Po pečlivém promíchání přidejte 5 cm^3 roztoku tablety a směs znovu důkladně promíchejte.

Pozorování a vysvětlení:

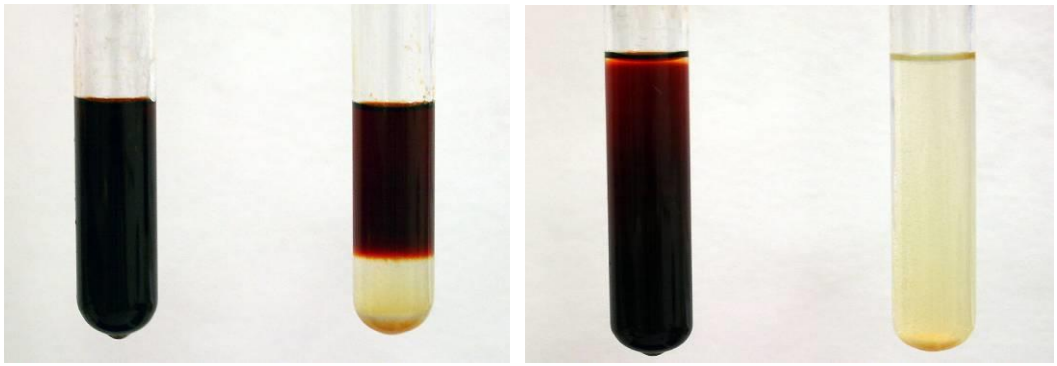
Železité ionty tvoří s thiokyanatanovými anionty krvavě červený komplex, reakce se využívá k důkazu obou látek:

$$Fe^{3+} + 3\ SCN^- + 3\ H_2O \rightleftharpoons [Fe(SCN)_3(H_2O)_3]$$

V přítomnosti kyseliny askorbové (vitamínu C) jsou železité ionty redukovány na ionty železnaté, které barevný komplex netvoří:



červený komplex kyselina askorbová kyselina dehydroaskorbová



odbarvení krvavě červeného roztoku po vhození tabletky Celaskonu

Náměty:

1. Jako doplnění je možno ukázat, že ionty Fe^{2+} netvoří červený thiokyanátový komplex.
2. Redukci je samozřejmě možné vyvolat také přidáním čisté kyseliny askorbové.
3. Snadnou oxidovatelnost iontů Fe^{2+} vzdušným kyslíkem – zejména v zásaditém prostředí – prokážeme tak, že roztok síranu železnatého mírně zalkalizujeme zředěným amoniakem a mícháme na vzduchu 1 až 2 minuty. Po okyselení zředěnou kyselinou chlorovodíkovou je možno vzniklé ionty Fe^{3+} dokázat thiokyanátem.

další důkazové reakce Celaskonu
redukce Fehlingova činidla a vznik berlínské modři (v poslední zkumavce zředěná)

6.B Vitamin C v ovoci a zelenině

R. Šulcová, H. Böhmová. Netradiční experimenty z organické a praktické chemie. Praha: UK v Praze, PřF 2007, ISBN 978-80-86561-81-3.(s. 56-58)

Zadání: Experimentálně ověřte přítomnost vitaminu C ve vzorcích ovoce a zeleniny.

Chemikálie: roztok chloridu železitého (w = 5%; C), roztok hexakyanoželezitanu draselného (w = 5%), tableta Celaskonu, vzorek jablka, citrónu, cibule, mrkve, brambory apod.

Pomůcky: třecí miska s tloučkem, filtrační kruh, nálevka, filtrační papír, zkumavka

Postup:

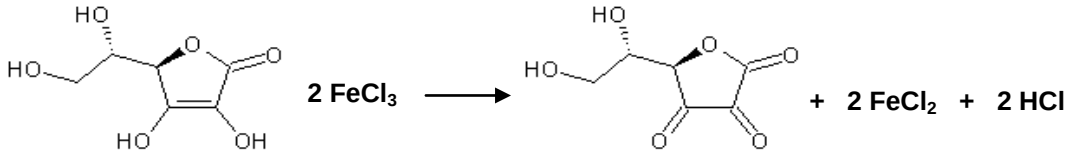
Rozetřete asi 5 g vzorku v 5 cm^3 destilované vody v třecí misce a směs přefiltrujte do čisté zkumavky. Z každého filtrátu převeďte stejné množství do zkumavky, k filtrátu přidejte asi 2 cm^3 roztoku chloridu železitého a po zamíchání stejný objem roztoku hexakyanoželezitanu draselného. Zaznamenejte barevné změny ve zkumavce, porovnejte výsledky u použitých vzorků ovoce a zeleniny s kontrolním vzorkem – Celaskonem. Vzniklé modré či tmavě zelené zabarvení signalizuje přítomnost vitaminu C ve vzorku.

Popište chemický průběh důkazu, eventuálně zapište chemickou rovnici reakce.

Pozorování a vysvětlení: Po přidání směsí obou roztoků k vitamínu C se směs zbarví temně zeleně. Časem přechází toto zabarvení na modrozelené. Barevné změny jsou důkazem přítomnosti vitamínu C – redukčního činidla.

Pozn.: Alternativně lze použít místo hexakyanoželezitanu rhodanid draselný a pouhou změnou množství přidaného chloridu železitého můžeme semikvantitativně spočítat množství vitaminu C: ten odpovídá spotřebovanému $FeCl_3$ v okamžiku barevného přechodu.

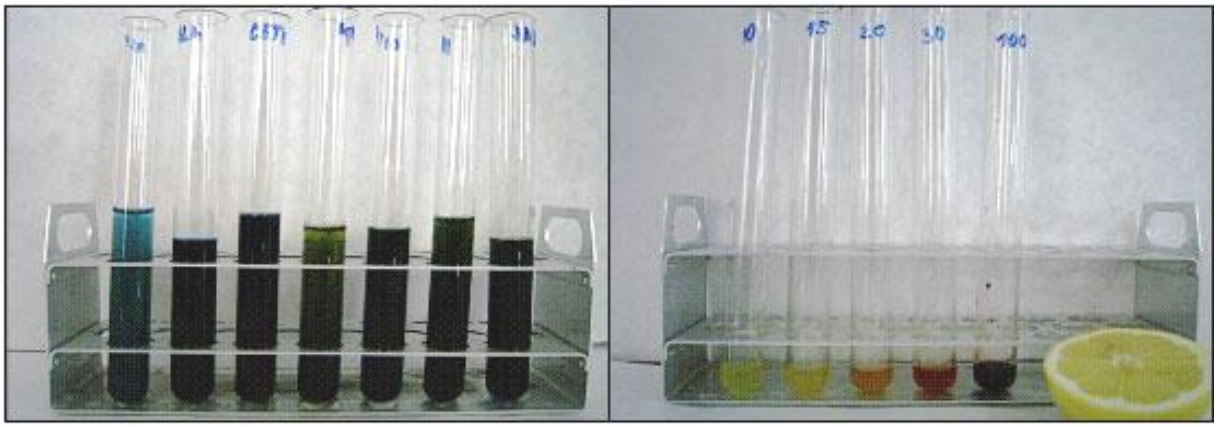
$$FeCl_3 \xrightarrow{vit.C} FeCl_2$$



kyselina L-askorbová (vitamin C) kyselina dehydro-L-askorbová

$$3\,FeCl_2 + 2\,K_3[Fe(CN)_6] \rightarrow Fe^{II}{}_3[Fe^{III}(CN)_6]^{-III}{}_2 + 6K^+ + 6\,Cl^- \langle\cdots\cdots\rangle 2\,K[Fe^{III}Fe^{II}(CN)_6]$$

zelená barva **berlínská modř**



kvalitativní stanovení vitaminu C **semikvantitativní stanovení vitaminu C**

7. Důkaz redukujících sacharidů

R. Šulcová, H. Böhmová. Netradiční experimenty z organické a praktické chemie. Praha: UK v Praze, PřF 2007, ISBN 978-80-86561-81-3.(s. 9-10)

Zadání: Na základě Fehlingovy zkoušky porovnejte obsah redukujících sacharidů ve vybraných potravinách. Vyhledejte názvy sacharidů, které se v daných potravinách vyskytují.

Chemikálie: roztok hydroxidu sodného (*w* = 10%; C), roztok pentahydrátu síranu měďnatého (*w* = 5% roztok; Xn, N) nebo směs Fehlingova roztoku I a II v poměru 1:1,
potraviny: mléko, „citronka“, datle nebo rozinky, med, banán, cibule, oslazená voda apod.

Pomůcky: zkumavky ve stojánku, nůž a prkénko (případně třecí miska s tloučkem), skleněná tyčinka, kádinky, rychlovarná konvice nebo kahan, velká kádinka 500 cm^3, univerzální indikátorové papírky

Postup:
Do každé kádinky nakrájejte na maličké kousky přibližně stejné množství vybrané potraviny (měkké rozmačkejte, případně rozdrťte ve třecí misce), zalijte 50 cm^3 horké vody a nechte louhovat 10 minut (mléko a citronku samozřejmě louhovat netřeba).
Do každé zkumavky odlijte vždy 7 cm^3 „výluhu“ z dané suroviny ***(označte si, co kde je!)*** a přidejte asi 1 cm^3 směsi Fehlingových roztoků I a II (nebo po 1 cm^3 roztoků hydroxidu – pro zásadizé prostředí - a modré skalice).
V rychlovarné konvici uvařte 300 ml vody, vroucí vodu nalijte do velké kádinky a do této lázně vložky zkumavky s reakční směsí tak, aby vroucí voda nenatekla dovnitř. Po 5 až 10 minutách v horké lázni pozorujte barevné změny v jednotlivých zkumavkách, zaznamenejte je do tabulky. Směs můžete zahřívat též v plameni kahanu.

Důkazem přítomnosti redukujících sacharidů je vznik červenooranžové (méně často i žluté či nahnědlé) sraženiny oxidu měďného. Vyberte z použitých potravin ty, které obsahují redukující sacharidy. V literatuře vyhledejte názvy redukujících sacharidů v těchto surovinách.

Pozorování a vysvětlení:
V ovoci a medu se vyskytují především monosacharidy glukosa a fruktosa. V mléce je obsažen redukující disacharid laktosa. Sacharosa (tj. běžný kuchyňský cukr) nemá redukční vlastnosti. „Citronka“ neobsahuje dostatečné množství redukujících sacharidů, takže ke vzniku červené sraženiny nedochází.

med **rozinky** **„citronka“ - jablko - cibule - datle** **mléko** **banán**

8. Důkaz bílkovin

R. Šulcová, H. Böhmová. Netradiční experimenty z organické a praktické chemie. Praha: UK v Praze, PřF 2007, ISBN 978-80-86561-81-3.(s. 10-12)

Zadání: Biuretovou reakcí dokažte rozpustné bílkoviny ve vzorcích potravin.

Chemikálie: roztok hydroxidu sodného (w = 10%; C), roztok pentahydrátu síranu měďnatého (w = 5%; Xn, N) nebo směs Fehlingova roztoku I a II v poměru 1:1, ethanol (F),
potraviny: mléko, sýr, tvaroh, pšeničná mouka a pečivo, vaječný bílek, fazole nebo hrách, sojové maso, bílá čokoláda, pomazánkové máslo

Pomůcky: sada zkumavek ve stojánku, skleněná tyčinka, nůž, kádinka, případně třecí miska s tloučkem a filtrační papír

Postup:

Pokud není vzorek potraviny tekutý, nakrájejte (rozlučte) jej nadrobno a vylouhujte v malém množství horké vody. 7 cm^3 vzorku nebo výluhu slijte do zkumavky a přidejte asi 2 cm^3 roztoku hydroxidu (pro zásadité prostředí) a potom asi 1 cm^3 roztoku modré skalice nebo použijte 1 – 2 cm^3 směsi Fehlingových roztoků I a II. Po 5 minutách pozorujte barevné změny. Pozitivním důkazem přítomnosti bílkoviny je fialové či růžové zbarvení roztoku (přetrvávající přítomnost modré sraženiny hydroxidu měďnatého nevadí). Barevné změny zapište do tabulky a rozhodněte o přítomnosti bílkovin.

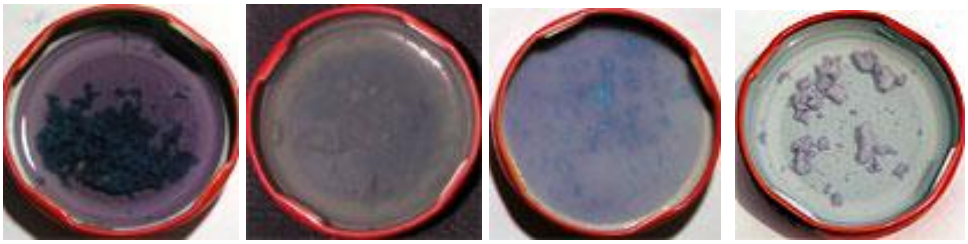
Speciální postup pro důkaz lepku v mouce:

Lžičku mouky nebo nadrobeného pečiva zalijte v kádince větším množstvím ethanolu (vznikne řídká kaše). Několik minut protřepávejte nebo míchejte, poté nechte usadit (nebo přefiltrujte) a v tekutině dokazujte bílkovinu postupem popsaným výše.

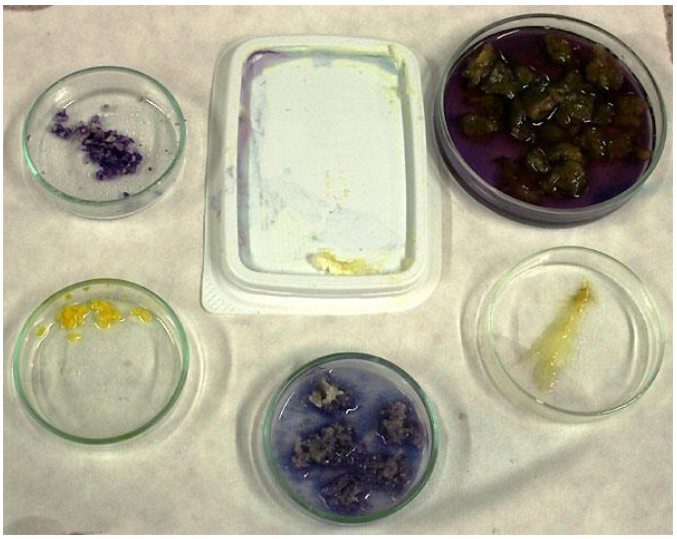
Pozorování a vysvětlení:

Principem biuretové reakce – důkazu přítomnosti rozpustných bílkovin – je tvorba růžově až fialově zbarvených kompletů měďnatých iontů s rozpustnými bílkovinami v zásaditém prostředí. Ligandem účastnícím se koordinační vazby jsou dusíkové atomy vždy dvou sousedících peptidových vazeb v molekule bílkoviny.

Pozitivní biuretová reakce:



bílek **fazole** **mléko** **sýr tofu**



vařený bílek - pomazánkové máslo - sojové maso - dole toastový chléb

dole žluté: xanthoproteinová reakce na vařeném bílku a peří

9. Chromatografické odhalení přítomnosti glutamátu v instatních polévkách – využití ninhydrinové reakce

K.Kolář, Z. Chrásková. Důkaz kyseliny glutamové v potravinářských výrobcích. Biologie, chemie, zeměpis roč. 7, 2/1998 ISSN 1210-3349, (s. 72-73).

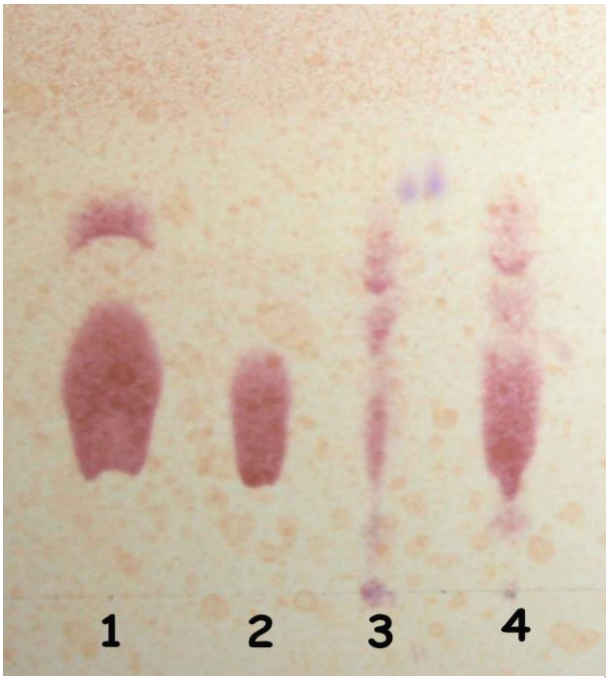
Zadání: Ninhydrinovou reakcí dokažte přítomnost glutamátu ve vzorcích instatních polévek.

Pomůcky: 2 kádinky (100 cm^3), odměrný válec (50 cm^3), mikropipeta nebo pipeta (5 cm^3), nástavec na pipetu, skleněná tyčinka, pinzeta, rozprašovač (resp. skleněná vana), sušárna (žehlička, fén), silufolová deska nebo filtrační papír, lžička, nůžky, velká kádinka, krycí sklíčko a vzorky sušených polévek.

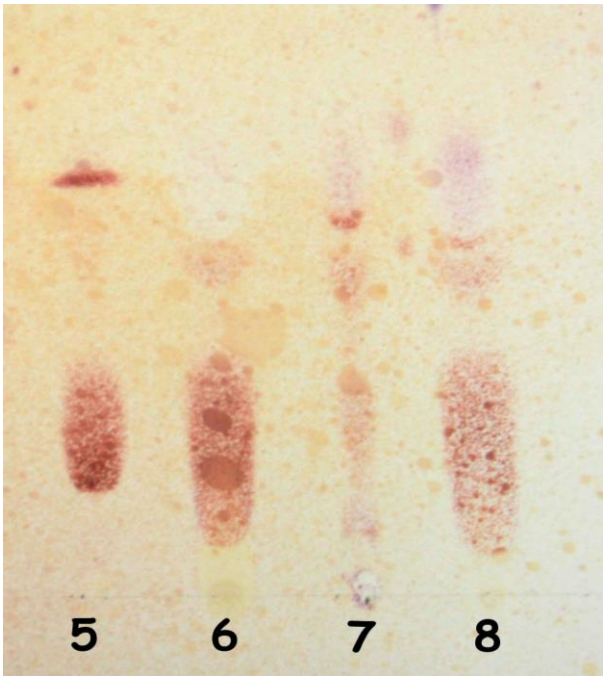
Chemikálie: roztok ninhydrinu (w = 1%; Xn) v acetonu (F, Xi), ethanol (F), kyselina glutamová pevná, amoniak (vodný roztok; C, N)

Postup:
Vzorek instantní polévky rozmíchejte v malém množství vody a nechte usadit. Maličkou kapku tekutiny naneste mikropipetou asi 1 cm nad spodní okraj silufolové desky; pro kvalitativní určení postačí kousek filtračního papíru (asi 8x15 cm), sloužícího jako chromatogram. Po zaschnutí kapky naneste ještě jednu na totéž místo. Takto postupujte se všemi instatními polévkami, které máte k dispozici – vzorky nanášejte vedle sebe v dostatečné vzdálenosti, jako poslední naneste kapku roztoku kyseliny glutamové (*w* = 1%), která poslouží jako standard. Chromatogram – Silufol nebo filtrační papír - vložte do chromatografické nádoby, např. uzavřené lahve nebo kádinky překryté sklíčkem a vyvíjejte eluční směsí ethanol:amoniak v poměru 8:2. Zhruba po 2 hodinách detekujte kyselinu glutamovou obsaženou v polévkách ninhydrinovou reakcí: postříkejte z rozprašovače roztokem ninhydrinu v acetonu (lze též použít ninhydrinový roztok uvedený pro experiment č. 15 na str. 35), usušte a zahřívejte při 100 °C v sušárně, popř. žehličkou, infrazářičem nebo horkovzdušnou pistolí. Přítomnost kyseliny glutamové (aminokyselin) se projeví červenofialovým zbarvením.

Pozorování a vysvětlení:
Kyselina glutamová (L-konfigurace), zvláště její monosodná sůl, která intenzifikuje chuť masových a zeleninových pokrmů, je přirozenou složkou bílkovin vepřového, drůbežího či rybího masa, ale i rostlinných bíkovin, např. rajčat nebo hrášku. Proto je často využívána v potravinářském průmyslu jako aditivní kořenící látka, zvýrazňující vedle slané také tzv. chuť umami a působící jako chuťové aditivum (E 620, E 621). V nezbytném povoleném množství může být součástí instantních polévek, omáček, Podravky, masových a zeleninových konzerv, paštik, kečupů, dressingů apod. Vyrábí se z pšeničného lepku, popř. z melasy; pro potravinářské účely se též používají i další synergicky působící bílkovinné hydrolyzáty z rostlin s obsahem glutamátů.
V potravinářských výrobcích lze chromatograficky zjistit přítomnost a případně i porovnat množství kyseliny glutamové a glutamátu. Na následujících snímcích je ukázka kvalitativního porovnání chromatogramů roztoků kyseliny glutamové, kořenících přípravků Glutasol a Podravka s roztoky polévek: výrobce polévek Maggi „ze Zahrádky" (č. vzorku 3 a 7) uvádí, že do výrobků nebyl přidán žádný glutamát ani konzervační látky.



1. kys. glutamová – 2. Glutasol – 3. Brokolicová polévka „ze Zahrádky“ – 4. Kuřecí polévka



5. kys. glutamová – 6. Podravka – 7. Česneková polévka „ze Zahrádky“ – 8. Jarní polévka

10. Fluorescence rostlinných barviv

R. Šulcová, H. Böhmová. Netradiční experimenty z organické a praktické chemie. Praha: UK v Praze, PřF 2007, ISBN 978-80-86561-81-3.(s. 31-32)

Zadání: Pozorujte fluorescenci barviva berberinu ve vzorcích vlaštovičníku či dřišťálu. Porovnejte s fluorescenčními barvivy ve zvýrazňovačích.

Chemikálie: rostlinné vzorky – vlaštovičník větší (nať, listy), dřišťál (planá i parková – červená – varianta, nejlépe měkké výhonky větviček nebo hroznovitá květenství). Pozor, obě rostliny jsou **jedovaté**, u citlivých jedinců může při kontaktu vlaštovičníkového latexu („mléka“) dojít k podráždění či poškození kůže. Lze použít i citrusovou kůru s obsahem flavonoidů, které také v UV světle slabě fluoreskují.

Pomůcky: filtrační papír (nepoužívejte kancelářský papír), nůžky, UV lampa (stačí kapesní, pro kontrolu bankovek), zvýrazňovače, zatemnění (krabice)

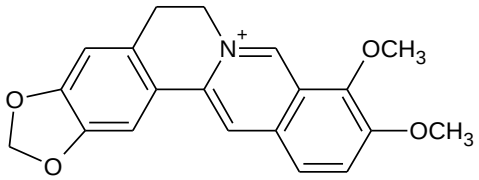
Postup:

Vzorek rostliny vložte do přeloženého kousku filtračního papíru a přes papír rozdrťte. Papír rozevřete a zbytky rostliny seškrábejte nožem. Otisky rostliny na papíře pozorujte pod UV lampou. (Papírky s otisky lze uschovat a pozorovat i po dlouhé době.) Pokud pracujete s vlaštovičníkem, stačí na kousek filtračního papíru nanést menší množství žlutooranžového latexu („mléka“) vytékajícího z poraněné rostliny.

Porovnejte s fluorescencí nápisů vytvořených zvýrazňovačem na filtračním papíře.

Pozorování a vysvětlení:

Pod UV lampou se objevuje žlutozelená fluorescence žlutooranžového barviva - alkaloidu berberinu.

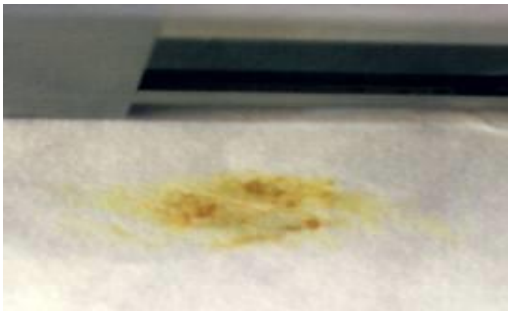


berberin

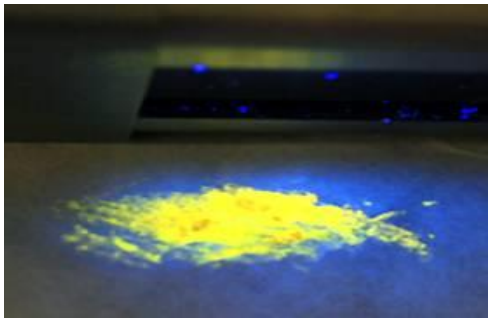
přidat anion

Principem fluorescence je schopnost barviva berberinu pohlcovat UV záření z lampy a jeho energii využít k excitaci molekul berberinu do stavu o vyšší energii. Při návratu zpět na původní energetickou hladinu dochází k vyzáření přebytečné energie ve formě viditelného (v tomto případě žlutého) světla.

pozorování fluorescence přírodních barviv po UV lampou

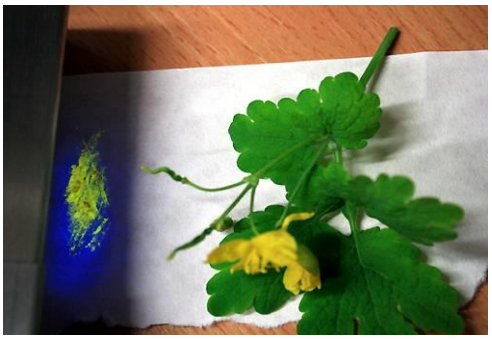


skvrna oranžového latexu z vlaštovičníku

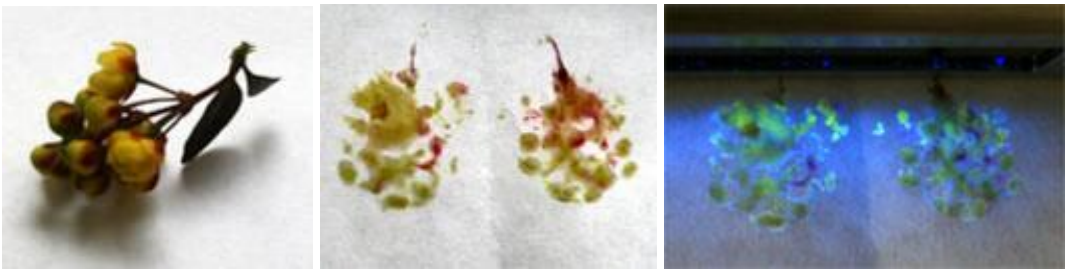


fluoreskující berberin z latexu vlaštovičníku

vlaštovičník a skvrna latexu

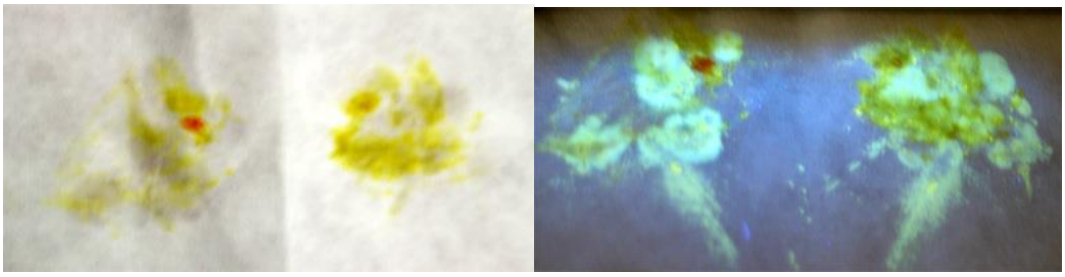


vlaštovičník a skvrna latexu pod UV lampou



květenství dřišťálu – otisk na filtračním papíře – otisk pod UV lampou

fixy a zvýrazňovače pod UV lampou



pomerančová kůra pod UV lampou

Druhá část: Chemik detektivem – forenzní chemie

Experimenty v druhé části jsou zaměřeny na forenzní chemii, tedy některé detektivní nebo soudní metody uplatňované v kriminalistice při odhalování otisků, stop či přítomnosti určitých látek. Týkají se odhalování otisků prstů, zajišťování a zviditelnění stop, důkazy přítomnosti krve nebo oxidujících látek v pyrotechnice. Autory následujících návodů jsou Hans Joachim Bader a Martin Rothweil z projektu CITIES, ověření, doplnění a případné úpravy experimentů a fotodokumentaci zajistily Renata Šulcová, Hana Böhmová, Eva Stratilová Urválková a Barbora Zákostelná.

Odhalování otisků prstů, zviditelnění stop, důkazy přítomnosti krve či oxidujících látek

11. Otisky prstů – použití prášků

Všechny prášky zmiňované v následujících experimentech se používají při profesionálním zajišťování důkazů. Všeobecně používanými činidly jsou železný prach a oxid železitý. Výborným povrchem pro zjišťování přítomnosti stop jsou sklo a glazovaná keramika. Zviditelněné stopy pak mohou být odebrány a zajištěny pomocí lepicí pásky, která se i se stopou přenese na bílý papír.

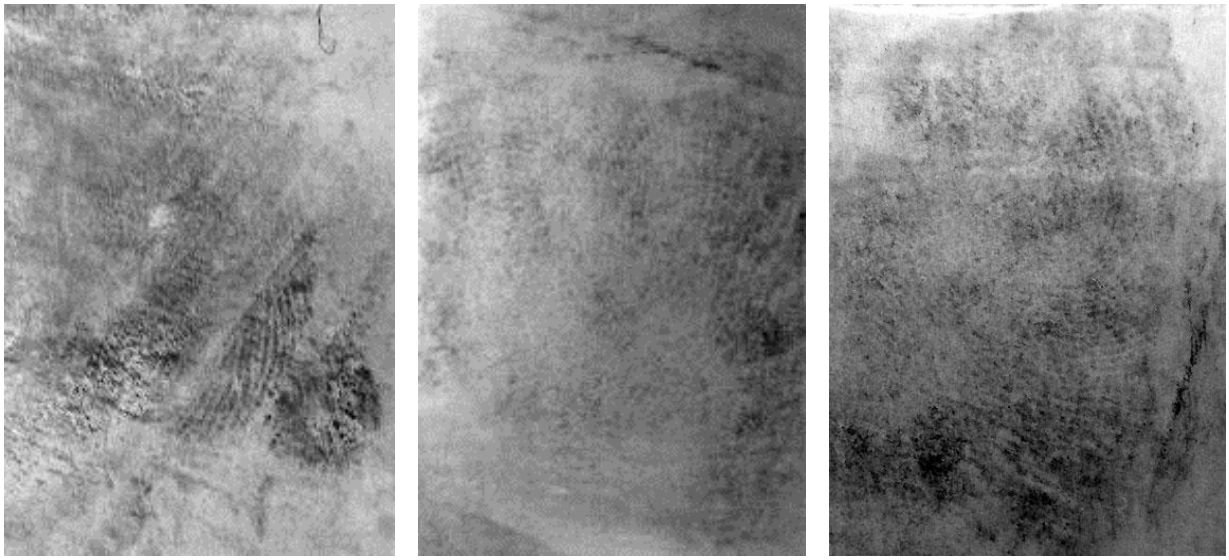
Zadání: Pomocí prášků sejměte své otisky prstů ze skleněného nádobí.

Chemikálie: grafit / tuha, práškový hliník, jemný železný prach, oxid železitý (prach)

Pomůcky: 4 jemné štětce, 4 Petriho misky, skleněné nádobí, průhledná lepicí páska (pokud možno co nejširší isolepa), bílý papír

Postup:
Na nádobách nebo jiných materiálech s hladkým povrchem zanechejte otisky prstů. Poté dejte do Petriho misek po malých množstvích jednotlivých prášků a naneste je pomocí štětce na zanechané stopy. Prášky můžete nanášet buď lehkým poklepáním štětce nad stopou nebo stopu přímo zlehka potřete (pozor na rozmazání!). Přebytečný prášek odfoukněte. Na zvýrazněnou stopu přilepte lepicí pásku a otisk opatrně sejměte; pásku přilepte na bílý papír.

Pozorování:
Otisk prstu se po posypání objeví ve tvaru papilárních linií v barvě prášku. Prášek přilne k povrchu stopy díky přitažlivým silám způsobených složkami otisku prstu (voda, tuky, atd.), a tak zviditelní otisk prstu.
Na následujících obrázcích jsou otisky prstu zviditelněné:
- grafitovým prachem
- práškovým hliníkem
- jemným železným prachem



otisky prstů zviditelněné prášky a přenesené lepicí páskou na papír

12. Otisky prstů – použití jodu

Jod se pro detekci stop používá ve formě prášku nebo par, v každém případě ne na místě činu kvůli svým škodlivým vlastnostem (při vdechnutí dráždí sliznice, je nebezpečný i při kontaktu s kůží). Jod je dobrým kontrastním činidlem pro takové nosiče stop, jako je papír. Kvůli vysoké těkavosti lze stopy zvýrazněné jodem spatřit po relativně krátkou dobu, proto je nutné stopu vyfotografovat, případně jinak zafixovat chemickou reakcí, např. se škrobem.

Zadání: Pomocí par jodu odhalte otisky prstů na proužku papíru.

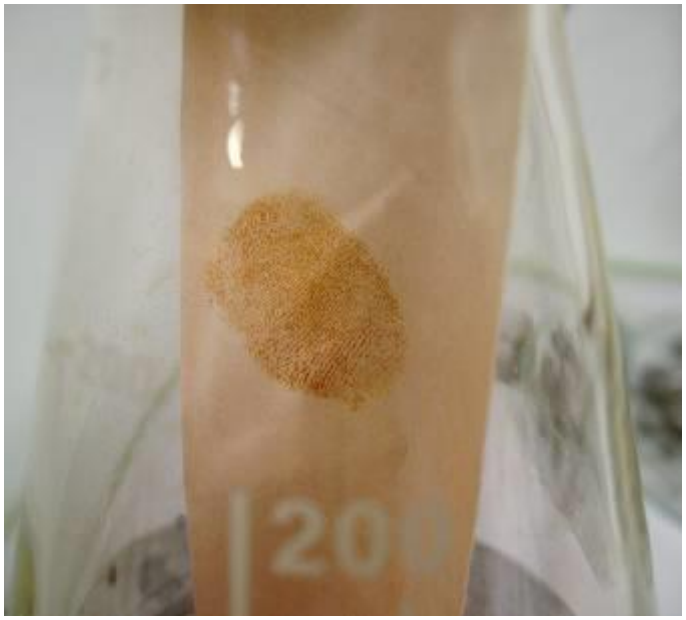
Chemikálie: jod (Xn, N)

Pomůcky: vyvíjecí komora (např. Erlenmeyerova baňka se zátkou), miska s pískem, vařič, pinzeta, papír, karton / lepenka, ochranné rukavice

Postup:
Na papíru nebo lepence zanechejte otisky prstů. Další operace je třeba provádět v digestoři (nebo alespoň při dobrém větrání) a s ochrannými rukavicemi. Na dno větší erlenky nasypejte lžičku krystalků jodu a do baňky dejte papír s hledanými otisky. Baňku uzavřete gumovou zátkou, dejte ji na misku s pískem a tu opatrně zahřívejte; lze také postavit ke zdroji tepla – sublimace probíhá bez problémů.

Pozorování:
Otisky prstů se objeví jako nahnědlé vzory papilárních linií. Jod ulpívá na povrchu stopy díky přitažlivým silám látek ve stopě (voda, tuky, atd.).

otisk zviditelněný jodem



vyvolávání otisku ve vyvíjecí nádobě

13. Otisky prstů – použití kyanoakrylátu

Kyanoakrylátová lepidla jsou jednosložková lepidla na bázi monomerních esterů kyseliny 2-kyanoakrylové. V přítomnosti vody velice rychle vulkanizují – přeměňují se na vysokomolekulární polymery s nerozvětveným řetězcem. Touto metodou mohou být úspěšně odhaleny otisky prstů např. na kovech a skle: otisk zbělá nebo zešedne.

Jako činidlo lze použít kromě monomeru také polymer: zahříváním vzniká z polymeru monomer, který může následně opět polymerovat.

Zadání: Pomocí vteřinového kyanoakrylátového lepidla odhalte otisky prstů na kovovém povrchu.

Chemikálie: kyanoakrylát (vteřinové lepidlo; F, Xi), ethanol (F), oxid hlinitý

Pomůcky: velká krystalizační miska (Ø 14 cm), topná deska, teploměr, kádinka (50 cm^3), odpařovací miska, malý kovový (hliníkový) předmět nebo porcelánová či skleněná miska obalená hliníkovou fólií, hliníková folie, pryžové zátky na podložení

Postup:
Jako nosič otisků použijte kovový předmět, např. kávovou lžičku. Předmět lze s úspěchem nahradit např. lodičkou obalenou hliníkovou fólií (lesklou stranou nahoru). Na ethanolem odmaštěný kousek kovového povrchu naneste několik otisků. Všechny následující operace provádějte v digestoři. Velká krystalizační miska bude sloužit jako odpařovací zařízení:
Krystalizační misku naplňte do poloviny vodou. Dovnitř vložte kádinku nebo vyšší Petriho misku s malým množstvím vteřinového lepidla. Nádobku s lepidlem případně podložte velkou pryžovou zátkou nebo jiným předmětem, aby dovnitř nemohla vniknout voda z krystalizační misky. Vedle této nádobky vložte vyšší odpařovací misku (opět případně vypodloženou, aby na ni nedosáhla hladina vody) s kovovým předmětem nesoucím otisky prstů. Do vody v krystalizační misce ponořte teploměr, celou misku překryjte hliníkovou fólií a aparaturu zahřívejte na topné desce zhruba na 40 až 60°C. Po několika minutách lze pozorovat vyvíjení světle šedých otisků prstů na kovovém předmětu, případně i na vnitřním povrchu krycí hliníkové fólie.

Pozorování:
Otisky prstů na kovovém materiálu se objeví jako šedobílé vzory papilárních linií.

šedé stopy po otiscích prstů na alobalem potažených předmětech

příprava aparatury pro vyvolání otisků prstů

14. Otisky prstů – ninhydrin

Ninhydrinová metoda je vhodná zvláště pro takové nosiče stop, jako jsou různé typy papírů, pro velkoplošné vyšetřování na hrubých tapetách nebo i pro několik let staré stopy.

Zadání: Pomocí roztoku ninhydrinu odhalte otisky prstů na papíře.

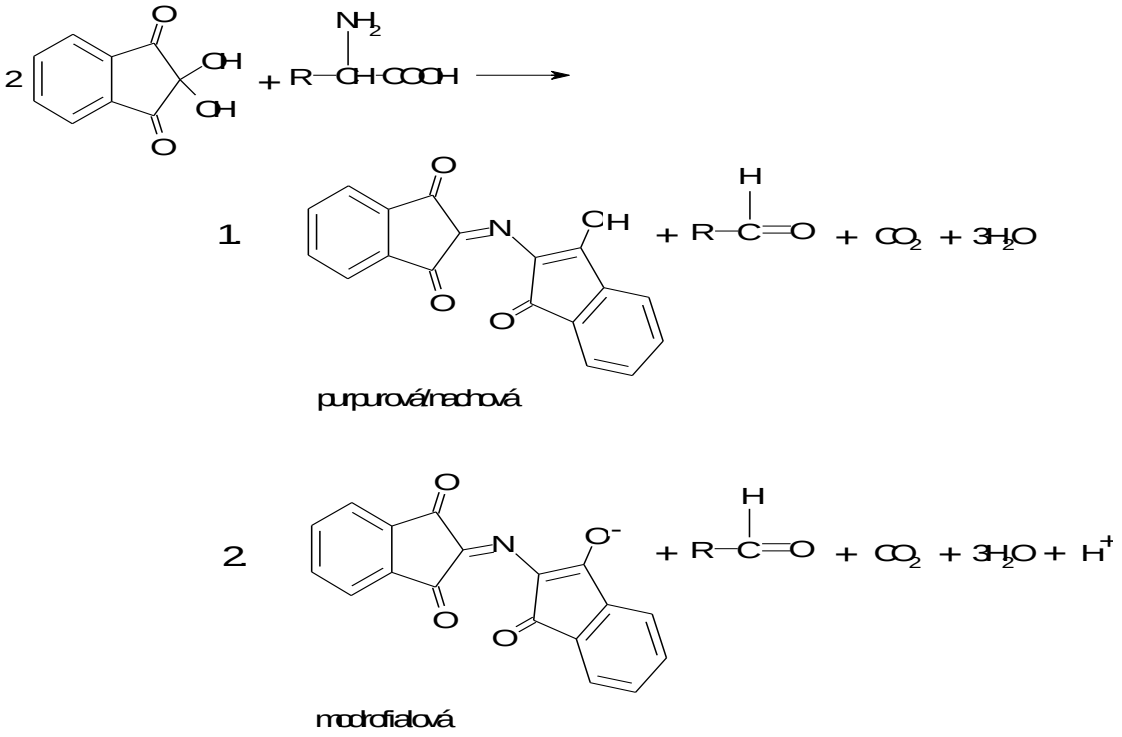
Chemikálie: ninhydrin (2,2-dihydroxy-1,3-indandion; Xn), ethanol (F), kyselina octová (w = 99%, C)

Pomůcky: 2 kádinky (100 cm^3), odměrný válec (50 cm^3), pipeta (5 cm^3), nástavec na pipetu, skleněná tyčinka, pinzeta, rozprašovač, sušárna (žehlička, fén), papír, lžička, váhy, váženka

Postup:
Jako nosič stop je ideální papír do tiskárny. Všechny následující operace musí být provedeny v digestoři a s ochrannými rukavicemi. Nejprve je třeba připravit ninhydrinový roztok: smíchejte 0,1 g ninhydrinu, 50 cm^3 ethanolu a 1,5 cm^3 kyseliny octové; roztok přelejte do rozprašovače. Nosič stop (= papír s otisky) přestříkejte ninhydrinovým roztokem a nechejte volně usušit. Poté papír zahřejte v sušárně nebo horkovzdušnou pistolí, než se objeví nachová barva otisků. Pokud použijete žehličku, přikryjte vzorek ochranným listem papíru. Pokud není výsledek přesvědčivý, proces zopakujte.

Pozorování:

Roztok kyseliny octové zvýrazní otisky prstů do nachové (purpurové) barvy. Použijete-li roztok bez kyseliny octové, zbarví otisky prstů do fialova (modra). Ninhydrin je vysoce citlivé činidlo na aminokyseliny, polypeptidy a proteiny, které se v našem případě dostanou na papír s otiskem prstu. Během ninhydrinové reakce dojde nejprve k dekarboxylaci aminokyseliny, vzniklý amin pak podléhá oxidační deaminaci. Ninhydrin zde vystupuje jako oxidační činidlo a sám se přeměňuje na růžově nebo modrofialově zbarvený produkt.



reakce ninhydrinu s aminokyselinami v kyselém (1.) a neutrálním (2.) prostředí

otisky prstů po ninhydrinové reakci

vyvíjení otisků horkovzdušnou pistolí

15. Otisky prstů – dusičnan stříbrný

Otisky prstů obsahují kromě vody a tuku také ionty, např. chloridové, které se vylučují kůží. Ty mohou být detegovány pomocí dusičnanu stříbrného. Chlorid stříbrný se vylučuje jako bílá sraženina a vlivem světla se pak rozpadá.

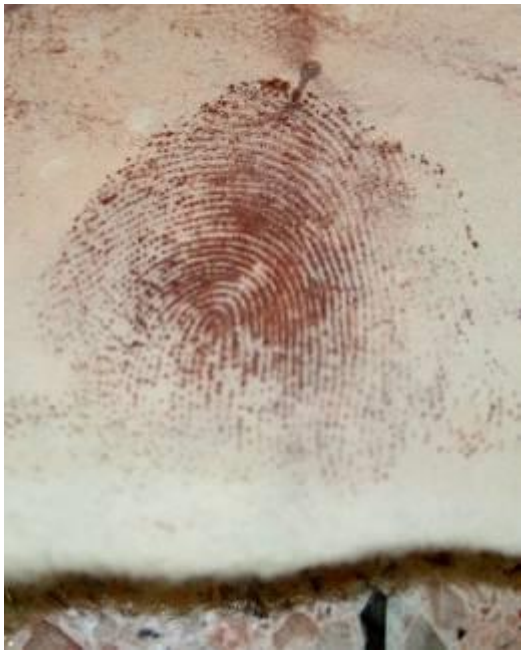
Zadání: Dusičnanem stříbrným odhalte otisky prstů na papíře.

Chemikálie: dusičnan stříbrný (C, Xn), methanol (F, T)

Pomůcky: kádinka (100 cm^3), skleněná tyčinka, rozprašovač, vysoušeč vlasů, UV-lampa (366 nm), papír, ochranné rukavice, lžička, odměrný válec, váhy, váženka

Postup:
Na papír naneste otisky prstů. Ve 25 cm^3 methanolu rozpusťte 0,5 g dusičnanu stříbrného a pomocí rozprašovače jím postříkejte papír s otisky. Tato část musí být provedena v digestoři a s použitím ochranných rukavic. Poté papír vysušte a dejte na slunce nebo osvětlete v UV světle (366 nm cca 2-3 min) do doby, než otisky prstů zcela vyniknou.
Otisky můžete takto zvýraznit i na skleněných předmětech a bílý otisk tvořený sraženinou chloridu stříbrného sejmout pomocí lepicí pásky a přenést na tmavý papír.

Pozorování:
Otisky prstů jsou pozorovány jako fialové, někdy šedo-černé papilární linie. V případě odhaování otisků na skle jako bílá sraženina. Stříbrné ionty jsou nejprve nastříkány na nosič stop, kde reagují s chloridy, které jsou vylučovány v lidském potu ve formě otisku prstu. Vzniklá sraženina chloridu stříbrného se důsledkem záření rozpadá na chlor a elementární stříbro, které zvýrazní otisky prstů.



otisk prstu výrazněný stříbrnými ionty

16. Sádra jako činidlo pro uchovávání stop

Pro osvětlení zločinu slouží kromě otisků prstů jako dobré stopy rovněž otisky bot, nohou či vozidel. Tyto stopy lze nalézt v písku nebo kypré půdě. Pokud není možné získat originál stopy, musí se otisk odlít. Pro odlévání se doporučuje zubní nebo běžná sádra. Před odlitím musí být stopa zafixována nějakým fixačním činidlem, což může být lak na vlasy nebo nátěrový lak. V následujícím experimentu se používá lak na vlasy a sádra.

Zadání: Zhotovte odlitek stopy zanechané obuví či jiným přemětem.

Chemikálie: sádra na odlitky, sprej na vlasy, jíl nebo květinový substrát, jemný písek, modelovací hmota (modelína, plastelína)

Pomůcky: miska nebo kelímek na sádru, škrabka, mělká plastová miska (Ø cca 50 – 40 cm), dřevěný nebo lepenkový rám

Postup:
Mělkou misku naplňte vrstvou květinového substrátu (jílovité hlíny) a otiskněte do něj stopu. Stopu zafixujte lakem na vlasy a zajistěte okraje stopy tím, že kolem stopy dáte lepenkový rám. Připravte sádru podle instrukcí na obalu – sádra s vodou by měla mít takovou konzistenci, aby se dala pohodlně přenést do zafixované stopy. Připravenou sádru můžete do stopy buď opatrně

nalít nebo ji nanést pomocí špachtle; sádru začněte plnit do nejhlubšího místa stopy. Předtím, než sádra úplně zaschne, odstraňte lepenkový rám. Vrstvu zajišťovacího materiálu (např. jílu, květinového substrátu) však můžete odstranit až po úplném ztvrdnutí sádry. Situaci lze simulovat i tak, že stopu vytvoříte v modelovací hmotě (modelíně), odlitek je v tomto případě mnohem přesnější.

Pozorování:

Odlitek je trojrozměrnou zrcadlovou kopií originálu stopy. Otisk (v našem případě stopa podrážky či chodidla) je zafixován pomocí laku na vlasy. Sádra obsahuje hemihydrát síranu vápenatého, který při reakci s vodou vytváří pevný dihydrát síranu vápenatého.

$$CaSO_4 * ½\ H_2O + 1\ ½\ H_2O \rightarrow CaSO_4 * 2\ H_2O$$

Jinou variantou pro pořizování přesných odlitků předmětů je použití modelovací hmoty (modelíny). Na následujících obrázcích jsou ukázky forem a vytvořených sádrových odlitků, kterých lze takto vytvořit pomocí jedné formy hned několik identických.

Zhotovování sádrových odlitků:

odlitek podrážky

forma z plastelíny, lastura a její sádrový odlitek

17. Zviditelnění zničených embosovaných znaků na mosazných předmětech

Motory, zbraně a klíče s chráněným profilem jsou typické předměty, které obsahují vlastní unikátní kódy ve formě písmen, čísel či jiných znaků. Jestliže je tento předmět použit při spáchání zločinu, pachatel většinou odstraní nebo změní stopy, které by ho mohly usvědčit. To se často dělá různým pilováním, škrábáním, vrtáním, obrušováním nebo vyrýváním jiných znaků. V takových případech používá forenzní technologie metody metalografického leptání, kterým se také někdy říká zvýraznění struktury. Leptáním se totiž zvýrazní změny ve struktuře materiálu, které nastaly původním ražením znaků do kovu. Techniku lze demonstrovat na mosazných předmětech vyleptaných pomocí chloridu železitého.

Zadání: Pomocí leptacího roztoku zviditelněte vypilované znaky na klíčích.

Chemikálie: chlorid železitý (bezvodý; C), HCl (w = 30 %; C)

Pomůcky: (nemagnetické) klíče vyrobené z mosazi nebo alpaky, pilník, smirkový papír (zrnitost 320, 600, 1000), odměrný válec (50 cm^3), Petriho misky, kleště (pinzeta), kádinka (100 cm^3), lžička, váhy, váženka, papírové ubrousky

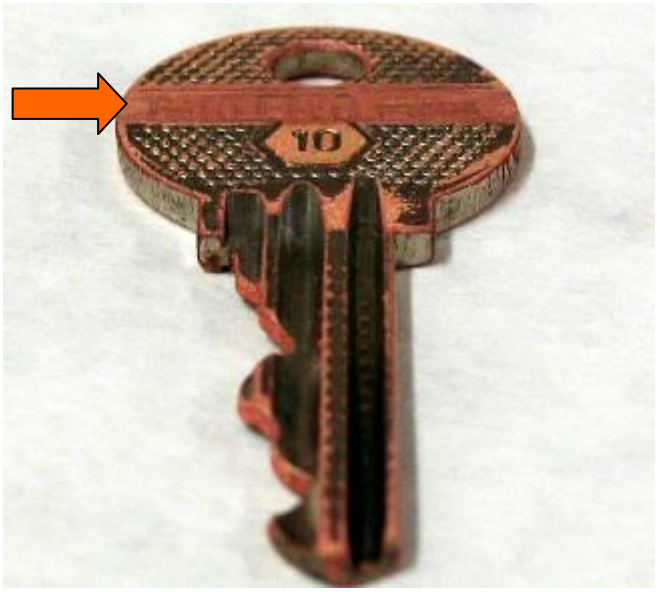
Postup:
Vyražené znaky v předmětech (klíčích) odstraňte pomocí pilníku do úplného vybroušení. Povrch vyhlaďte smirkovým papírem. Leptací roztok připravte rozpuštěním 5 g $FeCl_3$ v 50 cm^3 kyseliny chlorovodíkové. Předměty dejte na 10 minut do Petriho misky s leptacím roztokem. Předměty poté opláchněte pod tekoucí vodou a vysušte papírem do sucha. Pokud není výsledek dostatečně přesvědčivý, můžete celý postup několikrát opakovat.

Pozorování:
Vyražená čísla či písmena odstraněná pilníkem se zdají pouhým okem neviditelná. Po krátké lázni v kyselém roztoku chloridu železitého jsou vidět jako kontrastní šedá místa.
Při ražení za studena dochází k hlubším změnám materiálu, než je jen samotný vytepaný znak, a proto lze těchto hlubších změn využít k obnovení zdánlivě zničených znaků. Jestliže se tyto části dostanou do styku s oxidačním činidlem (Fe^{3+}), vylučuje se v daném místě elementární kov. Díky narušené struktuře slitiny dochází v místě ražby k rychlejší oxidaci a k vytvoření silnější vrstvičky produktu na povrchu.

původní a vybroušený klíč

klíč v leptací lázni

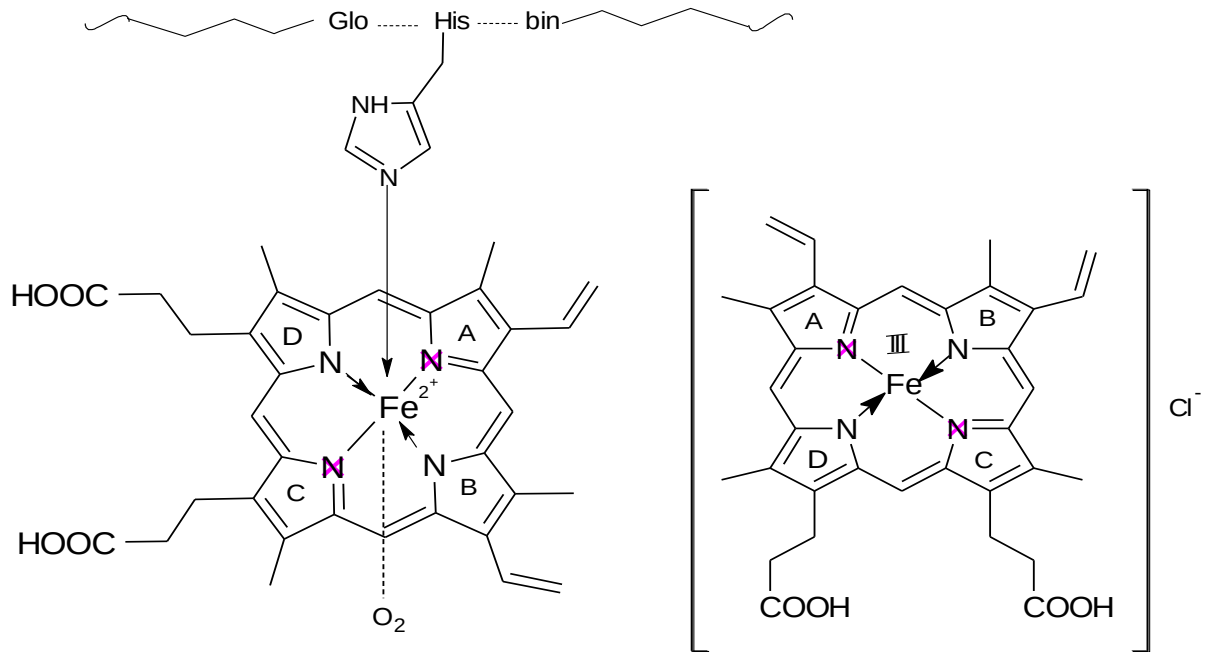
klíč po leptání – vybroušený klíč



objevující se vybroušený nápis

18. Hemoglobinový test krve (Teichmannův test)

Červené krvinky obsahují barevný transportní metaloprotein, hemoglobin, který se skládá z barevné složky, hemu, a proteinové části, globulinu – ty dohromady tvoří komplex. Molekula hemoglobinu obsahuje čtyři globiny a na ně navázané hemy, z nichž každý sestává z modifikovaného porfyrinového kruhu s navázaným železem (Fe^{2+}). Právě tento systém je přenašečem kyslíku v krvi.
Molekula kyslíku se váže na železnatý ion bez jakékoli změny redoxního čísla. Hem se může změnit na hematin, kde je železo v oxidačním stavu III.
Následující Teichmannův test dokazuje přítomnost krve ve vzorku, který může být i několik staletí starý. Test je zde popsán ve dvou provedeních.



hemoglobin **hemin**

Zadání: Přípravou Teichmannových krystalů potvrďte, že pracovní vzorek je krev.

Chemikálie: chlorid sodný, koncentrovaná kyselina octová (C), vepřová krev

Pomůcky: mikroskop (500x zvětšení), třecí miska s tloučkem, kahan, kapátko, podložní a krycí sklíčko, držák na zkumavky

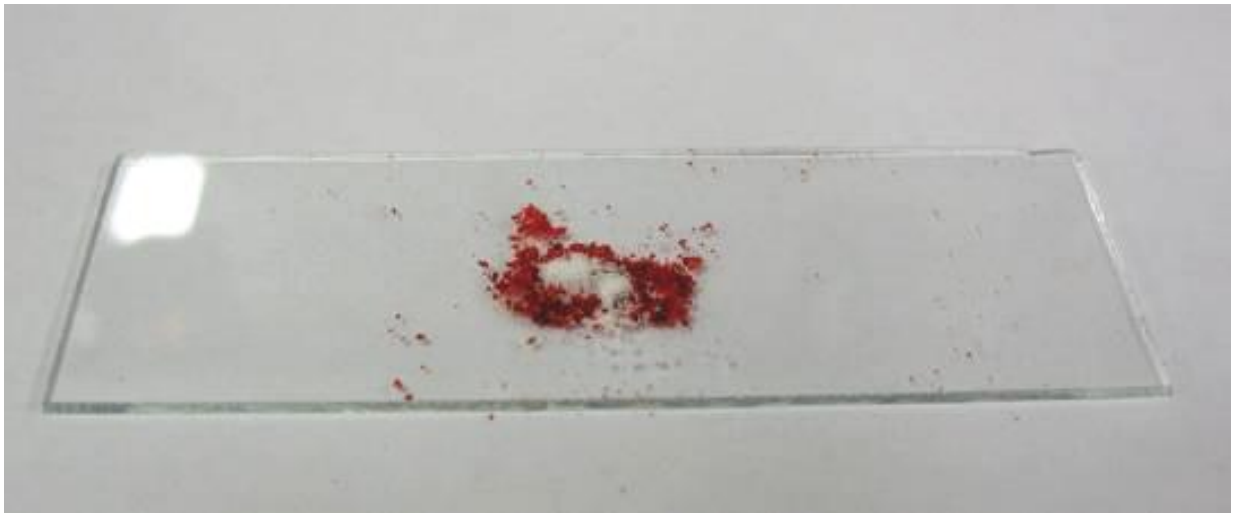
Postup:

Varianta 1: Na podložní sklíčko kápněte kapku krve a rozetřete ji druhým sklíčkem; kapku nechejte 5-10 minut schnout. Mezitím si v třecí misce rozetřete trošku (!) chloridu sodného. Jakmile krev zaschne, seškrábněte ji na druhé sklíčko, přidejte na špičku kopistku chloridu sodného a zakápněte dvěma kapkami kyseliny octové. Přikryjte vzorek krycím sklíčkem a opatrně zahřívejte v plameni k varu.
Po ochlazení sklíčka pozorujte vzorek pod mikroskopem. Začněte od nejmenšího zvětšení až uvidíte zřetelně krystaly.

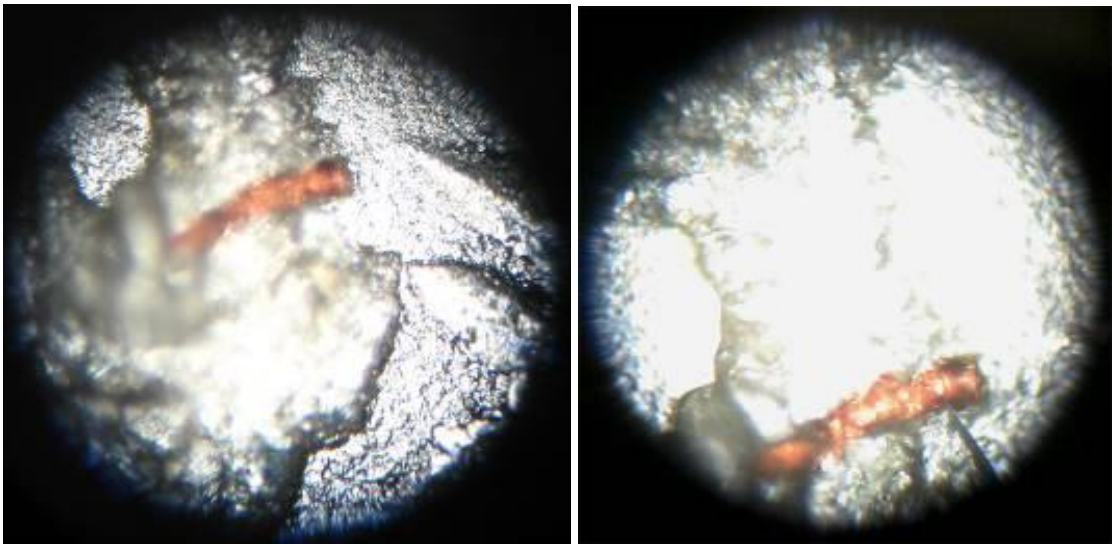
Varianta 2: Do zkumavky dejte 2 cm^3 krve, trošku NaCl a tři až čtyři kapky kyseliny octové; zamíchejte. Roztok opatrně zahřejte v modrém plameni kahanu, nechejte odpařit roztok na 2/3 původního množství. Po ochlazení dejte kapku roztoku na podložní sklíčko, a rozetřete ji. Až kapka uschne, pozorujte krystaly pod mikroskopem – začněte od nejmenšího zvětšení do doby správného zaostření. Krystaly musí být zřetelně viditelné.

Pozorování:
Pod mikroskopem lze spatřit mnoho krystalů. To jsou krystaly chloridu sodného, které se nerozpustily a nereagovaly. Až při větším zvětšení se objeví mnoho jemných, jehlovitých krystalů tmavě hnědé barvy. Teichmannovy krystaly jsou krystaly, ve kterých se nachází chlorid hematinu (hnědá barva) – hemin.

I v druhém případě jsou viditelné přebytečné krystaly NaCl, ale méně než v prvním případě. Mezi krystaly se nacházejí rhombické hnědé krystaly heminu, s lehce modravým povrchem. Krystalků heminu je o dost méně než NaCl, ale jsou naproti tomu snáze rozeznatelné.



směs na sklíčku



krystaly heminu pod mikroskopem

19. Zjišťování krevních stop pomocí luminolu

Bezpečná a charakteristická metoda využívající vodného roztoku luminolu odhalí i stopové množství krve, které je pouhým okem neviditelné. Luminol totiž ve spojení s peroxidem vodíku vykazuje silnou chemiluminiscenci: během reakce dochází k přeměně chemické energie v elektrickou, která je vyzářena ve formě světla. (zdroj: www.experimentalchemie.de)

Zadání: Pomocí luminolu odhalte pravé krevní skvrny na tkanině.

Chemikálie: luminol (5-amino-2,3-dihydroftalazin-1,4-dion; Xn), uhličitan sodný (Xi), peroxid vodíku (w = 30 %; C), vepřová krev, kečup, roztok thiokyanatanu železitého (Xn)

Pomůcky: kádinky (100 cm^3, 250 cm^3), střička, dva pásky bavlněné látky, odměrný válec (10 cm^3), lžička, váhy, pipety, rukavice

Postup:

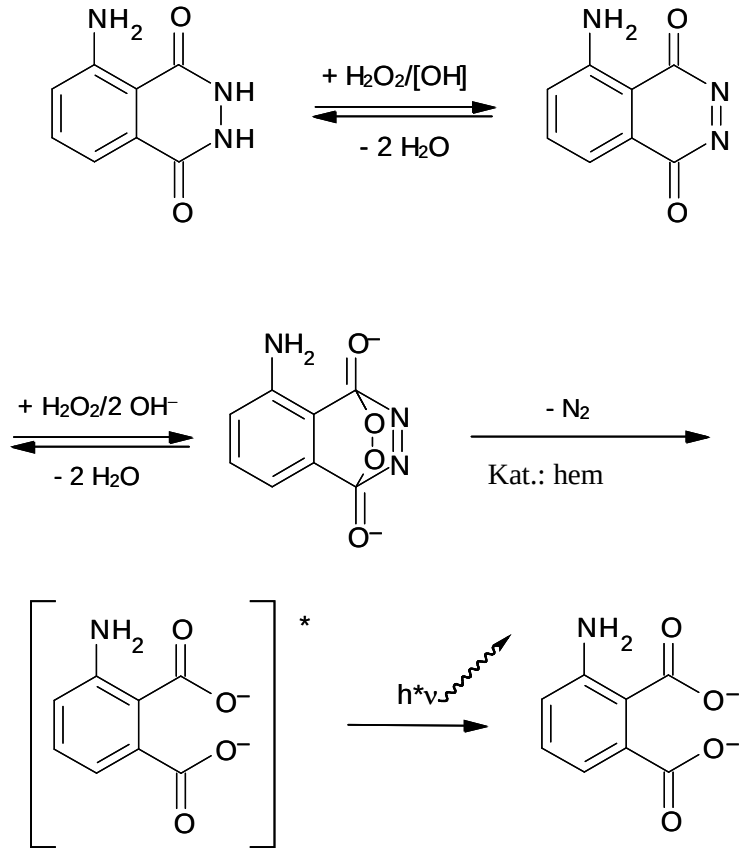
Na kousek bavlněné tkaniny nakapejte několik kapek vepřové krve, kečupu a thiokyanatanu železitého. Do 250 cm^3 kádinky připravte roztok luminolu: 0,1 g luminolu a 5 g uhličitanu sodného rozpusťte ve 100 cm^3 destilované vody a přidejte 15 cm^3 peroxidu vodíku.

Přelijte roztok do střičky nebo rozprašovače tak, aby nerozpuštěný zbytek zůstal v kádince. Tkaninu s pravými a falešnými krevními stopami umístěte do temného prostoru (např. přivřená skříň) a postříkejte roztokem z rozprašovače. Pokud se nedostaví žádný efekt, postřik zopakujte, v případě potíží přidejte více peroxidu vodíku.

Pozorování:

Po přestříkání místa s krví se místo rozsvítí namodralým světlem. Akci můžete několikrát opakovat. Falešné skvrny nedávají žádnou reakci.

Luminol podléhá v zásaditém prostředí oxidaci peroxidem vodíku na diazachinon a postupně až na peroxodeanion. Z oxidačního produktu se za katalýzy hemovou skupinou odštěpuje molekula dusíku a vzniká excitovaný anion kyseliny aminoftalové. Vyzářením energie v podobě světla molekula opět dosahuje základního energetického stavu.



reakce roztoku luminolu s krví (v přítomnosti peroxidu vodíku): katalyzátor = hem

čerstvé pravé a falešné skvrny

modré záření pravé krevní skvrny

20. Přítomnost oxidujících látek v pyrotechnice a při žhářství

Silná oxidační činidla jako jsou dusičnany nebo chlorečnany, případně organické nitráty či nitrosloučeniny, významně podporují hoření a jsou využívány při zakládání požárů a jako výbušniny a trhaviny.

Zadání: Odhlate a dokažte přítomnost dusičnanů v hořlavém materiálu.

Chemikálie: síran železnatý pevný (Xn), kyselina sírová koncentrovaná (w = 96%; C), dusičnan draselný (nasycený roztok; O, Xn)

Pomůcky: 7 velkých zkumavek, stojan na zkumavky, kovová miska, špejle, zápalky, střička, dvě větší kádinky (100 cm^3), pruhy filtračního papíru 5 x 15 cm, rukavice, lžička, tyčinka, obyčejná tužka

Postup:

Příprava vzorků: Dva z pruhů filtračního papíru namočte ve vodě, třetí v nasyceném roztoku dusičnanu draselného. Všechny tři vzorky usušte na topení nebo na vzduchu. (Pro žáky můžete připravit předem.)

Určení podezřelého vzorku: Usušené pruhy filtračního papíru rozdělte napůl a k sobě patřící kusy označte tužkou shodným číslem. Jednu polovinu každého filtračního papíru vylouhujte ve velké zkumavce v 5 cm^3 teplé vody, druhou polovinu odložte k testu hořlavosti. V kovové misce zapalte několik kousků špejlí a nechte vyhořet, aby vznikly žhavé oharky. Po vyhasnutí

plamenů přiložte k oharkům zbylé poloviny filtračních papírů a pozorujte, s jakou snadností hoří. Zapište si číslo vzorku, který je podezřelý z obsahu oxidujících látek.

Důkaz obsahu dusičnanových aniontů v podezřelém vzorku: Extrakty z louhování filtračních papírů přelijte do čistých zkumavek. Vezměte si rukavice a ochranné brýle a do čisté zkumavky odlijte 3 cm^3 koncentrované kyseliny sírové. Vsypte lžičku síranu železnatého, promíchejte. Každý extrakt z filtračního papíru opatrně podvrstvěte 1 cm^3 směsi koncentrované kyseliny sírové a síranu železnatého – směs nalévejte pomalu po stěně zkumavky, aby se usazovala u dna a nedošlo k promíchání s vodným extraktem. Pozor, zkumavka se bude zahřívat! Přítomnost dusičnanů se projeví vznikem hnědého prstence na styku obou vrstev. Zapište si číslo vzorku obsahujícího dusičnany a porovnejte s jeho chováním při styku se žhavými oharky.

Pozorování:

Filtrační papír nasycený dusičnanem draselným prudce hoří po dotyku se žhavými oharky, obyčejné filtrační papíry začínají pouze slabě doutnat a pomalu hnědnou na okrajích. Zónová reakce se síranem železnatým v koncentrované kyselině sírové dává v přítomnosti dusičnanů vylouhovaných z podezřelého vzorku pozitivní výsledek v podobě hnědého prstence na styku obou vrstev. V případě extraktu z obyčejných filtračních papírů nenastávájí žádné barevné změny.

Dusičnan draselný jako silné oxidační činidlo zapříčiňuje prudké hoření organického materiálu i při slabším tepelném podnětu (oharky), čehož se využívá v pyrotechnice, jeho působením na filtrační papír vzniká také velmi snadno hořlavá nitrocelulosa, používaná v jiné podobě jako střelná bavlna. Dusičnanové anionty lze vylouhovat zpět do roztoku a dokázat zónovou reakcí se síranem železnatým v koncentrované kyselině sírové. Železnaté ionty redukují v kyselém prostředí dusičnanové anionty na oxid dusnatý, který se následně váže jako ligand za vzniku hnědého nitrosokomplexu:

$$6\,[Fe(H_2O)_6]^{2+} + 8\,H^+ + 2\,NO_3^- \rightarrow 6\,[Fe(H_2O)_6]^{3+} + 2\,NO + 4\,H_2O$$

$$[Fe(H_2O)_6]^{2+} + NO \rightarrow [Fe(H_2O)_5(NO)]^{2+} + H_2O$$

hoření papíru s a bez obsahu dusičnanu

pozitivní zónová reakce

Použité zdroje

Náměty pro *pokusy č. 1 – 11* byly upraveny podle:

B. Landsgesell, H. J. Bader: MNU 57/5 (15.7.2004) s. 285 – 289 - *k pokusu č. 1*

Dřevěný materiál s know-how, H.J. Bader, A.Lühken, NiU-Chemie 10 (1999) Nr. 50, 33 (83) - *k pokusu č. 2 A,B*

R. Šulcová, H. Böhmová: Netradiční experimenty z organické a praktické chemie. Praha: UK v Praze, PřF 2007, ISBN 978-80-86561-81-3.
(s. 65-66 *k pokusu č. 2 C,* s. 63-64 *k pokusu č.4, s. 56-58 k pokusu č. 6.B, s. 9-10 k pokusu č. 7, s. 10-12 k pokusu č. 8, s. 31-32 k pokusu č.10)*

H. Sommerfeld, R. Blume, H.J. Bader: PdN-Ch. 2/39. Jg. 1990 S. 28 - *k pokusu č. 3*

V. Baur, I. Melle, H.J. Bader CHEMKON , Weinhweim 2000 - *k pokusu č. 5*

Bayer Health Care, LÉKY A CHEMIE, 2.2 Působení léčiv, Pokus 13 - *k pokusu č. 6.A*

K.Kolář, Z. Chrásková: Důkaz kyseliny glutamové v potravinářských výrobcích. Biologie – chemie - zeměpis 1998, roč. 7, č. 2 (s. 72-73) ISSN 1210-3349 - *k pokusu č. 9*

R. Šulcová, H. Böhmová, D. Pisková: Present Conception of Laboratory Activities in Chemistry Education. In: Nesměrák, K. (ed): Proceedings of the 2nd European Variety in Chemistry Education. Prague: Charles University in Prague, Faculty of Science 2007. p. 195-198, ISBN 987-80-88707-90-5 - *k pokusu č. 9*

Náměty pro *pokusy č. 12 - 21* dodali, upravili a doplnili:

H. J. Bader, M. Rothweil: Forensische Chemie – Aufklärung von Verbrechen mit chemischen Methoden, Chemkon 10/4 (2003) 181

I. Maciejowska, R. Wietecha-Posluszny: Chemik detektywem – zajecia praktyczne. Uniwersytet Jagielloński, Krakow 2009.

H. Böhmová, D. Pisková, E. Stratilová Urválková, R. Šulcová: Zajímavé chemické experimenty s látkami každodenního života. UK v Praze, PřF 2008.

H. Böhmová, E. Stratilová Urválková, R. Šulcová, B. Zákostelná: Chemik detektivem – forenzní chemie. UK v Praze, PřF 2009.

Fotodokumentace ke všem experimentům byla pořízena v laboratoři Katedry učitelství a didaktiky chemie Univerzity Karlovy v Praze, Přírodovědecké fakulty autorkami:

Hanou Böhmovou, Evou Stratilovou Urválkovou a Renatou Šulcovou.

Název
Zajímavé experimenty z chemie kolem nás

Autoři

RNDr. Renata Šulcová, Ph.D.
Mgr. Hana Böhmová
RNDr. Eva Stratilová Urválková

Návody z německého a anglického originálu přeložili:

RNDr. František Zemánek,
RNDr. Eva Stratilová Urválková a Mgr. Hana Böhmová

Lektorovala:

Prof. RNDr. Hana Čtrnáctová, CSc.

Vydala: **Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta**
Místo, rok vydání: **Praha, 2009**
Vydání: **první**

ISBN 978-80-86561-43-1

Dostupné též na www:
http://www.natur.cuni.cz/~kudch/main/JPD3/

ISBN 978-80-86561-43-1