

VÝUKA CHEMIE

EXPERIMENTY K DEMONSTRACI VÝROBY PAPIŘU VE VÝUCE CHEMIE

MILAN KRAITR, JITKA ŠTROFOVÁ
a VÁCLAV RICHTER

Katedra chemie, Západočeská univerzita, Sedláčkova 38,
306 19 Plzeň, e-mail: kraitr@kch.zcu.cz

Došlo dne 6.XII.1999

Klíčová slova: výukové experimenty, demonstrace výroby papíru, zkoušení vlastností papíru

Úvod

Papír je jedním z nejvýznamnějších masově vyráběných produktů. Současná světová produkce papíru a lepenky dosahuje 300 mil. t, průměrná roční spotřeba na obyvatele planety činí asi 50 kg (cit.¹). Spotřeba papíru výrazně charakterizuje materiální i kulturní úroveň společnosti. Informace o výrobě papíru proto nesporně patří do výuky chemie. Jsou obvykle zařazovány do učiva o polysacharidech jako finální krok technicky nejvýznamnějšího způsobu chemického zpracování dřeva. Výroba papíru navazuje na výrobu vláknin (především buničiny), která má převážně charakter typické chemické výroby. Vlastní výroba papíru bývá neprávem chápána jako proces pouze mechanický, ačkoliv má svůj chemismus a „chemizace“ této výroby se neustále prohlubuje.

Nedostatkem školní interpretace výroby papíru je rovněž absence názorné demonstrace výrobního principu. Při složitosti a „neprůhlednosti“ moderních výrobních postupů a zařízení nebývá žáky dobře pochopena podstata výroby papíru ani při exkurzích do papíren. Ke zlepšení účinnosti výuky tématu výroba papíru, navrhuje jednoduché demonstrace základního výrobního principu a na ně navazující hodnocení některých vlastností připraveného papíru. Výrobu papíru lze bez zvláštního vybavení znázornit materiálově i časově nenáročnými pokusy, které jsou proveditelné v podmínkách střední i základní školy².

Princip výroby papíru

Technologie výroby papíru je stručně charakterizována např. v publikaci³, podrobnější informace přináší např. literatura⁴⁻⁶. Proto uvádíme jen nezbytnou rekapitulaci základních principů, jejichž modelem jsou následující demonstrační experimenty.

Papír se vyrábí zplstněním, odvodněním a vysušením vláken z jejich vodné suspenze zvané papírovina. Papírovina vzniká mokřím rozvlákněním a mletím vláknitých surovin (zejména buničiny) a následujícím přidáním přísad pro úpravu vlastností papíru. Podstatu papírenských vláknin tvoří celulóza. Rozvláknění a mletí vláknin spočívá hlavně v podélném štěpení

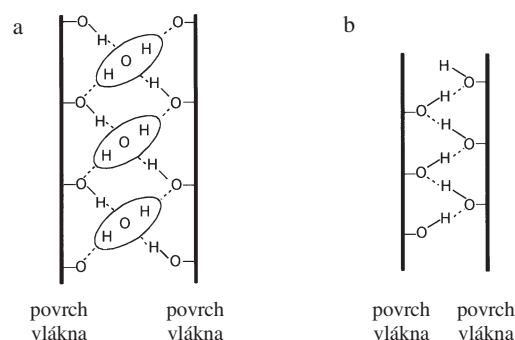
nabotnalých vláken na jemné fibrilární svazečky, což lze přirovnat k rozplétání lana až na jemná vlákénka. Svazečky mají velký specifický povrch a velké množství obnažených hydroxylových skupin v makromolekulách celulózy (v každé glukosové jednotce jsou tři volné hydroxylové skupiny). Ty v hoto-
vém vysušeném papíru vytvářejí vodíkové vazby mezi vlákny (obr. 1). Rozvláknění a mletí se v současnosti provádí zejména ve vířivých zařízeních připomínajících domácí mixér a v zařízeních, kde suspenze vláken prochází mezi rotujícími disky.

Přísady do papíroviny se liší podle druhu papíru. Jejich současný sortiment je velmi rozmanitý. Většina papírů obsahuje klízidla na bázi přírodních pryskyřic či syntetických látek. Přírodní pryskyřice se na vlákna fixují přidávkou síranu hlinitého, který mj. tvoří nerozpustné hlinité soli pryskyřičných kyselin a koaguluje volné pryskyřičné kyseliny. Klížení zvětšuje odolnost papíru proti vodě (hydrofobnost). Mnohé papíry, hlavně tiskové, obsahují plnidla (např. kaolin), která mění řadu jejich vlastností, mj. omezením mezivláknenných vodíkových vazeb zvyšují poréznost papíru. Pro výrobu barevných papírů se přidávají obvykle roztoky barviv, která jsou na vlákna fixována různými fixačními prostředky (mj. síranem hlinitým).

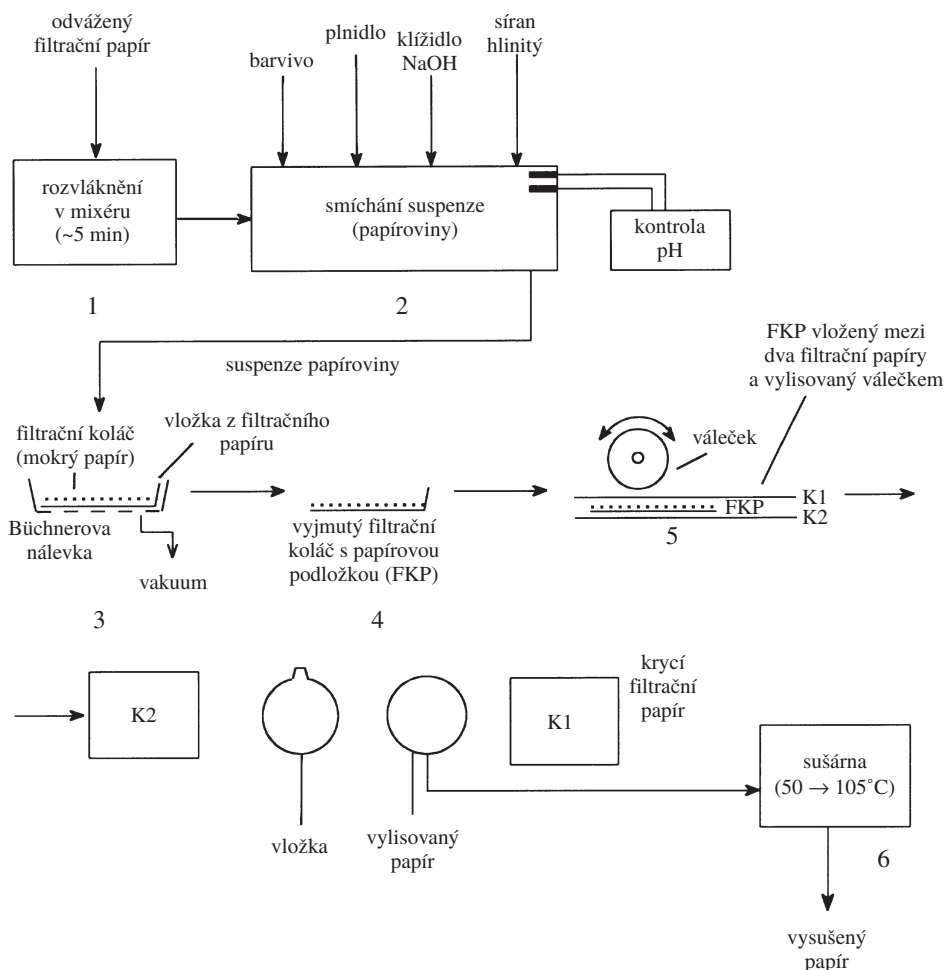
Papírovina zředěná obvykle na 0,5–1 % sušiny natéká na mokrou část papírenského stroje. Odvodnění papíroviny a zplstnění vláken zpravidla probíhá na nekonečném podélném síti (analogie pásového dopravníku) s příčnou vibrací, a to nejprve gravitací (cezením), potom pomocí vakua (odsáváním). Mokřý pás papíru se mezi válci ve styku s plstěnou tkaninou lisuje a potom suší na vyhřátých válcích při teplotě obvykle přes 100 °C. V sušící části papírenského stroje se z papíru odstraní nejen přebytečná voda, ale vytvoří se zde zmíněný systém mezivláknenných vodíkových vazeb, znázorněný na obr. 1b. (Vodíkových vazeb v mokřím papíru se účastní voda, která je v obr. 1a zjednodušeně znázorněna monomolekulární vrstvou.) V sušící části stroje se rovněž dokončuje proces klížení (po roztavení částíček klízidla).

Modelové experimenty k demonstraci výroby papíru

V našich pokusech vláknitou surovinu představuje filtrační papír. Ten je složen pouze z bělené buničiny, tj. prak-



Obr. 1. Vodíkové vazby v papíru; a – mokřý papír, b – suchý papír



Obr. 2. Schéma demonstrace výroby papíru; 1–2 příprava papíroviny, 3–5 mokrá část papírenského stroje, 6 – sušicí část papírenského stroje

ticky čisté celulosy, je málo pevný a snadno rozvláknitelný a neobsahuje žádné přísady (klíždla, plnidla atd.). Modelem rozvláknovacího a mlecího zařízení je domácí mixér. Sítovou část papírenského stroje představuje Büchnerova nálevka s vložkou z filtračního papíru a odsávací baňka s vývěvou, lisovou část papírenského stroje představuje dřevěný či gumový váleček s filtračními papíry místo plstěné tkaniny. Modelem sušicí části stroje je laboratorní sušárna, eventuálně i volné vysušení vytvořeného papírového listu (obr. 2).

Didaktická efektivnost pokusů se zvýší, pokud připravené vzorky papíru podrobíme následnému zkoušení jeho vlastností. K tomu je nejvhodnější připravit vedle zkušebního vzorku i vzorek srovnávací (např. klížený a neklížený, plněný a neplněný papír ap.).

Vyzkoušeli jsme různé varianty pokusů modelujících přípravu papíru a hodnocení jeho vlastností, dále uvádíme postupy, které považujeme za optimální z hlediska vystižení reálných technických procesů, snadnosti provedení i úspory času.

Vhodná plošná hmotnost (gramůž) připravených vzorků je 80–120 g.m⁻². U těchto gramůž lze bez manipulačních problémů operovat s mokřým listem při použití vložky do Büchnerovy nálevky (obr. 2). (Gramůž kolem 120 g.m⁻² dokonce

umožňuje při opatrné manipulaci vyjmout z Büchnerovy nálevky i bez papírové podložky mokřý list bez jeho porušení.) Pro demonstraci rozdílů mezi klíženým a neklíženým papírem je však vhodnější nižší gramůž.

Postup: Vypočtená navážka filtračního papíru (cca 0,5–1,5 g podle rozměrů užitých Büchnerovy nálevky – vhodné jsou průměry 9–12,5 cm) se roztřihá na malé kousky a rozmíchá v 70–100 cm³ vody a po chvíli stání se 5 minut rozvláknuje v kuchyňském mixéru s nožovým rotorem u dna (hustota suspenze do 1 % a.s.). Suspenze vláken se převede do vysoké kádinky (150–250 cm³) a zředí na 100–150 cm³. Přidá se 0,1–0,15 g kaolinu na 0,5 g vláken a dobře promíchá tyčinkou. Přidá se 0,3 cm³ 0,5% vodného roztoku methylenové modři nebo malachitové zeleně a po promíchání pryskyřičné klíždlo (disperze přírodní pryskyřice). Dávka pro 0,5 g vláken obsahuje 10–15 mg pryskyřice (kalafuny). Disperzi připravíme rozpuštěním jemně rozetřené kalafuny v ethanolu za studena – pro jednu dávku 1 cm³ ethanolu – a zředěním stejným objemem vody. (Tento postup sice není v technické praxi užíván, je však ze všech postupů, které jsme vyzkoušeli, nejrychlejší a pro kvalitativní demonstrace umožňuje dostatečné zaklížení vzorků.) Po důkladném promíchání se změří pH-metrem nebo indikátorovými papírky hodnota pH papíro-

viny, důležitá mj. pro dobré zaklížení a vybarvení papíru. Z byrety se po kapkách přidává roztok NaOH ($c = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$), až pH suspenze vláken dosáhne hodnoty asi 9. Pak se po kapkách přidá roztok $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ($c = 20 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$) do pH asi 4,5. (Předchozí alkalizace suspenze zajistí, že přídavek $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ bude dostatečný pro fixaci pryskyřice na vlákna.)

Po promíchání a asi 2 minutovém stání se suspenze naleje na Büchnerovu nálevku s papírovou vložkou s několikacentimetrovým výčnělkem. (Ten usnadní její vyjmutí i s vytvořeným mokřým listem bez jeho poškození.) Nalítá suspenze se potřesením rovnoměrně rozvrství a po chvíli se uvede do chodu vodní vývěva při postupném zvyšování podtlaku. Když z nálevky přestane kapat voda, vyjme se vytvořený mokřý list papíru i s podloženou vložkou. Vložka s mokřým listem se vylihuje mezi dvěma filtračními papíry opakovaným mírným přitlačením válečkem. Odvodněný a vyrovnaný list mokrého papíru se opatrně oddělí od mokré podložky a na suché papírové podložce vloží do sušárny vyhřáté na 50–60 °C. Sušárna se poté nastaví na 105 °C. Po dosažení této teploty se papír vyjme a použije pro případné navazující hodnocení jeho vlastností. Doporučený postup sušení modeluje režim sušení na papírenském stroji, který sleduje mj. optimalizaci mechanických vlastností papíru a jeho zaklížení. Pro kvalitativní demonstrace není nezbytný a může být nahrazen vložením mokrého papíru do sušárny vyhřáté na konečnou sušicí teplotu, což vede k úspoře času. Jinou možností je volné sušení na vzduchu.

Hodnocení vlastností připravených papírů

Velmi jednoduše, rychle a bez materiálových nároků můžeme hodnotit vliv přísady klíždla a barviva do papíroviny na vlastnosti papíru.

Klížení papíru lze hodnotit popisováním inkoustem, které je založeno na rozpíjení a prosakování inkoustu u neklíženého papíru. Doporučený postup je zjednodušenou analogií v papírnách užívané orientační zkoušky zaklížení⁷. Pro účely školního pokusu se omejdeme bez speciálních zkušebních zařízení a inkoustů. Uspokojivé výsledky a jasné patrné rozdíly mezi klíženým a neklíženým papírem dosáhneme s běžně dostupnými prostředky – obyčejným modrým inkoustem a redispérem s hrotem o průměru 0,5–2,5 mm. Vzorek se popíše rovnoběžnými čarami o délce asi 5 cm a pak čarami příčnými. Neklížené vzorky i při nestandardních podmínkách zkoušky ukazují ve srovnání s klíženými výrazné rozpíjení a prosakování na druhou stranu, které roste s tloušťkou čar. Zřetelné je již rozpíjení (tvorba kaňky) při trvajícím dotyku pera s neklíženým papírem.

Fixaci barviva na vláknech můžeme posoudit při namočení vysušeného papíru méně až středně sytým vybarveným roztokem methylenové modři nebo malachitové zeleně. Nepozorujeme výrazný barevný výluh ani barvení bílého filtračního papíru dotykem namočeného barevného vzorku.

Vliv přídavku plnidla na chemické složení papíru posoudíme ze stanovení popela v papíru plněném i v neplněném referentním vzorku, které lze provádět, je-li škola vybavena analytickými vahami. Neplněný papír má malý obsah popela, většinou nižší než 1 % (cit.⁷). Papíry plněné kaolinem mají při doporučených podmínkách pokusu poměrně vysoké zadržení plnidla a obsahují 10–20 % popela. Pro stanovení popela

spálením papíru na kahanu (resp. v elektrické peci) je třeba použít aspoň 0,5 g vzorku. Vzorek v porcelánovém kelímku přikrytým víčkem nejprve mírným plamenem zuhelníme a pak při plném žáru kahanu (asi 900 °C) spálíme. Po vychlazení v exsikátoru vážíme. Prázdný kelímek předem zvážíme po vyžhání za stejných podmínek.

Analogicky můžeme stanovit obsah vody v papíru vysušením vzorku ve vážence uzavíratelné víčkem v sušárně při 105 °C. Vysušené papíry přechovávány volně na vzduchu obsahují většinou kolem 5 % vody v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu v místnosti i na složení papíru. Stanovení vlhkosti papíru je vhodné provést souběžně se stanovením popela. Tato dvě stanovení nám poslouží jako model chemické analýzy hygroskopického vzorku, kde musíme odlišit výsledek analýzy (např. obsah popela) ve vzorku vlhkém a po přepočtu na absolutně suchý vzorek (tato hodnota je vždy vyšší). Současné obě stanovení jsou nejjednoduššími a nenáročnými stanoveními gravimetrického typu.

Závěr

Navržený soubor demonstračních experimentů je jednoduchým a materiálově nenáročným modelem výroby papíru a hodnocení jeho vlastností. Experimenty jsou vhodné pro školní použití i pro vysokoškolské cvičení z didaktiky chemie. Umožňují provedení učitelské, žákovské nebo jejich kombinaci, komplexní provedení souboru pokusů nebo jeho součástí. Předem připravený pokus zhotovení zkušebního vzorku se všemi přísadami a srovnávacího vzorku lze provést v jedné vyučovací hodině. Papír bez přísad se zkráceným režimem sušení lze připravit za 20 minut. Hodnocení klížení a fixace barviva u připravených papírů zabere v následující hodině jen několik minut. Tyto experimenty jsou obzvlášť vhodné jako paralelní žákovský pokus. Stanovení popela a vlhkosti v papíru je vhodné provést jako 1–2 hodinové žákovské cvičení.

LITERATURA

1. Dráždil M.: Papír Celulosa 54, 29 (1999).
2. Kraitr M., Štrofová J., Richtr V.: 51. zjazd chemických spoločností. Zborník príspevkov, abstrakt K-P9. Vydavateľstvo STU, Bratislava 1999.
3. Neiser J., Hauzar I., Kraitr M., Nassler J., Smolek P.: *Základy chemických výrob.* SPN, Praha 1988.
4. Bučko J., Šutý L., Košík M.: *Chemické spracovanie dreva.* Alfa, Bratislava 1988.
5. Blažej A., Krkoška P.: *Technológia výroby papiera.* Alfa, Bratislava 1989.
6. Hnětkovský V.: *Papírenská příručka.* SNTL, Praha 1983.
7. Souček M.: *Zkoušení papíru.* SNTL, Praha 1977.

M. Kraitr, J. Štrofová, and V. Richtr (*Department of Chemistry, Faculty of Education, University of West Bohemia, Plzeň*): **Experiments for Paper Manufacture Demonstration in Chemistry Teaching**

Simple experiments for demonstration of paper manufacture and tests of physical and chemical properties of paper are presented. The experiments are suitable both for secondary and primary schools as well as for university teaching.