



D. Šabić*

Prirodoslovna škola Vladimira Preloga
Ulica grada Vukovara 269, 10 000 Zagreb

Određivanje debljine aluminijske folije

Među brojnim pokusima koje izvodim u školi pokazalo se da je jedan od učenicima zanimljivijih pokusa određivanje debljine aluminijske folije koja se upotrebljava u domaćinstvu. Često sam se pitala zašto je to tako, odnosno što im je bilo zanimljivo u tom pokusu?

U uvodnom dijelu sata, kad se raspravlja o samom eksperimentu, učenicima naglasim da će imati zadatak odrediti debljinu pravokutnog komada aluminijske folije poznate površine, a da pri tome neće imati na raspolaganju mjerne instrumente. Taj zadnji dio rečenice, da neće imati na raspolaganju nikakve mjerne instrumente, obično pobudi njihovu pozornost. Ipak, ta tvrdnja je samo djelomice točna, jer će učenici imati na raspolaganju umjereno laboratorijsko posuđe te barometar i termometar. Ono što neće imati na raspolaganju je mikrometerski vijak s kojim bi mogli izravno izmjeriti debljinu folije. Neće imati ni vagu. Naime, uzimajući u obzir da je gustoća aluminijske folije $2,70 \text{ g cm}^{-3}$, moguće je iz poznatih podataka za masu i površinu komadića folije proračunati njezinu debljinu.

Nakon što se provede rasprava, učenici u pravilu dođu do ideje da bi mogli provesti nekakvu kemijsku reakciju u kojoj bi se u reakciji s aluminijem razvio plin te mjeriti volumen razvijenog plina. Poznavanjem volumena razvijenoga plina i tlaka može se izračunati množina plina koja je ekvivalentna određenoj množini aluminija (prema jednadžbi kemijske reakcije). Potom se može izračunati masa aluminija upotrijebljenog u pokusu. Iz mase se može izračunati volumen listića aluminijske folije, a budući da je poznata njezina površina, nije problem izračunati njezinu debljinu.

Od pribora i kemikalija, za provedbu pokusa potrebno je sljedeće: aluminijska folija za domaćinstvo, ravvalo, škare, menzura od 100 ml, menzura od 10 ml, široka čaša (od 600 ml), epruveta za odsisavanje, gumena cijev sa staklenim (ili plastičnim) nastavkom, gumeni čep, komadić tanke bakrene žice, termometar, dva metalna stalka, uglata i obla hvataljka, filterski papir te otopina klorovodične kiseline (1 : 1).

Od aluminijske folije za domaćinstvo izreže se pravokutan komadić dimenzija $2 \times 5 \text{ cm}$. Od njega se načini rahli smotuljak i omota ga se tankom bakrenom žicom (slika 1).

Sastavi se aparatura prema prikazanom na slici 2. Epruveta za odsisavanje pričvrsti se na metalni stalak i u nju se ulije 10 ml klorovodične kiseline (1 : 1). U čašu od 600 ml ulije se otprilike 450 ml vodovodne vode. Zatim se vodovodnom vodom do vrha napuni menzura, a na vrh se stavi filterski papirić malo veći od otvora menzure. Menzura se preokrene i uroni u čašu s vodom. Menzura je u potpunosti ispunjena vodom. Gumena cijev sa staklenim nastavkom spoji se na epruvetu za odsisavanje a potom se stakleni nastavak umetne u menzuru pazeći da pritom u menzuru ne uđe zrak. U čašu s vodom postavi se termometar i ostavi tamo



Slika 1 – Uzorak aluminijske folije za domaćinstvo omotan bakrenom žicom

do kraja eksperimenta (temperatura vode na kraju eksperimenta je temperatura razvijenoga plina).

Nakon što je složena aparatura pristupa se izvedbi pokusa. Smotuljak aluminijske folije ubaci se u epruvetu za odsisavanje, u kojoj se nalazi otopina klorovodične kiseline te se epruveta odmah zatvori gumenim čepom. Učenici opažaju da se nešto događa u epruveti za odsisavanje, uz zaključak da je riječ o kemijskoj reakciji. Uočljivo je nastajanje mjehurića, što je pokazatelj da se pri kemijskoj reakciji oslobađa plin. Vrlo često učenici sami zaključke da bi to trebao biti vodik. Doticanjem stjenke epruvete za odsisavanje može se primijetiti da se epruveta zagrijala, te iz toga



Slika 2 – Aparatura za određivanje debljine aluminijske folije za domaćinstvo prije provedbe eksperimenta

* Danica Šabić, dipl. kem. ing.
e-pošta: danicasabic@gmail.com

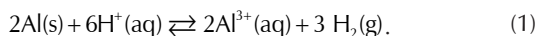
zaključiti da je reakcija koja se odvija egzotermna. Razvijeni plin vodik potiskuje vodu iz menzure u čašu. Kad je sav aluminij izreagirao, očita se na menzuri volumen razvijenog plina. Ravnalom se izmjeri razlika u razinama vode u čaši i menzuri te se izračuna hidrostatski tlak. Očita se temperatura vode u čaši, koja je ujedno i temperatura razvijenog plina vodika. Iz literaturno dostupnih tablica očita se tlak vodene pare i gustoća vode pri utvrđenoj temperaturi. S barometra se očita atmosferski tlak.

Kad sam posljednji put s učenicima provodila ovaj eksperiment, učenici su očitali sljedeće podatke: volumen oslobođenog vodika bio je 40 ml, temperatura je iznosila 20 °C, atmosferski tlak 101 410 Pa, a razlika u razinama vode (h) 7 cm. Iz tablica je očitano da je pri 20 °C tlak vodene pare 2333 Pa, a gustoća vode 998,2 kg m⁻³.



Slika 3 – Prikaz razina otopina nakon provedbe eksperimenta

Nakon što su učenici očitali vrijednosti potrebnih parametara pristupili smo raspravi i kemijskom računu. Učenici su ustvrdili da se kemijskom reakcijom između aluminija (aluminijске folije) i klorovodične kiseline oslobađa plin vodik prema kemijskoj reakciji prikazanoj jedn. (1)².



Da bi se uradila korekcija tlaka, najprije se izračuna hidrostatski tlak, p_{hidr} prema jedn. (2)

$$p_{\text{hidr}} = \rho(\text{H}_2\text{O}) \cdot g \cdot h = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,07 \text{ m} = 685 \text{ Pa}. \quad (2)$$

Zatim se izračuna parcijalni tlak vodika, $p(\text{H}_2)$, prema jedn. (3)

$$\begin{aligned} p(\text{H}_2) &= p_{\text{atm}} - p_{\text{vodene}} - p_{\text{hidr}} = \\ &= 101410 \text{ Pa} - 2333 \text{ Pa} - 685 \text{ Pa} = 98392 \text{ Pa}. \end{aligned} \quad (3)$$

Potom se iz opće plinske jednadžbe (jedn. (4)) izračuna množina vodika (jedn. (5))

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T, \quad (4)$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{p(\text{H}_2) \cdot V(\text{H}_2)}{R \cdot T} = \frac{98392 \text{ Pa} \cdot 40 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 293,15 \text{ K}} = 1,62 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \quad (5)$$

Iz stehiometrijskog odnosa množina vodika i aluminija prema jednadžbi kemijske reakcije (jedn. (1)) izračuna se množina aluminija (jedn. (6)) te masa aluminija (jedn. (7))

$$n(\text{Al}) = \frac{2}{3} \cdot n(\text{H}_2) = \frac{2}{3} \cdot 1,62 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ mol}, \quad (6)$$

$$m(\text{Al}) = n(\text{Al}) \cdot M(\text{Al}) = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 26,982 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,0291 \text{ g}. \quad (7)$$

Iz izračunate mase i poznate gustoće aluminija izračuna se volumen aluminija (jedn. (8))

$$V(\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{\rho(\text{Al})} = \frac{0,0291 \text{ g}}{2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 0,0108 \text{ cm}^3. \quad (8)$$

Naposlijetku, izračuna se debljina aluminijске folije, d (jedn. (9))

$$d(\text{Al}) = \frac{V(\text{Al})}{A(\text{Al})} = \frac{0,0108 \text{ cm}^3}{10 \text{ cm}^2} = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ cm}. \quad (9)$$

Da bi uvijek bavali pretvaranje mjernih jedinica, od učenika se može tražiti da rezultat izraze u mikrometrima.

Također, nakon provedenog pokusa i kemijskog računa može se od učenika tražiti da međusobno usporede dobivene rezultate odnosno proračunate vrijednosti debljine aluminijških folija. Ako postoje veća odstupanja prikladno je potaknuti raspravu o tome zbog čega je moglo doći do odstupanja (pogreška pri mjerenju i rezanju komadića aluminijске folije, zrak u menzuri, neprecizno odmjerenje volumena klorovodične kiseline, neprecizno očitavanje volumena vodika, pogreške pri prikupljanju podataka, različite temperature sustava, pogreške pri kemijskom računu...).

Ovaj eksperiment višestruko je koristan, jer učenici, osim što usavršavaju tehniku rada u laboratoriju, trebaju iznaći rješenje kad se čini da rješenja nema. Opisanim eksperimentom se može ostvariti više odgojno-obrazovnih ishoda: učenik ponavlja fizikalna i kemijska svojstva aluminija, piše jednadžbu kemijske reakcije, primjenjuje jednadžbu stanja idealnih plinova, primjenjuje stehiometrijske odnose množine tvari na temelju jednadžbe kemijske reakcije, primjenjuje matematička znanja i vještine za izračunavanje množine nastalog vodika, množine aluminija u uzorku, površine uzorka aluminijске folije i debljine aluminijске folije te povezuje rezultate pokusa s konceptualnim spoznajama.

Od učenika se može tražiti da navedu koji se podatci o aluminiju mogu iščitati iz periodnog sustava elemenata. Učenici bi trebali navesti da je aluminij metal kemijskog simbola Al, atomski broj mu je 13, a relativna atomska masa 26,982. Aluminij pripada 3. periodu i 13. skupini elemenata periodnog sustava, posljednja orbitala koja se popunjava elektronima je p-orbitala, a broj elektrona u valentnoj ljusci mu je 3.³

Također, od učenika se može tražiti da navedu fizikalna i kemijska svojstva aluminija koja znaju ili su uočili tijekom provedbe ovog pokusa. Na temelju dosadašnjeg iskustva učenici ovdje najčešće ističu da je aluminij mekan, savitljiv metal, srebrnasto bijele boje, sjajan, lagan. Može im se istaknuti da dobro provodi električnu struju, može se izvući u tanku foliju koja ima visoku refleksiju svjetla i toplinskog zračenja.⁴ S obzirom na to da im je dostupan podatak² da standardni elektrodni potencijal aluminija

iznosi $E^0(\text{Al}/\text{Al}^{3+}) = -1,662 \text{ V}$, može ih se pitati što to znači. Trebali bi navesti da to znači da je aluminij reaktivan metal: reagira s kisikom i vlažnim zrakom. Zapravo bi to značilo da se aluminij brzo otapa, međutim stvara se tanki zaštitni sloj oksida koji odvaja aluminij od agresivnog medija i koči elektrokemijske reakcije. Aluminij je nepostojan u lužnatim sredinama, otporan je prema sumpornoj, dušičnoj i octenoj kiselini, a korodira u klorovodičnoj i fluorovodičnoj kiselini.⁵

Naposljetku, od učenika se može tražiti da objasne zašto su smotuljak aluminijske folije omotali bakrenom žicom. Od srednjoškolaca se očekuje da zaključe da se aluminijska folija omota bakrenom žicom da nastane korozijski galvanjski članak čime se pospješuje otapanje aluminija. Ta činjenica može se iskoristiti i u eksperimentu koji bi se mogao provesti vezano uz tematiku elektrokemijska korozija. U tu svrhu mjerile bi se brzine otapanja: čiste aluminijske folije, folije omotane komadićem bakrene žice te folije u klorovodičnoj kiselini kojoj se doda nekoliko kapi 2 M otopine modre galice. U posljednjem slučaju na cijeloj površini aluminija izluči se iznimno tanak sloj bakra, koji znatno ubrzava otapanje (koroziju) aluminija u klorovodičnoj kiselini.

Za učenike koji žele znati više može se zadati projektni zadatak da istraže koroziju aluminija s bakrenom žicom. Učenicima sva-

kako treba dati jasne upute za zadatak i kriterije njegova vrednovanja ako ga se planira vrednovati.

Literatura

1. URL: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Supplemental_Modules_and_Websites_\(Inorganic_Chemistry\)/Descriptive_Chemistry/Elements_Organized_by_Block/2_p-Block_Elements/Group_13%3A_The_Boron_Family/Z13_Chemistry_of_Aluminum_\(Z13\)](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Supplemental_Modules_and_Websites_(Inorganic_Chemistry)/Descriptive_Chemistry/Elements_Organized_by_Block/2_p-Block_Elements/Group_13%3A_The_Boron_Family/Z13_Chemistry_of_Aluminum_(Z13)) (14. 6. 2024.).
2. M. Sikirica, Zbirka kemijskih pokusa za osnovnu i srednju školu, Školska knjiga, Zagreb, 2011.
3. T. Begović, M. Luetić, F. Novosel, V. Petrović Peroković, S. Rupčić Petelinc, Kemija 3, Školska knjiga, Zagreb, 2020.
4. I. Filipović, S. Lipanović, Opća i anorganska kemija – II. dio, kemijski elementi i njihovi spojevi, Školska knjiga, Zagreb, 1995.
5. E. Stupnišek-Lisac, Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2007.



Nenad Raos
mala škola pisanja
(za znanstvenike i popularizatore)

Cijena udžbenika je **14 €** (PDV uključen).
Narudžbe se primaju telefonom (095/9060-959) ili
elektroničkom poštom (hdk@hdk.hr)
Studenti ostvaruju 50 % popusta uz predočenje indeksa, a članovi Društva 20 %.



mirko gojić
**razvoj metalurgije i proizvodnje
čelika u republici hrvatskoj**

Cijena sveučilišnog udžbenika je **25 €** (PDV uključen).
Narudžbe se primaju telefonom (095/9060-959) ili
elektroničkom poštom (hdk@hdk.hr)
Studenti ostvaruju 50 % popusta uz predočenje indeksa, a članovi Društva 20 %.