



D. Šabić*

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

Sapuni

Tijekom nedavne COVID-19 pandemije, vidjeli smo da je u takvim ekstremnim situacijama potrebno pridržavati se mjera opreza; jedna od glavnih mjera opreza bilo je redovito pranje i dezinfekcija ruku. Kao nastavnici kemije jedna od važnijih tema u tom razdoblju bila je vezana uz sapune. Budući da smo u to vrijeme imali *on-line* nastavu, svojim učenicima postavila sam na Internet poster i video “Kako sapun pere”. Učenici su bili jako zainteresirani za navedenu temu i, kad smo održavali sat putem aplikacije Zoom, pitali su me da im dodatno pojašnjem mehanizam pranja sapunom, a zanimale su ih i informacije o sastavu sapuna te postupku njihove izrade. Nadalje, zanimala ih je i razlika između sapuna i deterdženta. Budući da smo bili vremenski ograničeni, dala sam im osnove vezane za temu i obećala da ćemo se time detaljnije baviti kad se vratimo u školske klupe. Tad sam odlučila za naredne godine u svoje kurikulume izbornih sadržaja ubaciti tematiku vezanu uz sapune da bih s učenicima mogla izrađivati sapune na satima laboratorijskih vježbi te im prenijeti svoja znanja i vještine vezane uz sapune i njihovu izradu.

Po najavi da će se tijekom nastave uskoro izrađivati sapuni, učenici su bili oduševljeni i s nestrpljenjem iščekivali te sate. Dala sam im zadatak da se informiraju o postupcima izrade sapuna, da istraže iz kojih sirovina se rade, koja su svojstva tih sirovina te kojom reakcijom se dobivaju sapuni. Dala sam im jasne upute što trebaju pripremiti i zaista su se dobro pripremili.

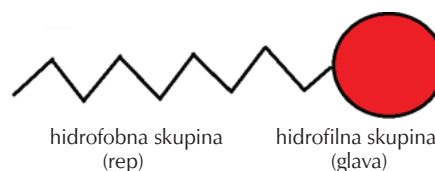
U prvom dijelu sata iznesen je plan rada, provedena je rasprava vezana uz sapune: što su i kako se dobivaju, komentirana su svojstva sirovina koje se upotrebljavaju za dobivanje sapuna, a naglasak je stavljen na ulja i agense koji su potrebni za izradu. Napisana je i objašnjena reakcija dobivanja sapuna, a provela se i rasprava o površinski aktivnim tvarima te načinu kako sapun pere, što je, pokazalo se, učenicima bio najzanimljiviji dio teorije. U konačnici, istaknuta je važnost primjene mjera opreza i rada na siguran način.

Sapuni

Sapuni su kemijski spojevi koji nastaju neutralizacijom masnih kiselina alkalijama, tj. oni su soli masnih kiselina. Njihova svojstva poput pjenjenja, emulgiranja, smanjenja površinske napetosti, kvašenja površine te stvaranja gelnih struktura omogućuju upotrebu sapuna kao sredstava za pranje, emulgiranje i geliranje. Iako posljednjih nekoliko desetaka godina ulogu sapuna sve više preuzimaju sintetski deterdženti, sapuni se još uvijek upotrebljavaju, kako u svakodnevnom životu za osobnu higijenu i pranje rublja, tako i u brojnim industrijskim procesima. U tekstilnoj industriji upotrebljavaju se za pranje i omekšivanje prirodnih vlakana, u procesima prerade kože, proizvodnji polimernih materijala i slično. U kozmetičkoj industriji upotrebljavaju se za emulgiranje, proizvodnju sredstava za podmazivanje itd.¹

Ovdje se može postaviti pitanje na čemu se zasniva djelovanje sapuna. Djelovanje sapuna zasniva se na smanjivanju površinske napetosti vode. Napetost površine je fizikalna veličina koja opisuje svojstvo površine tekućine zbog kojega se ploština slobodne površine tekućine smanjuje.²

Tvari koje imaju svojstvo snižavanja površinske napetosti nazivaju se **površinski aktivnim tvarima** ili **tenzidima**, a među njih spadaju i sapuni i deterdženti. Topljivi su u organskim otapalima i vodi.³ Drugim riječima, tenzidi su organski spojevi koji otopljeni u vodi, prisutni već u malim količinama, znatno smanjuju silu napetosti površine koja djeluje na graničnim površinama između faza. Molekule tenzida imaju dvije različite funkcionalne skupine s različitim afinitetima. Jedna funkcionalna skupina je hidrofobna (liofobna) te ne pokazuje afinitet prema vodi (otapalu), dok je druga hidrofilna (liofilna) i ima afinitet prema vodi (otapalu). Ta vrsta strukture s hidrofobnom i hidrofilnom funkcionalnom skupinom naziva se amfifilnom strukturom⁴ (slika 1).



Slika 1 – Prikaz molekule tenzida

Hidrofobni dio molekule tenzida, netopljiv u vodi, u većini slučajeva predstavlja ravni ili razgranati alifatski ugljikovodični lanac s 8 do 20 ugljikovih atoma, koji može sadržavati dvostruke veze i heteroatome, alkil supstituirane aromatske prstene ili nesupstituirane aromatske prstene.⁵ O njemu ovise fizikalno-kemijska svojstva tenzida kao što su razgradnja, površinska aktivnost i topljivost u polarnoj otopini. Kad lanac sadrži manje od 6 ugljikovih atoma, smanjeno je djelovanje površinske napetosti, dok prisutnost više od 16 ugljikovih atoma ima kao posljedicu manju topljivost tenzida; zbog toga je optimalni broj atoma ugljika u lancu od 8 do 16.⁶

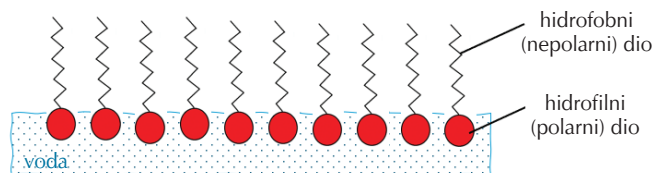
Najvažnije hidrofilne skupine su sljedeće:⁷

- neutralizirane kisele: $-\text{COONa}$ (karboksilna), $-\text{OSO}_3\text{Na}$ (sulfatna), $-\text{SO}_3\text{Na}$ (sulfonska), $-\text{OPO}_3\text{Na}_2$ (fosforna);
- neutralizirane baze: $\text{RH}_3\text{N}^+\text{Cl}^-$ (primarna amino), $\text{R}_2\text{H}_2\text{N}^+\text{Cl}^-$ (sekundarna), $\text{R}_3\text{HN}^+\text{Cl}^-$ (tercijarna), $\text{R}_4\text{N}^+\text{Cl}^-$ (kvarterna), $\text{C}_6\text{H}_5\text{N}^+\text{Cl}^-$ (piridinska);
- neionske: $-\text{O}-$ (eterska), $-\text{OH}$ (hidroksilna), $-\text{COO}-$ (esterificirana karboksilna), $-\text{CONH}-$ (karbonamidna), $-\text{SO}_2\text{NH}-$ (sulfonamidna), $-\text{CH}=\text{CH}-$ (etilenska).

Tenzidi se obično dijele prema upotrebi na: sredstva za pranje, sredstva za kvašenje, sredstva za emulgiranje, sredstva za pjenjenje, a s obzirom na hidrofilnu skupinu u strukturi samog tenzida i njegovo elektrokemijsko ponašanje na: anion-aktivne, kation-aktivne, neionogene, amfoterne i neutralne.⁷

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

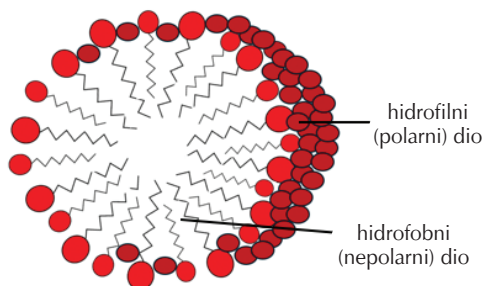
Djelovanje tenzida zasniva se na tome da njihove molekule, sastavljene od hidrofnog (liefnogn) lanca i jedne ili više hidrofnih (liefnih) skupina, na granici faza tvore monomolekularne slojeve u kojima se na površini sloja okrenutoj vodi (otapalu) nalaze hidrofnih (liefnih) dijelovi molekula (slika 2).



Slika 2 – Shematski prikaz orijentacije molekula tenzida

Kako se tenzidi otapaju u polarnim i nepolarnim otapalima, na primjeru vode i ulja može se jednostavno opisati odnos hidrofnog i hidrofnognog dijela s obzirom na sredinu u kojoj se tenzid nalazi. Ulje i voda su tekuće faze različite polarosti u kojima tenzidi pokazuju težnju nakupljanja oko ulja svojim hidrofnim dijelom, dok se hidrofilni dio okreće prema vodi.⁶

Pored adsorpcije u graničnim slojevima dodira, dolazi i do stvaranja agregata koloidnih dimenzija u čitavom sadržaju otopine. Unutar tih agregata polarne grupe se usmjeravaju prema okružujućoj vodi, dok se krajevi ugljikovodičnih lanaca usmjeravaju prema zajedničkom središtu, gdje su otopljeni jedan u drugome. Stvaranje koloidnih micela u otopini prikazano je slikom 3.

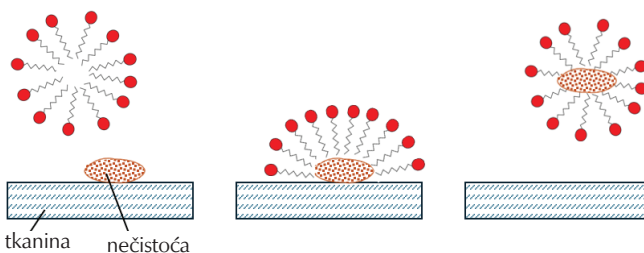


Slika 3 – Slikovit prikaz stvaranja koloidnih micela

Djelovanje međupovršinske adsorpcije i orijentacije tenzida može biti različito. Primjerice, na graničnom sloju tekućina – plin, tekući film je oslabljen i dosta lako puca pod mehaničkim utjecajem. U tom slučaju tenzid potpomaže pjenjenje i nastanak sapunice.⁸ Na graničnom sloju tekuće – kruto, slabljenje tekućeg filma događa se kad tekućina unutar sebe postaje manje vezana, a više prijanja prema krutoj površini. To omogućuje kvašenje krutine koje uzrokuje širenje tekućine preko površine krutine i prodiranje u sitne pore ili otvore.

Sposobnost pranja sapuna

Nakon teorijske podloge vezane uz površinski aktivne tvari i njihovo djelovanje može se povesti rasprava o tome kako sapun pere. Budući da je mehanizam pranja sapuna složen, učenicima se može pojednostavniti. Da bi ga bolje razumjeli, može im se dati slikovit prikaz (slika 4), a zatim se može istaknuti da su na većini nečistih površina nečistoće vezane tankim filmom ulja (maziva). Uklanjanje nečistoća s takvih površina podrazumijeva zamjenu tog tankog filma otopinom sapuna koja se zatim ispere vodom.



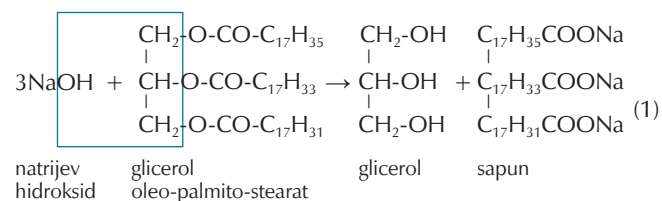
Slika 4 – Shematski prikaz kako sapun pere

Ovdje bi učenici trebali zaključiti da je sposobnost pranja sapuna posljedica njegova hidrofilno-lipofilnog karaktera. Dok hidrofilna karboksilna skupina ima afinitet prema vodi, ugljikovodični dio molekule ima lipofilni karakter, odnosno afinitet prema uljima, mastima i ostalim spojevima netopljivim u vodi. Takva struktura molekule objašnjava činjenicu da se molekule koncentriraju na granicama faza ulje – voda i orijentiraju tako da hidrofnih dio uđe u uljnu fazu, a hidrofilni dio u vodu. Nadalje, može se istaknuti da zbog toga sapuni u otopini već u malim koncentracijama znatno smanjuju napetost površine odnosno sile koja djeluje na granici između faza. Hidrofnih dio molekule emulgira masnu nečistoću, a hidrofilni dio je zadržava dispergiranu u otopini, što onemogućava njezino ponovno taloženje na očišćenu površinu.

Učenicima se može istaknuti da sposobnost pranja sapuna postiže svoj maksimum pri relativno niskim koncentracijama u otopini, a razlog tome je taj što sapuni u određenim koncentracijama u otopini stvaraju koloidne micelle. Nakon te koncentracije, koja se naziva i "kritičnom" koncentracijom, sposobnost pranja sapuna više se ne povećava. Djelotvornost pranja sapunom može se poboljšati različitim dodacima, primjerice za mekšanje vode i sl.

Saponifikacija

Sapuni nastaju procesom saponifikacije, tj. reakcijom estera više masnih kiselina (masti i ulja) i glicerola pomoću lužina odnosno alkalijs. Postoje dva postupka. Prema prvom postupku, na masnoće se djeluje lužinom, pri čemu nastaju soli masnih kiselina (sapuni) i glicerol (jedn. (1)). Prema drugom postupku, masnoće se najprije razgrađuju vodom (hidroliza) uz oslobađanje masnih kiselina i glicerola, a zatim se slobodne masne kiseline neutraliziraju natrijevim karbonatom (sodom).



Na proces saponifikacije utječe niz faktora, a učenicima se može u kratkim crtama istaknuti najbitnije. Primjerice brzina reakcije se povećava što je temperatura viša; budući da su ulja i masti netopljivi u vodi, tako se tijekom hidrolize stvaraju dvije kapljevite faze, a brzina reakcije ovisi o njihovoj dodirnoj površini. Što je dodirna površina veća, saponifikacija je brža. Isto tako, dodatkom alkohola saponificirajućoj smjesi reakcija se znatno ubrzava. Naime, najprije dolazi do alkoholize (reakcija estera s alkoholom) koja je znatno brža reakcija u usporedbi s esterifikacijom i saponifikacijom. Zatim slijedi saponifikacija tako dobivenog nižeg estera za koju se upotrebljavaju NaOH i KOH.

Dobivanje sapuna – metode pripreme sapuna

Sapuni se mogu pripravljeti toplim ili hladnim postupkom. **Kod toplog postupka** pomiješaju se ulje i lužina te se smjesa neprestano miješa zagrijava u kupelji pri 80 °C uz neprestano miješanje. Taj postupak traje oko 2 h. Nakon toga slijedi tzv. izoliranje, odnosno dijeljenje smjese u dvije faze. Gornja faza sadrži sapun, vodu i nešto elektrolita, dok donja faza sadrži vodu, alkohol, natrijev klorid, višak lužine i glicerol. Nakon izoliranja slijedi filtracija i ispiranje sapuna. Potom slijedi sušenje nakon kojeg se sapun može upotrebljavati.

Kod hladnog postupka ne upotrebljava se vanjski izvor topline. Pomiješaju se ulje i lužina te se smjesa neprestano miješa dok ne emulgira. Emulzija se izlije u kalupe nakon čega slijedi sušenje 4 – 6 tjedana (do završetka saponifikacije). Sapuni dobiveni hladnim postupkom sadrže suvišak masnoće što dodatno njeguje kožu.

Sirovine za dobivanje sapuna

S učenicima provedem raspravu o sirovinama koje se upotrebljavaju za dobivanje sapuna. Sirovine koje se upotrebljavaju u procesu saponifikacije su masti i ulja biljnog i životinjskog porijekla. Životinjske masti, najčešće svinjska mast i goveđi loj, imaju visok udio viših zasićenih masnih kiselina. One stvaraju sapune koji imaju visoku moć pjenjenja, ali su slabije topljivi u vodi. Da bi se postigao najbolji odnos između velike topljivosti i lakog pjenjenja te stabilnosti pjene i dobrog učinka pranja, za proizvodnju sapuna preporučuje se upotrijebiti smjesu masnoća s prikladnim omjerom dugolančanih i kratkolančanih, zasićenih i nezasićenih masnih kiselina. Sapuni dobiveni iz biljnih ulja vrlo su tvrdi, stabilni prema oksidaciji i lako topljivi u vodi. Daju obilnu, ali nepostojanu pjenu. Ulja koja se najčešće upotrebljavaju su kokosovo, bambusovo i palmino, jer sadrže mnogo laurinske kiseline (40 – 50 %), a malo nezasićenih masnih kiselina. Upotrebljavaju se i druga ulja, kao što su ulje pamuka, maslinovo, suncokretovo, sojino i laneno ulje. Izbor masnoća i masnih kiselina ovisi o vrsti sapuna koji se proizvodi kao i o željenoj kakvoći.⁵

Maslinovo ulje se ubraja u jedno od najvažnijih i najstarijih ulja na svijetu te ima široku primjenu. Većim dijelom se upotrebljava kao jestivo, a samo mali dio ukupno proizvedenog ulja upotrebljava se za pripremu sapuna, tekstilnih ulja i sulfoniranih ulja. Dobiva se iz plodova stabla masline mrvljenjem ili prešanjem. Pridaju mu se ljekovita svojstva zbog velike količine antioksidansa i protuupalnih spojeva te velike količine nezasićenih masnih kiselina. Većinu kiselinskog dijela čini oleinska kiselina te palmitinska, kao glavna nezasićena kiselina. Kao sirovina za proizvodnju sapuna maslinovo se ulje najčešće upotrebljava u kućnoj radinosti, dok se kao sirovina za industrijsku proizvodnju upotrebljavaju samo ulja lošije kvalitete. Maslinovo ulje sapunima daje hidratantna svojstva, mekoću i može ostavljati kožu masnom. Sapuni od 100 % maslinova ulja iznimno su mekani i imaju kraći rok trajanja. Zbog toga se najčešće kombiniraju s drugim uljima, poput kokosova.⁹

Palmino ulje proizvodi se iz uljne palme *Elaeis guineensis*. Plod te biljke upotrebljava se za dobivanje dvaju različitih ulja, a to su ulje palminih koštica i palmino ulje. Samo ulje dobiva se raznim metodama, poput iskuhavanja plodova, centrifugiranja i prešanja. Glavne kiselinske komponente su palmitinska i oleinska kiselina. Palmينو ulje ima ugodan karakterističan miris, pokazuje stabilnost prema oksidaciji i ne suši se na zraku. Sapunima daje tvrdoću, ima veliku sposobnost čišćenja, lako je dostupno i pristupačne cijene.

Kokosovo ulje dobiva se iz kobre (osušeno meso kokosova ora-ha), a proizvodi se prešanjem. Oko 90 % masnih kiselina u gliceridima kokosova ulja čine laurinska, miristinska i palmitinska kiselina koje spadaju u zasićene masne kiseline. Upotrebljava se

za proizvodnju sapuna, ali i u prehrambenoj industriji. Daje tvrd, pjenušav sapun s duljim rokom trajanja, odličnom sposobnošću čišćenja i antibakterijskim svojstvima. Ako se pri izradi sapuna upotrebljava u udjelu većem od 40 %, dobiveni sapun može isušivati kožu.



Slika 5 – Ulja upotrijebljena pri izradi sapuna

Agensi koji se upotrebljavaju u procesu saponifikacije najčešće su natrijev hidroksid (NaOH(s)) za dobivanje tvrdih sapuna i kalijev hidroksid (KOH(s)) za dobivanje mekih odnosno tekućih sapuna.

Natrijev hidroksid

Na sobnoj temperaturi NaOH je bijela kristalna krutina bez mirisa koja vezuje vlagu i CO₂ iz zraka.¹⁰ Dobiva se elektrolizom zasićene otopine natrijeva klorida ili kaustifikacijom sode (reakcija Na₂CO₃ s gašenim vapnom). Stoga se još naziva kaustičnom ili kamenom sodom.¹¹ Na tržište dolazi u obliku štapića, zrnaca, ljuški i pločica. Otopina NaOH je bezbojna tekućina. Kruti NaOH lako se otapa u vodi uz razvijanje znatne količine topline, pa pri otapanju treba biti oprezan. Vrlo je korozivan, pa nagriza metale i tkiva. U kontaktu može ozbiljno iritirati kožu, oči i sluznicu.



Slika 6 – Natrijev hidroksid upotrijebljen za dobivanje sapuna

Uz te sirovine može se upotrebljavati i natrijev karbonat (Na₂CO₃) te u manjoj mjeri i neke prirodne smole, kao npr. kolofonij.

Priprema sapuna na satu

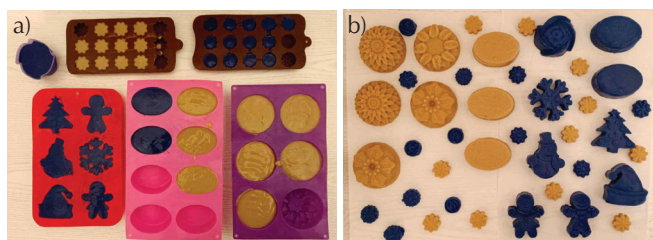
Dobivanje sapuna provedeno je hladnim postupkom, drugim riječima saponifikacija se odvijala bez zagrijavanja. Postupak izrade prilagođen je učenicima, odnosno provedene su pripreme radnje da bi oni uspjeli izraditi sapun bez velike opasnosti. Prije nastave pripremljena je vodena otopina natrijeva hidroksida. (Učenicima nižih razreda iznimno rijetko dajem da samostalno rade s natrijevim hidroksidom, onima u višim razredima dopustim, ali uz moj nadzor.) U tu svrhu izvagana je potrebna količina

natrijeva hidroksida kao i količina vode u kojoj se granule natrijeva hidroksida otapaju. Budući da se prilikom miješanja vode i natrijeva hidroksida oslobađa prilična količina topline (reakcija je egzotermna), otapanje uz miješanje provodilo se u hladnoj vodenoj kupelji uz uporabu zaštitnih naočala, rukavica i maske. Pripremljena su ulja (maslinovo, kokosovo i palmino), boje, suhi cvjetovi bilja, potreban pribor i posuđe (plastična posuda za mješavinu ulja, štapni mikser, silikonski kalupi, silikonske špatulice, termometar, zaštitna oprema...). Učenicima je dana mogućnost da i oni donesu suhe cvjetove bilja, boje za sapune i kalupe po želji.

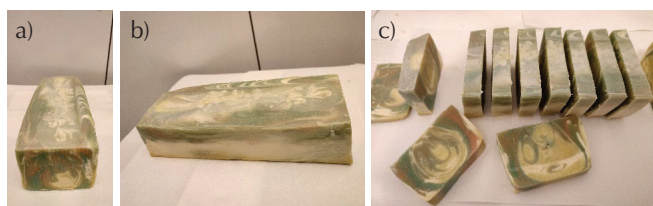


Slika 7 – Pribor upotrijebljen za izradu sapuna; kalupi

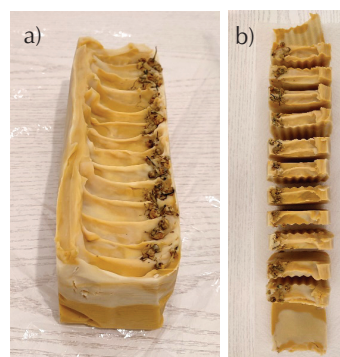
Nakon što je pripremljen sav potreban pribor i posuđe, pripremljena je i mješavina ulja. Kako se kokosovo i palmino ulje pri sobnoj temperaturi nalaze u čvrstom stanju, otopljeni su blagim zagrijavanjem radi lakšeg vaganja. Potrebne količine pojedinih ulja izvagane su na analitičkoj vagi. Ulja su stavljena u plastičnu posudu te kratko izmiješana štapnim mikserom do ujednačavanja smjese nakon čega im je polagano dodavana natrijeva lužina uz neprestano miješanje štapnim mikserom. Nakon dodavanja natrijeve lužine smjesa je nekoliko minuta miješana brzo, sve do pojave "tragova" na površini. Nakon što se pojavio "trag", učenicima su u smjesu po želji dodavali boju za sapune i eterično ulje. Smjesa je ulivena u kalupe (slika 8a) i eventualno ukrašena po želji učenika. Tako pripremljeni sapuni ostavljeni su jedan dan u kalupima, a potom su izvađeni, pojedini i narezani te ostavljeni pet tjedana da sazriju odnosno da se reakcija saponifikacije odvije do kraja (slike 8–13).



Slika 8 – Sapun Cimet i naranča: a) smjesa ulivena u kalupe i b) sapun na sazrijevanju



Slika 9 – Sapun Maslina: a) neposredno nakon vađenja iz kalupa i b) narezani sapun na sazrijevanju



Slika 10 – Sapun Kamilica: a) neposredno nakon vađenja iz kalupa i b) narezani sapun na sazrijevanju



Slika 11 – Sapun Lavanda na sazrijevanju

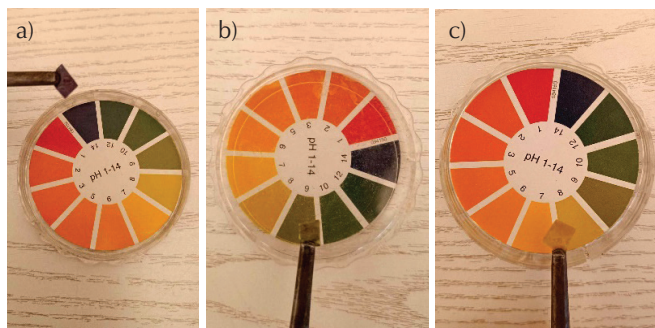


Slika 12 – Sapun Aktivni ugljen na sazrijevanju



Slika 13 – Sapun Ružmarin na sazrijevanju

Tijekom vremena sazrijevanja praćena je pH vrijednost sapuna: u otopinu sapuna koja je pripravljena otapanjem 5 g uzorka sapuna u 200 ml vode uronjen je univerzalni indikator papir te je očitana pH vrijednost. Neposredno nakon izlijevanja sapuna u kalupe pH vrijednost je bila 14 (slika 14a)), drugi dan sazrijevanja 9 (slika 14b)), a dalje se s vremenom smanjivala. Nakon pet tjedana sazrijevanja pH vrijednost je bila oko 7 – 8 (slika 14c)). Nakon sazrijevanja sapuni su spremni za uporabu.



Slika 14 – Očitavanje pH vrijednosti sapuna:

a) nakon izlijevanja u kalupe, b) drugi dan sazrijevanja i c) nakon pet tjedana sazrijevanja (pri upotrebi)

Ispitivanje svojstava sapuna

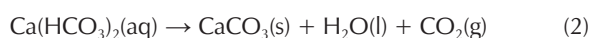
Nakon što je završena faza sazrijevanja sapuna može se uraditi dodatni pokus: ispitivanje (nekih) svojstava pripremljenih sapuna. U tu svrhu pripremi se stalak sa šest epruveta, gumeni čepovi, čaša, satno staklo, stakleni štapić, vodena otopina sapuna, vodovodna voda, destilirana voda, mineralna voda, crveni i plavi lakmus papir te vodene otopine klorovodične kiseline, kalcijeva klorida i bakrova(II) sulfata.

Najprije se pripremi vodena otopina sapuna, a zatim provjeri kiselost odnosno lužnatost te otopine upotrebljavajući crveni i plavi lakmus papir. Pomoću staklenog štapića kapne se 1 – 2 kapi vodene otopine sapuna na crveni i plavi lakmus papir koji su prethodno stavljeni na satno staklo. Učenici su opazili da se dokapavanjem otopine sapuna na plavi lakmus papir boja nije promijenila, dok je crveni lakmus papir promijenio boju u plavu. Može se zaključiti da je sapun, tj. njegova otopina, lužnat ($\text{pH} > 7$). To je razlog zašto sapun “peče za oči” ako u njih dospije prilikom umivanja. Ovdje se učenicima može postaviti pitanje smije li se vunena odjeća prati sapunima i zašto. Vunena odjeća ne smije se prati sapunima zato što lužine jako oštećuju vunu. Učenicima viših razreda trebalo bi objasniti da prirodna vuna sadrži protein keratin, a djelovanjem lužine na proteine dolazi do njihove denaturacije čime vuna gubi na svojoj teksturi i mekoći.

Nadalje, učenicima se može postaviti pitanje u kojoj bi vodi sapun bolje prao, u tvrdj ili mekoj vodi. Može im se dati prilika da osmisle pokus kojim bi to dokazali. U mojem slučaju učenici su iznijeli tezu da sapun bolje pere u mekoj (kišnica, destilirana i demineralizirana voda) nego u tvrdj vodi (voda iz slavine, voda s potoka). Naveli su da, za razliku od meke vode koja ne sadrži otopljene mineralne soli, tvrda voda sadrži otopljene soli (kalcijeve i magnezijeve) zbog kojih se sapun taloži. Kod pranja u tvrdj vodi jedan će se dio sapuna utrošiti na taloženje s kalcijem i magnezijem (nastaju kalcijeve i magnezijeve soli viših masnih kiselina), a tek preostali dio upotrijebit će se za pranje. Ovdje se učenicima može kao zanimljivost kazati informacija da su zato nekoć domaćice radije skupljale kišnicu, nego sapunom prale rublje na potoku. Nakon kraće rasprave, kao dokazni pokus učenici su predložili da se u tri epruvete ulije po 1 ml otopine sapuna i do polovice redom destilirana voda, vodovodna voda i mineralna voda. Epruvete se začepi čepom i dobro promućka njihov sadr-

žaj. Učenici su opazili da je u prvoj epruveti (otopina sapuna i destilirane vode) mućkanjem nastala znatna količina stabilne pjene. U drugoj epruveti, u kojoj se nalazi otopina sapuna i vodovodne vode, otopina je mutna, ali je nastala znatno manja količina pjene nego u prvoj epruveti; uz to nastao je i bijeli sirasti talog. U trećoj epruveti, u kojoj je otopina sapuna i mineralne vode, otopina je također mutna, a protresivanjem nastaje još manja količina pjene. Ujedno, vidljiv je nastanak bijelog, sirastog taloga. Time su učenici dokazali svoje pretpostavke iz prethodnog pitanja.

Učenicima se može postaviti i pitanje jesu li sapuni pogodno sredstvo za pranje u kiselim otopinama i vodama koje sadržavaju otopljene kalcijeve i magnezijeve soli ili možda soli teških metala i zašto. Da bi odgovorili na pitanje, može im se dati sljedeći pokus. U tri epruvete ulije se po 1 ml otopine sapuna, a zatim se doda redom nekoliko kapi vodenih otopina klorovodične kiseline, kalcijeva klorida i bakrova(II) sulfata. Epruvete se začepi i snažno promućka njihov sadržaj. Potom se spruvete ostave na stalku nekoliko minuta. U prvoj epruveti, u kojoj se nalazi otopina sapuna i klorovodične kiseline, opaža se da je otopina mutna, mućkanjem ne nastaje pjena, a stajanjem se na površini izluči bijeli talog. U drugoj epruveti, u kojoj se nalazi otopina sapuna i kalcijeva klorida, otopina je također mutna, mućkanjem nastaje pjena, a stajanjem se na površini izluči bijeli talog. U trećoj epruveti, u kojoj se nalazi otopina sapuna i bakrova(II) sulfata otopina je mutna, mućkanjem ne nastaje pjena, a stajanjem se na površini izluči talog. Nakon pokusa učenici bi trebali zaključiti da sapuni nisu pogodno sredstvo za pranje u kiselim otopinama i vodama koje sadržavaju otopljene kalcijeve i magnezijeve soli ili soli teških metala, jer mućkanjem ne nastaje pjena koja bi pospješila pranje, nego se stvaraju netopljivi talozi koji se stajanjem izlučuju na površini otopine. Ovdje se može istaknuti da se otopine zamute, jer se kalcijev hidrogenkarbonat, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, koji čini najveći dio tvrdoće vode, zagrijavanjem raspadne na netopljivi kalcijev karbonat i ugljikov dioksid (jedn. (2)). Ugljikov dioksid odlazi u atmosferu, dok se kalcijev karbonat istaloži.¹²



Budući da su deterdženti kao i sapuni površinski aktivne tvari, može se također provesti rasprava, a potom i provesti eksperiment u kojem bi se usporedila svojstva sapuna i deterdženata. U tu svrhu može se gore opisani pokus ispitivanja svojstava sapuna ponoviti s deterdžentom. Ovdje bi učenici mogli saznati opće informacije o sastavu deterdženata te uočiti sličnosti/razlike u svojstvima sapuna i deterdženata. Ugljikovodični, hidrofolni, dio molekule deterdženta može biti ravan ili razgranat. Hidrofilni dio molekule deterdženta, za razliku od sapuna koji sadrži karboksilnu skupinu, $-\text{COOH}$, sadrži sulfatnu, $-\text{OSO}_3^-$, odnosno sulfonatnu, $-\text{SO}_3^-$, skupinu. Mehanizam pranja deterdžentima isti je kao i kod sapuna, ali, za razliku od sapuna, deterdženti ne tvore netopljive soli s ionima metala te stoga mogu prati u tvrdj i blago kiselim vodama, pa čak i u morskoj vodi.¹² Na temelju rezultata pokusa trebali bi ustanoviti da su deterdženti u pranju uspješniji od sapuna. Naime, sadržaj epruvete s deterdžentom stvara više pjene, neovisno o vrsti upotrijebljene vode. Usporedbe radi, u epruvetama s vodovodnom vodom, otopine sapuna su mutne i dolazi do stvaranja taloga, dok su otopine deterdženta bistre jer su kalcijeve soli deterdženata topljive u vodi. Kao i sapuni, deterdženti pokazuju lužnatu reakciju pri testiranju indikatorskim papirom.

Deterdženti se u kućanstvu najčešće upotrebljavaju za strojno i ručno pranje rublja i posuda. Razlikuju se po sastavu i količini aktivnih tvari. Deterdženti za pranje rublja sadrže samo manji dio aktivnih molekula za pranje (oko 15 %), ostalo su sredstva za omekšavanje vode, lužnate soli, enzimi, optička bjelila, stabilizatori, mirisi, sredstva za izbjeljivanje i drugo. Obično su sredstva za strojno pranje jako lužnata i nisu pogodna za ručno pranje. Ovdje se može, u sklopu međupredmetne teme, istaknuti njihov utjecaj na okoliš. Kroz povijest opažen je negativan utjecaj otpadnih

voda s deterdžentima na prirodne vodene ekosustave. Biološka razgradivost prvih proizvedenih deterdženata bila je manja nego što je to danas. Uzrok tome jest razlika u strukturi molekule deterdženata. Prvotni su deterdženti imali molekule s razgranatim ugljikovodičnim lancima, a takve molekule bakterije u prirodnim vodama nisu mogle razgraditi. Mikroorganizmi mogu biološki razgraditi samo ravnolančane ugljikovodične dijelove molekule. Utvrđen je i negativan učinak povećane količine fosfata koji u sastavu deterdženata služe za omekšavanje vode. Veća količina fosfata uzrok je pojave cvjetanja mora, tj. naglog razmnožavanja planktonskih algi. Fosfati nisu štetni u manjoj količini, ali u povećanoj količini uzrokuju pretjeran rast algi zbog čega prirodne vode postaju mutne, što znači smanjenu količinu svjetlosti u vodi, čime se izravno utječe na smanjenje fotosinteze. U konačnici, u ekosustavu se proizvodi manje hrane, a to utječe na brojnost njegovih populacija. Zato suvremeni deterdženti ne sadrže fosfate, a aktivne su tvari većim dijelom ravnolančane molekule deterdženata.

Taj se pokus pokazao jako korisnim jer su učenici, osim što su razvili nove vještine rada u laboratoriju, ostvarili odgojno-obrazovne ishode iz više područja: učenik ponavlja i proširuje znanja vezana uz svojstva i strukturu ulja i masti, svojstva natrijeva hidroksida odnosno natrijeve lužine, spoznaje promjene koje se događaju tijekom saponifikacije, piše jednadžbu kemijske reakcije dobivanja sapuna, određuje pH vrijednost sapuna, ispituje različita svojstva sapuna, povezuje rezultate pokusa s konceptualnim spoznajama i projicira ih na svakodnevni život, povezuje literaturne podatke sa situacijama iz svakodnevnog života te osvještava važnost brige za okoliš.

S učenicima koji žele znati više ili s učenicima završnih razreda srednje škole mogu se provesti dodatni pokusi poput određivanja sadržaja ukupnih alkalija i sadržaja ukupnih masnih kiselina u pripremljenom sapunu, zatim se može odrediti moć pjenjenja sapuna, učenicima dati da odrede pH vrijednost sapuna pomoću pH metra i slično. Ako se planira vrednovati rad učenika, potrebno je dati im jasne upute za rad i kriterije vrednovanja.

“Crtice” o povijesti sapuna

Sapun je jedan od najstarijih kemijskih proizvoda. Spominje se još na glinenim pločicama iz Sumera oko 2050. prije Krista, a niz povijesnih zapisa s različitih strana svijeta govori o rasprostranjenosti izrade i trgovine sapunom. Korijen riječi sapun potječe od keltske riječi *saipo*, koja se javlja oko 600. godine prije Krista. Najstariji poznati pisac koji govori o sapunu jest Rimljanin Plinije Stariji, koji, 77. godine nakon Krista u 18. knjizi *Naturalis historia* opisuje postupak dobivanja sapuna iz kipućega kozjega loja i drvnog pepela te njegovu primjenu u njezi tijela i liječenju kožnih bolesti.¹

Egipćani su dobivali sapun miješanjem sode s biljnim uljima. Svoja znanja o pripravi finoga bijelog sapuna od maslinova ulja i kaustične sode u Španjolsku su prenijeli Arapi. Prve radionice za proizvodnju sapuna javile su se u Španjolskoj u XVI. st. u Sevilli, a poslije su se proširile u Veneciju i Marseille.¹ Posebno je bio cijenjen, a i danas je, marseilleski sapun, koji se proizvodio uglavnom od maslinova ulja, a njegov je proces proizvodnje bio strogo čuvana tajna. Sretna okolnost za industriju sapuna je bila ta što su svojstva sapuna kao koloida bila zanimljiva za znanstvena istraživanja, pa su zakonitosti utvrđene kroz znanstvena istraživanja utjecale na razvoj sapuna.¹

Masovna industrijska proizvodnja sapuna započela je u XIX. st., čemu je uvelike pridonio razvoj tekstilne industrije, uvoz trop-skih biljnih ulja te vrlo isplativa proizvodnja sode po Leblancovu postupku.¹

Jeste li znali?

- Oko 1850. godine, Louis Pasteur potvrdio je da se održavanjem osobne higijene smanjuje broj bolesti.
- 1930. godine prve radijske reklame za sapune emitirale su se u vrijeme radiodrama koje su zbog toga dobile naziv sapunice (engl. *soap-opera*).
- Tijekom Drugog svjetskog rata, od 1939. do 1945, tvornice sapuna proizvodile su veći dio glicerola koji se rabio za dobivanje nitroglicerina – glavnog sastojka za dinamit.¹³

Literatura

1. D. Marijanović, SAPUNI, Tehnička enciklopedija, sv. 11, 1988., str. 707–710.
2. Površinska napetost. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2025.; URL: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/povrsinska-napetost> (17. siječnja 2025.)
3. Y. Assadi, M. A. Farajzadeh, A. Bidari, 2.10 – Dispersive Liquid–Liquid Microextraction, u: J. Pawliszyn (ur.), Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering, Comprehensive Sampling and Sample Preparation, Analytical Techniques for Scientists, Vol. 2, Academic Press, 2012., str. 181–212, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-381373-2.00051-x>.
4. Y. Nakama, Chapter 15 – Surfactants, u: K. Sakamoto, R. Y. Lochhead, H. I. Maibach, Y. Yamashita (ur.), Cosmetic Science and Technology. Theoretical Principles and Applications, Elsevier, 2017., str. 231–244, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802005-0.00015-x>.
5. Tehnološki procesi organske industrije, Interna skripta za vježbe, Kemijsko tehnološki fakultet, skupina autora, IV. Ulja i masti i površinski aktivne, Split, 2008.
6. A. Babić, Karakterizacija tenzidne disk elektrode sa ugljikovim nanočesticama, završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2016.
7. URL: https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/Tenzidi_02_struktura%2C_svojstva%5B2%5D.pdf (22. travnja 2025.)
8. D. Swern, Industrijski proizvodi ulja i masti po Baileyju, Znanje, Zagreb, 1972., str. 1–369.
9. URL: <https://repozitorij.ktf-split.hr/islandora/object/ktfst%3A585/datastream/PDF/view> (19. listopada 2024.)
10. Sodium Hydroxide | NaOH | CID 14798 – PubChem (nih.gov), URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-Hydroxide> (19. listopada 2024.)
11. NATRIJ, Na – Spojevi, dobivanje i uporaba – Periodni Sustav Elementa (pbf.hr), URL: <http://pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/na/spojevi.html> (12. prosinca 2024.)
12. M. Sikirica, Zbirka kemijskih pokusa za osnovnu i srednju školu, Školska knjiga, Zagreb, 2011.
13. Zanimljiva povijest sapuna – SAPUNI PRIRODE Zanimljiva povijest sapuna, URL: <https://www.sapunipriode.com/o-sapunima/zanimljiva-povijest-sapuna/> (19. listopada 2024.)