

I. Čatić^{a*} i D. Salopek Weber^b^a Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagreb^b OŠ Mate Lovraka i OŠ Horvati, Zagreb

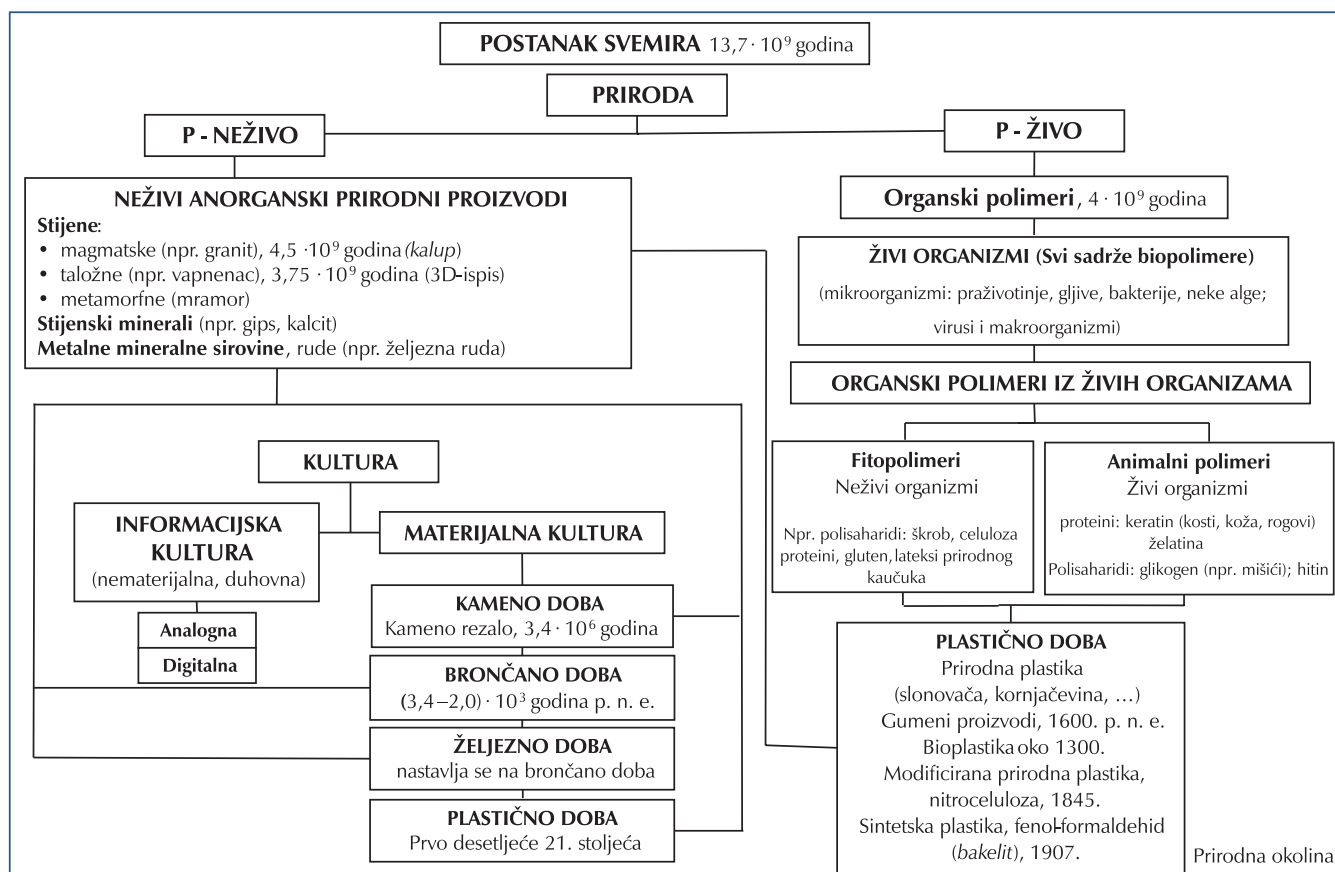
Stotinu i petnaest godina bakelitnih proizvoda

Za ovu temu važne su dvije obljetnice u 2022. godini. Svijet slavi 115. obljetnicu prve sintetske plastike, onu fenol-formaldehida (PF), popularnog bakelita. Najviša hrvatska znanstvena i umjetnička institucija: Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 24. travnja 2022. proslavila je 130. godišnjicu od dana kad je u njoj održao predavanje Nikola Tesla. O tom događaju govorio je prof. dr. sc. Darko Žubrinić. Životom i djelom Nikole Tesle bavi se diljem svijeta velik broj znanstvenika. Prvog autora, plastičara, zaintrigiralo je pitanje postoji li veza između N. Tesle i popularne, najstarije sintetske plastike, bakelita. Postavljeno je pitanje nizu stručnjaka za Teslu, odgovora nije bilo. Stoga su autori odlučili ponuditi odgovor. Tim više što je prvi autor u povodu spomenute 115. godine postojanja sintetske plastike održao na Festivalu znanosti 2022. predavanje o toj temi.¹

Priroda i kultura

Temeljno pitanje je kako riješiti dvojbu kontekstualne uporabe riječi polimeri, s preciznim mogućnostima hrvatskog jezika, u kojoj je proizvod polimerizacije, polimerizat. Rješavanje te dvojbe postavlja se u kontekstu pitanja je li Leo Henrik Baekeland izumio bakelit ili postupak. Kako od tada već poznate smjese načiniti bakelitni proizvod? Odgovor traži povezivanje razvoja prirode i kulture. Priroda je samo ono što nastaje kao rezultat prirodne tehnike, neovisno o čovjeku. Sve što je stvorilo ljudsko biće je kultura (slika 1).

Postoje dvije kulture. Jedna je materijalna. Za drugu se dugo vremena rabio naziv duhovna kultura. U međuvremenu se počeo upotrebljavati naziv nematerijalna kultura. Smatra se potrebnim



Slika 1 – Priroda i kultura (I. Čatić, 2022)¹

* Autor za dopisivanje: prof. emeritus Igor Čatić
e-pošta: igor.catic@fsb.hr

uvesti izraz informacijska kultura koja je započela analognom kulturom, da bi se u 20. stoljeću pojavila binarna, digitalna kultura.

Zašto se uvodi pojam *Plastično doba*, koje okvirno započinje početkom 21. stoljeća? Godišnja proizvodnja fosilne plastike u 1950. godini iznosila je 1,5 milijuna tona, a u 2019. čak 368 milijuna tona. U manje od 70 godina proizvodnja plastike povećala se 245 puta. Od toga na bioplastiku otpada oko 2 %. Kina u narednom razdoblju namjerava postati i vodeći proizvođač bioplastike s oko 35 milijuna tona godišnje.

Istodobno, IEA (engl. *International Energy Agency*) predviđa do 2050. porast proizvodnje plastike na 590 milijuna tona godišnje. U odnosu na 1950. to je povećanje od 390 puta. U 2050. čak 40 % nafte trošit će se na proizvodnju plastičnih proizvoda. Zaključak, plastični proizvodi ostaju, usprkos svemu. Bez plastike nema suvremene civilizacije, posebno ne medicine. Što bi bilo da u doba borbe protiv kovidaze (bolesti zbog virusa SARS-CoV-2) nije bilo jednokratnih plastičnih šprica (potrošeno više od 9 milijardi komada), plastičnih maski za lice, plastične odjeće i plastičnih epruveta za uzimanje krvi i ostale pretrage? Već sad se godišnje upotrijebi oko 16 milijardi plastičnih šprica.³

Polimeri i plastika^{4,5,2}

Druga osobitost teksta je potreba da se precizno razdvoje nazivi polimeri i plastika. Organski polimeri stari su između 4 i 3,8 milijardi godina. Ono što se danas podrazumijeva pod plastikom pretežno je staro tek nešto više od stoljeća, izumom pravljenja fenol-formaldehidnih proizvoda. Upravo prva sintetska plastika, PF, traži ponavljanje još jedne važne činjenice. Valja razlikovati riječi proizvodnja i izrada (engl. *production and manufacturing*). Duromerne tvorevine rezultat su pretvaranja početne smjese postupcima praoblikovanja (izradsbena tehnika) i očvršćivanja (procesna tehnika). To je skupno proizvodna tehnika.

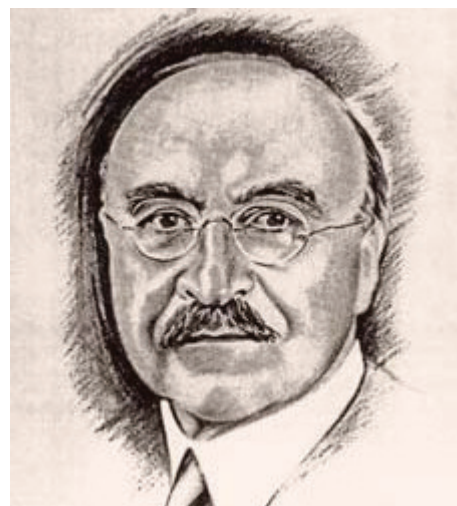
Riječ *polimeri* zahtijeva naziv za najviši ili vršni pojam. Riječ *polimeri* muškog je roda i upotrebljava se isključivo u množini, svi polimeri. Odgovarajući nazivi su: engl. *polymers*, franc. *polymère*, njem. *Polymere*. Smisleno je upotrijebiti naziv *polimeri* kao skupno ime za prirodne i sintetske *tvori* i *materijale* kojih je osnovni sastojak sustav makromolekula (polimerne molekule).

Riječ *polimer* upotrebljava se isključivo u jednini: engl. *polymer*, franc. *polymère*, njem. *Polymer*. Polimer je kemijski spoj ili smjesa spojeva koji se sastoje od ponavljajućih strukturnih jedinica nastalih polimerizacijom. Tvar sastavljena od makromolekula, vrlo velikih molekula čija je molna masa od nekoliko tisuća do čak milijuna grama/mol je polimer. Prema postanku polimeri mogu biti *prirodni* ili *sintetski*, a prema kemijskom sastavu *organski* ili *anorganski*.

Obljetnica izuma Lea Hendricha Baeklanda – što je stvarno izumio?

Opće je prihvaćena tvrdnja da se 2022. slavi 115 godina od izuma prve sintetske plastike. Preciznije, osnovnog sastojka smjese, fenol-formaldehida, PF, poznatijeg kao bakelita. Nužna je napomena: plastika se dijeli prema ponašanju pri povišenim temperaturama u dvije osnovne skupine, to su duromeri (duroplasti, engl. *thermosetting plastics*) i plastomeri (termoplasti, engl. *thermoplastics*). Povodom obilježavanja stote obljetnice izuma časopis *Polimeri*, objavio je dva teksta.^{6,7}

Sintetske smolaste smjese dobivene reakcijom fenola i formaldehida uz katalizator bile su poznate već sedamdesetih godina 19. stoljeća. Međutim nedostajala je mogućnost pretvaranja tih smjesa u konkretne proizvode.



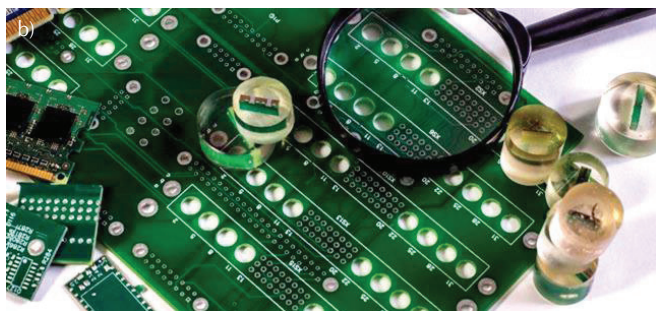
Slika 2 – Leo Hendrik Baekland (1863. – 1944.)⁷



Slika 3 – Patentna isprava⁷ Verfahren zur Herstellung von Kondensationsprodukten aus Phenolen und Formaldehyd (Postupak za proizvodnju kondenzacijskih proizvoda od fenola i formaldehida)

U veljači 1907. godine dr. Leo Hendrik Baekland (1863. – 1944.) (slika 2), nakon trogodišnjih istraživanja reakcija polikondenzacije, prijavio je patent za postupak proizvodnje kondenzacijskih proizvoda na osnovi fenola i formaldehida (njem. *Verfahren zur Herstellung von Kondensationsprodukten aus Phenolen und Formaldehyd*). Slika 3 prikazuje patentnu ispravu br. 233803.⁷

Od dobivenih kondenzacijskih proizvoda (smjesa), djelovanjem povišenog tlaka i temperature mogle su se proizvesti različite duromerne tvorevine koje su zbog svojih svojstava, kao što su tvrdoća, netaljivost i netopljivost, mogle zamijeniti dotad upotrebljavane materijale, drvo i metal, za pravljenje već poznatih, ali i novih proizvoda. Do kraja te 1907. godine Baekland je prijavio još šest patenata za postupke iz tog područja, poznatih kao patenti *toplina* i *tlak*. Uspješna proizvodnja prvih proizvoda na osnovi fenol-formaldehidne smole pridonijela je početku industrijske proizvodnje prvih sintetskih smola. Vrijeme za pojavu proizvoda na osnovi novog materijala nije moglo biti bolje. Znanstveni i tehnički razvoj tog vremena doveo je do početka masovne proizvodnje dobara, do tekuće trake, revolucije u prometu i, konačno, do prodora elektrotehnike u svakodnevnicu. Dotad su se ljudi koristili samo materijalima dobivenima iz prirode.



Slika 4 – Bakelitni proizvodi: a) Ericsson Bakelite telefon, c. 1931.;⁹ b) primjene fenol-formaldehida u elektronicima¹⁰

Novi zahtjevi za racionalnom preradom i visokovrijednim uporabnim svojstvima proizvoda od PF-a bili su dobra podloga za njegovu primjenu u mnogim područjima gospodarstva koje se razvijalo veoma brzo. Osobito je elektroindustrija, tad nova grana industrije, bila zainteresirana za tu novost jer je napokon pronađen materijal za učinkovitu izolaciju električnih dijelova. Vrlo brz razvoj elektroindustrije početkom 20. stoljeća može se djelomice pripisati i mogućnostima koje su pružali bakelitne tvorevine. Valja ponoviti, fenol-formaldehid nije materijal, već osnovni sastojak smjese koja se tek praoblikovanjem u kalupu i djelovanjem odgovarajućeg tlaka i pri određenoj temperaturi pretvara u tvorevinu od tog materijala. U uobičajenim tekstovima tome se pridaje premala pozornost. Jednako tako, brzo je uočena i mogućnost primjene PF-a u industriji lakova za izvedbu zaštitnih prevlaka s dotad nepoznatom postojanošću na mehanička i korozijska djelovanja. Smole su se počele primjenjivati u mnogim područjima. Primjerice, u drvenoj industriji za izradbu ploča i laminata za pravljenje toplinskih izolacijskih materijala, za proizvodnju različitih otpresaka (prešani materijali) i slično.

Tesla i bakelit

Odgovor na pitanje pronađen je na internetu.⁸ Navedeni izvor lista je ispitnih pitanja za studente jednog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, koju se ovdje djelomično prenosi. "U svom laboratoriju Nikola Tesla izvodi eksperimente s električnom strujom. Šipku

od bakelita (o. a. određenih dimenzija) umetne između pločastih elektroda. Tesla je kao vrsni matematičar izračunao otpor dane šipke iz poznavanja otpornosti. ... Tesla sa svojim ACME izvorom polako povećava napon dok se zrak ne ionizira: počne iskriti između elektroda. ..." Dovoljno da se shvati da je N. Tesla poznavao bakelit.

Primjeri bakelitnih proizvoda

Iz članka² prenose se dva karakteristična primjera duromernih, ovdje fenol-formaldehidnih, dakle bakelitnih proizvoda (slika 4). To su klasični telefon⁹ i primjena PF-a u elektronicima.¹⁰

Zaključak

Poticaј za tekst je obilježavanje 115. obljetnice proizvodnje prvog duromernog proizvoda načinjenog u kalupu od smjese s osnovnim sastojkom fenol-formaldehidom. Prikazana je povezanost prirode i kulture koja je ukazala na nužnu razlikovnost riječi polimeri i plastika. Sva plastika načinjena je od osnovnog sastojka, polimera. Ali svi polimeri nisu plastika. Uveden je i pojam informacijske kulture te relativno nedavno uvedene digitalne kulture. Posebno treba naglasiti da je tekstem sa slike 3 dokazana tvrdnja da se kod duromera, ali vrijedi i za gumu, keramiku, beton, radi o proizvodnim postupcima pri kojima se od smjese propisanih svojstava praoblikovanjem rukama ili u kalupu i procesne tehnike prave tvorevine od navedenih materijala.

Literatura

1. I. Čatić, 115 godina sintetske plastike, Festival znanosti 22, TMNT, 3. svibnja 2022.
2. I. Čatić, Stotinu i petnaest godina sintetske plastike, Svet polimera **25** (2) (2022) 71–74.
3. Global Disposable Syringes Markets, 2021–2028: Focus on Immunization Injections & Therapeutic Injections (pristupljeno 11. 5. 2022.).
4. I. Čatić, Dodatak sistematizaciji tvari i materijala od atomske razine do složenih sustava, Svet polimera **24** (3) (2021) 139–144.
5. I. Čatić, A. Mihajlović, Proširenje sistematizacije tvari i materijala – od atomske razine do složenih sustava, Kem. Ind. **70** (11-12) (2021) 754–763.
6. I. Čatić, 100 godina sintetske plastike, Polimeri **27** (2) (2006) 84.
7. Z. Katović, Prigodom stogodišnjice otkrića i pripreve prvoga sintetskog materijala – bakelita, Polimeri **28** (1) (2007) 47.
8. Nikola Tesla i bakelit, URL: http://www.phy.pmf.unizg.hr/~mpozek/fk1/materijali/zadaca4_Tesla.pdf (pristupljeno 27. 6. 2022.).
9. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bakelite> (pristupljeno 12. 5. 2022.).
10. URL: <https://bakelite.com/products/moldin-g-compounds/electrical-electronics> (pristupljeno 12. 5. 2022.).