

M. Rujnić Havstad*

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Ul. Ivana Lučića 5, 10 000 Zagreb

PVC – kontroverzan materijal jedinstvenih svojstava i svestrane primjene

Uvod

Nedavno primljeni tekst *PVC-A Polymer with the broadest scope of use!* vratio me na početak mojeg djelovanja na jednoj visokoškolskoj ustanovi. Početkom devedesetih godina prošlog stoljeća, ali i milenija započeo je pokret *zelenizam*. Rušenjem Berlinskog zida započela su mnoga nova djelovanja. Među ostalim, pojavili su se izvrsno financirani pokreti zelenih organizacija, koje su počele upozoravati na razne pojave utjecaja ljudske aktivnosti na klimatske promjene. Tih godina izabrali su kao najštetniju plastiku poli(vinil-klorid), poznatiju pod akronimom PVC. Mediji i nedovoljno tematski obrazovani predstavnici zelenih organizacija bili su iznimno uspješni. Uspjeli su uz pomoć zainteresiranih zatvoriti tvornice PVC-a u Kaštel Sućurcu i Zadru. Jedini koji su se tada suprotstavljali bili su *Društvo za plastiku i gumu* i časopis *Polimeri*, kojih nažalost više nema. Suprotstavili su se i članovi Katedre za preradu polimera Fakulteta strojarstva i brodogradnje, u to vrijeme treće u Europi. Zato sam sad, kao članica te Katedre s radošću pripremila tekst o rasprostranjenosti PVC-a u svijetu, koji u trećem desetljeću novog stoljeća nalazi toliko područja primjene.

Povijest PVC-a

Iako je PVC prvi put sintetiziran još daleke 1838., pa ponovno 1872., pravi proboj dogodio se 1920-ih, kad je američki znanstvenik Waldo Semon shvatio da može učinkovito zamijeniti gumu za vodonepropusne tkanine. PVC se prvotno rabio kao vodootporni premaz, ali i za potpetice cipela, zavjese za tuševe, tkanine za kišobrane, gramofonske ploče i vrtna crijeva. Za vrijeme Drugog svjetskog rata upotrebljavao se za izolaciju žica na vojnim brodovima. Od tad se njegova primjena bitno proširila, pa se danas, osim prvotnih primjena, može pronaći u mnogim područjima života.¹

Većina plastičnih materijala kao glavne sastavne elemente ima ugljik i vodik, no PVC sadrži i klor, što ima nekoliko prednosti. Klor PVC-u omogućuje kompatibilnost s velikim brojem drugih materijala, a djeluje i kao sredstvo za sprječavanje gorenja. PVC spada u skupinu plastomera, a proizvodi se spajanjem etilena i klora. Etilen je nusproizvod krekiranja nafte i prirodnog plina, a klor se proizvodi odvajanjem klorovih i natrijevih iona lužine u električnom polju, tj. elektrolizom. Otprilike 57 % PVC-a dobiva se iz soli, a 43 % iz nafte ili prirodnog plina.^{1,2}

Danas je PVC treći najrašireniji plastični materijal u svijetu, nakon polietilena i polipropilena. Njegova uporaba na globalnoj razini premašuje 50 milijuna tona godišnje (od ukupno 400,3 milijuna tona plastičnih materijala proizvedenih u svijetu 2022.),³ uz stalno rastuću potražnju.

Svojstva i primjena PVC-a

PVC se često isporučuje u obliku praha. Različiti aditivi i pigmenti dodaju se PVC prahu tijekom prerade, tj. izrade različitih proizvoda. Teško je nadmašiti svojstva PVC-a. Izdržljiv je, lagan, čvrst

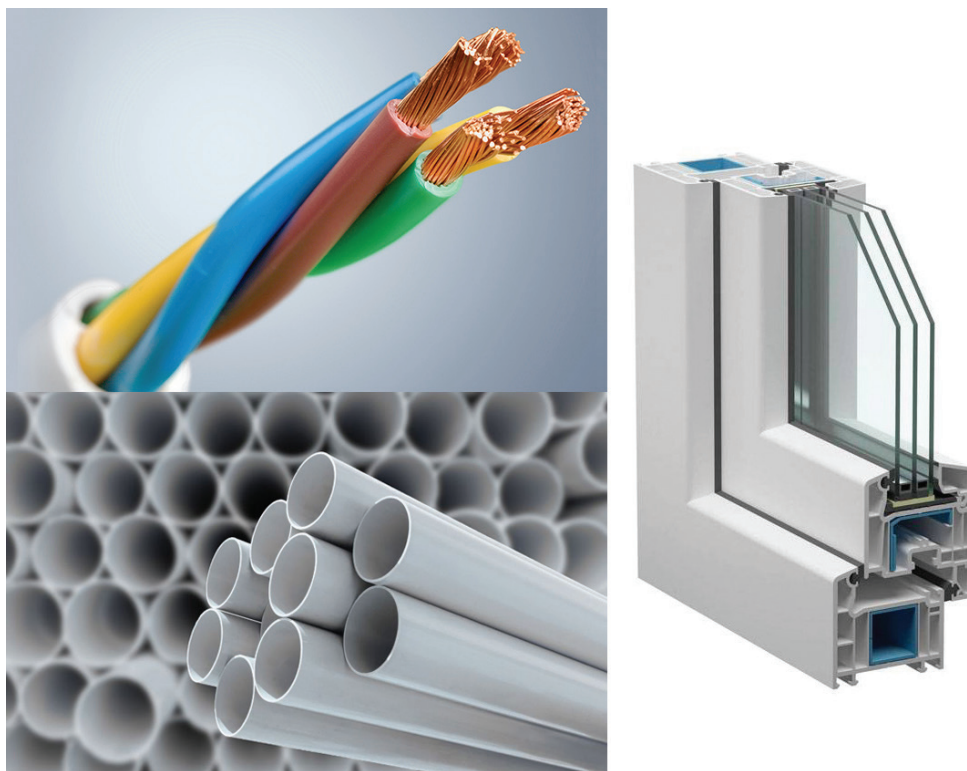
i otporan na gorenje, s izvrsnim izolacijskim svojstvima i niskom propusnošću. Ne provodi električnu struju, što ga čini ključnim za uporabu za izolacije žica i kabela. Ima širok raspon primjena jer se uporabom raznih dodataka tijekom prerade karakteristike kao što su čvrstoća, krutost, boja i prozirnost lako mogu prilagoditi specifičnim zahtjevima. PVC proizvodi traju dugo. Podovi i krovovi izrađeni od PVC-a mogu trajati više od 20 godina, a PVC vodovodne cijevi koje se ugrađuju u infrastrukturnim projektima mogu trajati više od 50 godina.^{4,5} Zbog svojih izvrsnih svojstava, može ga se naći u gotovo svim područjima primjene (tablica 1).

Tablica 1 – Primjeri primjene PVC-a^{4,6}

Gravevinarstvo
Cijevi i spojnice (za transport vode za piće, kanalizaciju, navodnjavanje), cijevi za optičke kabele, odvođi/ventilacija, spiralne cijevi, cijevi velikog promjera, odvodne cijevi, cijevi u kemijskoj i prehrambenoj industriji, cijevi za protupožarne prskalice, vodovi za struju i telekomunikacije Okviri prozora i drugi profili, podne i zidne obloge, krovne ploče, oluci, obloge za tunele, bazene i rezervoare
Transport
Ožičenje ispod poklopca motora automobila, unutrašnjost i sjedala za automobile, javna prijevozna sredstva i zrakoplovi, premazi podvozja automobila protiv abrazije, prostirke, nasloni za ruke, pjenaste brtve, obloge prozora, bočne obloge karoserije
Elektronika/uređaji
Kućišta za tipkovnice, vanjski zaštitni plaševi za električne kabele, plaševi optičkih vlakana, kućišta za diskete, razne komponente u telefonskim sustavima, električni alati, hladnjaci, perilice, klima uređaji, računala
Medicina
Vrećice za krv i infuziju, vrećice za dijalizu, kateteri, kirurške rukavice, sterilni prekrivači, proteze, maske za kisik, crijeva za transfuziju, kirurške rukavice i ogrtači, madraci, zidne i podne obloge
Ambalaža
Folije za meso i proizvode, brtve za staklenke/poklopce (pjenasti plastisol), folije za mjehurastu (<i>bliстер</i>) toplo oblikovanu ambalažu, prozirne i neprozirne boce, prionjive folije, ambalaža za jednokratne šprice i medicinske uređaje, omoti za boce (rukavci), etikete, pladnjevi za hranu
Dom i slobodno vrijeme
Vrtna crijeva, igračke, lutke, igračke na napuhavanje, potplati za cipele, ribolovni mamci, vinilom presvučeni metalni regali i police, jastučići za čamce i dokove, cerade, kreditne kartice (kopolimer), vrtni namještaj, tkanine, trake, zavjese za tuširanje, šatori, prostirke za jogu, podovi za teretane

Kako je PVC vrlo izdržljiv materijal koji je postojan na svjetlost, kemikalije, koroziju i ekstremne temperaturne raspone, idealan je materijal u građevinarstvu. I kruti i savitljivi oblici PVC-a zamjenjuju tradicionalne građevinske materijale kao što su drvo, beton i metal. Budući da ne trune kao drvo, vijek trajanja građevinskih materijala drastično je poboljšan od uvođenja proizvoda kao što su okviri prozora.⁵ Oko 70 % ukupnog PVC-a proizvedenog u

* Mr. sc. Maja Rujnić Havstad, dipl. ing. stroj.
e-pošta: Maja.Rujnic@fsb.unizg.hr



Slika 1 – Primjena PVC-a u građevinarstvu: kabelski plaštev, cijevi, prozorski okviri^{7,8,9}

Europi ide u prozorske okvire, cijevi, podove, krovne membrane i druge građevinske proizvode (slika 1).²

PVC je bitan i u medicini, gdje je u uporabi više od 50 godina. Prva primjena bila su savitljiva crijeva i spremnici kao zamjena za gumu i staklo. Široko se primjenjuje jer se lako čisti i omogućuje jednokratnu primjenu koja smanjuje infekcije u zdravstvu.⁵ Neki od primjera primjene u medicini prikazani su na slici 2.

Utjecaj na ljudsko zdravlje i okoliš

Kad se govori o PVC-u i njegovom utjecaju na ljudsko zdravlje i okoliš, obično se spomenu dva pojma – ftalati i dioksini. Da bi se razumjelo kako opasne kemikalije djeluju na okoliš i živa bića, najprije ih treba podijeliti na postojeane (trajne) i nepostojeane. Postojane kemikalije, odnosno postojeane organske onečišćujuće tvari (*engl. persistent organic pollutants, POP*), uključuju dioksin, diklor-difenil-trikloreten (DDT) i poliklorirane bifenile (PCB). Te tvari su vrlo stabilne, pa u okolišu i ljudskim tijelima ostaju godinama. Nisu topljive u vodi, pa se u tijelu ne razgrađuju, već se pohranjuju u tjelesnoj masnoći i drugim tkivima.¹²

U usporedbi s tim kemikalijama, nepostojeane kemikalije kao što su bisfenol A (BPA), fenoli i ftalati su topljivi u vodi, što znači da se ispiru iz organizma i okoliša i da se ne akumuliraju u tjelesnoj masnoći. Ti kratkotrajni kemijski spojevi imaju vrijeme poluraspada od četiri do dvadeset i četiri sata.¹²

Ftalati

Ftalati spadaju u skupinu sintetskih kemijskih tvari sa širokim rasponom uporaba, od potrošačkih do industrijskih proizvoda. Postoje različite vrste ftalata, a najčešće se upotrebljavaju kao omekšavala za PVC, odnosno čine savitljivim i izdržljivim.¹³



Slika 2 – Primjena PVC-a u medicini: podovi u bolnicama, rukavice, vrećice i crijeva za infuziju^{10,11}

Zbog njihove vrlo široke primjene ftalate se može naći svugdje u okolišu. Nisu svi ftalati detaljno proučeni, no primjena nekih od njih je regulirana i u Europi i u svijetu zbog moguće štetnosti za ljudsko zdravlje.¹³

Europska unija ograničava nekoliko ftalata koji se smatraju opasima za ljudsko zdravlje prema sljedećim propisima:¹⁴

- Uredba REACH (EC) 1907/2006*
- Direktiva o sigurnosti igračkaka 2009/48/EC
- Europska direktiva za ograničavanje upotrebe određenih opasnih supstanci u električnoj i elektroničkoj opremi 2002/95/EC
- Uredba o plastičnim materijalima koji dolaze u dodir s hranom (EU) 10/2011

Ftalati niske molekularne mase: bis(2-etilheksil)-ftalat (DEHP), benzil-butil-ftalat (BBP), dibutil-ftalat (DBP) i diizobutil-ftalat (DIBP) klasificirani su kao toksični za reprodukciju kategorije 1B s oznakom opasnosti H360 ("mogu oštetiti plodnost ili nerođeno dijete")² i smiju se upotrebljavati u koncentraciji od najviše 0,1 % masenog udjela za širok raspon proizvoda, od srpnja 2020. To uključuje npr. dječja pomagala za plivanje, podove, prevučene tkanine i papir, rekreacijsku opremu, madrace, obuću i uredski materijal.¹³

Uredba REACH ograničava upotrebu ftalata na nekoliko načina. Na primjer, DEHP, DBP, BBP i DIBP ne smiju se primjenjivati pojedinačno ili u kombinaciji jedni s drugima u koncentracijama većim od 0,1 % masenog udjela u većini potrošačkih proizvoda, dok se diizonil-ftalat (DINP), diizodecil-ftalat (DIDP) i di-*n*-oktil-ftalat (DNOP) ne smiju rabiti u većim koncentracijama u igračkama ili predmetima za njegu djece koje djeca mogu staviti u usta. Ukupno, maksimalna granica od 0,1 % koncentracije odnosi se na 14 ftalata.¹⁵

Zabrana određenih ftalata u igračkama u Europskoj uniji započela je još 1999., a 2007. se proširila i na proizvode za njegu djece koje mala djeca mogu staviti u usta. Od srpnja 2011. svi ftalati klasificirani kao toksični za reprodukciju općenito su zabranjeni u igračkama i dijelovima igračkaka koje se stavljaju na tržište Europske unije.¹³

U studenome 2021. Europska komisija je DEHP-u, DBP-u, BBP-u i DIBP-u dodala i svojstva endokrinog poremećaja. Ažuriranje opasnih svojstava za pokrivanje hormonskih učinaka znači da će tvrtke morati podnijeti zahtjev za REACH autorizaciju i za neke uporabe koje su prethodno bile izuzete.¹³

Treba napomenuti da se, osim u PVC-u, ftalati mogu naći i u mnogim drugim proizvodima. Primjerice u mirisnim svijećama, gdje pomažu u stvaranju njihova snažnog mirisa prilikom sagorijevanja. I kozmetički proizvodi, kao što su sapuni, lakovi za kosu, parfemi, gelovi za brijanje, šamponi i dr., također mogu sadržavati ftalate, a u ljudsko tijelo se unose apsorbiranjem putem kože. Izlaganje ftalatima preko proizvoda za osobnu higijenu povezano je i s češćom pojavom valova vrućina žena u menopauzi.¹⁷ Osim toga, ftalate mogu sadržavati i boje, gumeni proizvodi i ljepila.^{1,2,12}

* Uredba REACH Europske unije donesena je radi bolje zaštite ljudskog zdravlja i okoliša od rizika koji mogu predstavljati kemikalije, uz istodobno jačanje konkurentnosti kemijske industrije EU-a. Načelno se Uredba REACH primjenjuje na sve kemijske tvari, ne samo one koje se upotrebljavaju u industrijskim procesima nego i one koje upotrebljavamo u svakodnevnom životu, primjerice u sredstvima za čišćenje, bojama te proizvodima kao što su odjeća, namještaj i električni uređaji.¹⁶

Dioksini

Dioksini su nenamjerni nusproizvodi industrijskih procesa koji sadrže klor ili kad se spaljuje tvar koja sadrži klor. To znači da se dioksini stvaraju zbog ljudskih aktivnosti, tijekom industrijske proizvodnje, spaljivanja otpada ili spaljivanja drva u peći, ali i zbog drugih aktivnosti koje su izvan ljudske domene djelovanja, primjerice kod šumskih požara i erupcija vulkana.¹⁸

U 1980-ima, a posebno u 1990-ima, kad je rasprava o dioksinima u svijetu, a i u Hrvatskoj, dosegla svoj vrhunac, PVC je optuživan kao glavni krivac za emisije. Posebno glasan bio je *Greenpeace*, koji je u dokumentu iz 1993. proizvodnju PVC-a jednostavno nazvao "tvornicama dioksina".¹⁸

Komisija Europske unije još je u srpnju 2000. objavila *Zelenu knjigu*¹⁹ o ekološkim pitanjima PVC-a. Tamo je navedeno sljedeće: "Smanjenje sadržaja klora u otpadu može doprinijeti smanjenju stvaranja dioksina, iako stvarni mehanizam nije u potpunosti shvaćen. Najvjerojatnije je da glavni parametri spaljivanja, kao što su temperatura i koncentracija kisika, imaju velik utjecaj na stvaranje dioksina. Pri sadašnjim razinama klora u komunalnom otpadu čini se da ne postoji izravna kvantitativna veza između sadržaja klora i stvaranja dioksina."

Opći zaključak je da PVC ne predstavlja problem u modernim energanama (spalionicama) krutog komunalnog otpada gdje visoke temperature, kontrolirane razine kisika i metode čišćenja letećeg pepela i dimnih plinova osiguravaju eliminaciju dioksina i ekstrakciju klora u obliku klorovodika topljivog u vodi ili neutralne soli.¹⁸ S obzirom na to da u Hrvatskoj takvih postrojenja nema, daleko veći problem predstavlja spaljivanje otpada na otvorenom te požari otpada na odlagalištima.

Oporaba PVC otpada

Glavne kategorije PVC otpada uključuju proizvodni otpad, instalacijski i otpad nakon potrošnje. Proizvodni otpad nastaje tijekom prerade PVC-a u pogonima za proizvodnju, a tamo se i mehanički reciklira. Instalacijski otpad nastaje kad se određeni PVC proizvodi, kao što su kabeli, cijevi i podovi, režu na željenu mjeru tijekom postavljanja. Posljednjih je godina PVC industrija postala aktivna u organiziranju sustava prikupljanja i recikliranja tih otpadnih proizvoda natrag u nove proizvode.²

Naposljetku, otpad nakon potrošnje ili uporabe sastoji se od proizvoda koji su ispunili svoj životni vijek, a dolaze iz kućanstava i industrije. Kako je većina PVC proizvoda dugovječna, količina rabljenih PVC predmeta koji ulaze u tok otpada još uvijek je relativno mala. Međutim, ta će se situacija s vremenom promijeniti kako se sve veći broj tih proizvoda bude približavao kraju svojeg korisnog vijeka te će polako početi povećavati volumen toka PVC otpada.²

PVC otpadom može se gospodariti na tri različita načina: recikliranjem; zbrinjavanjem uz energijsku oporabu (spaljivanje) i, u krajnjem slučaju, odlaganjem otpada.

Danas se PVC proizvodi na kraju životnog vijeka recikliraju uglavnom mehaničkim recikliranjem, a u razvoju su postupci za kemijsko recikliranje.

Mehaničko recikliranje PVC-a izdvojenog iz tokova otpada tehnički je relativno jednostavno i uobičajena je praksa. Prikladni proizvodi nakon upotrebe su oni koje je lako identificirati i odvojiti od toka otpada ili koji se mogu održavati relativno čistima. Primjeri su: cijevi (obično reciklirane u cijevi), prozorski profili (reciklirani u profile ili cijevi), podovi, krovne membrane, presvučene tkanine. Ti savitljivi proizvodi ponovno se prerađuju u proizvode kao što su obuća, prostirke, prometni čunjevi.²

Zaključak

PVC je, usprkos nebrojenih pokušaja raznih zelenih organizacija da ga izbace iz uporabe, ne samo zadržao svoj udio na tržištu već ga je i povećao, pa je s udjelom od 12,7 % treći najkorišteniji plastični materijal. Njegove prednosti su brojne. Relativno je jeftin za proizvodnju u usporedbi s drugim materijalima, pa je isplativ izbor za širok raspon primjena. Otporan je na vremenske uvjete i abraziju, dugog je životnog vijeka te zahtijeva minimalno održavanje, što ga čini prikladnim za vanjske primjene. Može zadovoljiti razne zahtjeve: može biti krut ili savitljiv, proziran ili

obojen, a lako se oblikuje u različite oblike i veličine. Kemijski je postojan na mnoge kemikalije, uključujući kiseline, lužine i soli, što ga čini prikladnim za primjene gdje je potrebna kemijska postojanost. Zbog sadržaja klora inherentno je otporan na vatru, što znači da ima nizak rizik od požara i da će se sam ugasiti ako je izložen plamenu. Ima izvrsna električna izolacijska svojstva, pa je idealan izbor za električne kabele i ožičenja. Zbog svega navedenog, PVC je još uvijek idealan materijal za mnoštvo primjena, posebno u građevinarstvu. Vrijeme će pokazati hoće li tako i ostati. Kako stvari sada stoje, odgovarajućeg zamjenskog materijala još nema na vidiku.

Literatura

1. A. Chrysostomou, Plastics: just a load of rubbish? Hero, London, 2023.
2. PVC – a circular material for the future, <https://pvc.org/> (pristupljeno 28. 6. 2024.).
3. Plastics Europe launches Plastics – the fast Facts 2023, <https://plasticseurope.org/media/plastics-europe-launches-the-plastics-the-fast-facts-2023/> (pristupljeno 3. 7. 2024.).
4. Polyvinyl chloride (PVC), <https://plasticseurope.org/plastics-explained/a-large-family/polyvinyl-chloride-pvc-2/> (pristupljeno 1. 7. 2024.).
5. The many benefits of PVC, <https://thisisplastics.com/plastics-101/many-benefits-pvc/> (pristupljeno 2. 7. 2024.).
6. S. Thacker, TECH TALK Forum, SPE Communities: PVC-A Polymer with the broadest scope of use, 8. 6. 2024.
7. The importance of PVC insulated wires in the electrical industry, <https://www.kei-ind.com/blog/the-importance-of-pvc-insulated-wires-in-the-electrical-industry/> (pristupljeno 1. 7. 2024.).
8. The History and Development of PVC Piping, <https://www.millerplastics.com/the-history-and-development-of-pvc-piping/> (pristupljeno 1. 7. 2024.).
9. Internal structure of PVC window profile, <https://ecohouse-eg.com/Internal-structure-of-PVC-window-profile> (pristupljeno 1. 7. 2024.).
10. Why Do Hospitals Use Vinyl Flooring?, <https://teelandfloor.com/why-do-hospitals-use-vinyl-flooring/> (pristupljeno 1. 7. 2024.).
11. PVC: An Ideal Choice for Healthcare Applications, <https://www.westlake.com/pvc-ideal-choice-healthcare-applications> (pristupljeno 1. 7. 2024.).
12. S. H. Swan, S. Colino, Count Down, Scribner, New York, 2020.
13. Ftalati, <https://echa.europa.eu/hr/hot-topics/phthalates> (pristupljeno 2. 7. 2024.).
14. Y. Shen, Phthalate Regulations in the European Union: An Overview, <https://www.compliancegate.com/phthalate-regulations-european-union/> (pristupljeno 2. 7. 2024.).
15. Regulation (EC) No 1907/2006 – Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) and establishing a European Chemicals Agency.
16. Što je REACH? <https://echa.europa.eu/hr/regulations/reach/understanding-reach> (pristupljeno 2. 7. 2024.).
17. A. Ziv-Gal, L. Gallicchio, C. Chiang, S. N. Ther, S. R. Miller, H. A. Zacur, R. L. Dills, J. A. Flaws, Phthalate metabolite levels and menopausal hot flashes in midlife women. *Reprod Toxicol.* **60** (2016) 76–81, doi: <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2016.02.001>.
18. T. Johnsen, Understanding the Basics: How Regulation and Industry Innovation Have Eliminated Dioxin Emissions from PVC Production and Waste Incineration, https://vinylplus.eu/wp-content/uploads/2021/06/how-regulation-and-industry-innovation_09_2017.pdf (pristupljeno 2. 7. 2024.).
19. Green Paper: Environmental issues of PVC, Commission of the European Communities, Brussels, 2000., <https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/pvc/en.pdf> (pristupljeno 3. 7. 2024.).