

ODREĐIVANJE GUSTINE PVC POLIMERNIH MATERIJALA METODOM URANJANJA U TEČNOST

DETERMINATION OF THE DENSITY OF PVC POLYMER MATERIALS BY THE IMMERSION METHOD

Matilda Lazić^{*1}, Dragan Halas¹, Aleksandar Dedić², Duško Salemović¹

¹Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu, Zrenjanin, Republika Srbija

²Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd

*U ovom radu je izvršeno određivanje gustine serije čvrstih, nećelijskih komercijalno upotreb-
ljivih i oblikovanih polimernih materijala (tzv. plastika). Primenjena je metoda određivanja gustine
nećelijskih polimernih materijala (plastike) u skladu sa međunarodnim standardom ISO 1183-1:
2019, Deo A: Metoda uranjanja u tečnost. Na osnovu rezultata prethodnih istraživanja, pretpostav-
ljeno je da su ispitivani uzorci izrađeni od polimernih materijala na bazi PVC (krutog ili fleksibilnog).
Prethodno istraživanje je obuhvatalo procenu vrste/tipa plastične mase korišćenjem testa gorenja u
svojstvu brze metode identifikacije polimernih materijala. Pretpostavljeno je takođe, da će se prime-
nom odabrane metode, dobiti rezultati koji odgovaraju gustini PVC polimera sa dodacima i/ili plasti-
fikatorima, a koja se kreće u intervalu od 1,44 - 1,48 g/cm³. Gustina PVC polimera može varirati u
odnosu na gustinu tipičnog PVC u zavisnosti od korišćenih dodataka npr. filera, stabilizatora boje,
štampe, itd. i naročito, od upotrebe plastifikatora. Na osnovu dobijenih rezultata određivanja gustine
korišćenom metodom, može se smatrati da je preliminarno potvrđena pretpostavka dobijena testom
gorenja (prethodno istraživanje) prema kojem su uzorci izrađeni od PVC polimera. Uzorci se među-
sobno razlikuju prema gustini materijala, na koju znatno utiče prisustvo dodataka plastičnim masama
i plastifikatora. Može se smatrati da dobijena odstupanja gustine uzoraka u ispitivanoj seriji potiču
od razlike u sastavu i u strukturi ispitivanih materijala, što je u skladu sa pretpostavkama iz korišćene
literature.*

Ključne reči: *gustina nećelijskih čvrstih materijala; metoda uranjanja; PVC polimer; dodaci i
plastifikatori; preliminarna procena*

*In this work, the density of the series of solid, non-cellular, commercially usable and shaped
polymer materials (so-called plastics) was determined. The method of determining the density of non-
cellular polymeric materials (plastics) was applied in accordance with the international standard
ISO 1183-1: 2019, Part A: liquid immersion method. Based on the results of previous research, it
was assumed that the examined samples were made of polymer materials based on PVC (rigid or
flexible PVC), that is, PVC with various additives and/or plasticizers. Previous research included the
assessment of the type/type of plastic mass using the burning test as a rapid method of identification
of polymeric materials. It was also assumed that by applying the chosen method, results correspon-
ding to the density of PVC polymer with additives and/or plasticizers, which ranges from 1.44 to 1.48
g/cm³, will be obtained. The density of PVC polymer can vary in relation to the density of typical PVC*

Dragan Halas: <https://orcid.org/0009-0005-1426-0326>

Aleksandar Dedić: <https://orcid.org/0000-0001-6120-6414>

* Corresponding author: matildalazic@outlook.com

depending on the additives used, e.g. fillers, color stabilizers, printing, etc. and especially plasticizers. Based on the obtained results of density determination by the method used, it can be considered that the assumption obtained by the burning test (previous research) according to which the samples were made of PVC polymer has been preliminarily confirmed. The samples differ from each other according to the density of the material, which is significantly affected by the presence of additives to plastics and plasticizers. Preliminarily, it can be considered that the obtained deviations of the density of the samples in the examined series come from differences in composition and, consequently, in the structure of the examined materials, which is in accordance with the assumptions from the used literature.

Key words: *density of non-cellular solids; immersion method; PVC polymer; additives and plasticizers; preliminary assessment*

1. Uvod

Polivinilhlorid (u daljem tekstu: PVC) je komercijalni polimerni materijal današnjice i bliske budućnosti. PVC je termoplast, iz kojeg se komercijalno proizvode mnogobrojni proizvodi, primenljivi u svakodnevnom životu. PVC istovremeno, reprezentuje i tzv. popularnu plastiku [1] za industrijsku upotrebu, sa naglaskom na primenu u svojstvu konstrukcionih materijala u građevinarstvu. Plastične mase na bazi PVC proizvode se kompaundiranjem čistog polimera i mnogobrojnih dodataka i plastifikatora, u cilju podešavanja kvalitativnih svojstava nastalog materijala za specifičnu primenu [1-6]. Polimerni materijali na bazi PVC mogu biti neplastifikovani tzv. kruti i plastifikovani tzv. fleksibilni-meki [1,2,6] i u zavisnosti od toga, imaju različitu oblast primene. Primena krutog PVC uključuje: okvire/profile za prozore, cevi za vodu i druge fluide, delove za auto-industriju, krute ploče/listove za izradu rezervoara za fluide, itd. [1-6]. Primena fleksibilnog PVC uključuje primenu u medicini, izolaciju kablova za auto-industriju, membrane, fleksibilna creva za fluide u industriji i u građevinarstvu, izradu baštenskih creva za domaćinstva, itd. [1-6]. PVC takođe, reprezentuje izuzetno značajan ambalažni i materijal za pakovanje, koji je naročito zastupljen u prehrambenoj industriji [7]. Kruti PVC se duva u boce, oblikuje se u kutije/posude za ambalažiranje prehrambenih proizvoda, itd. Fleksibilni PVC se koristi za izradu: filmova, folija, listova za pakovanje prehrambenih proizvoda, itd. [5,6].

Određivanje gustine polimera nećelijske strukture na bazi PVC metodom uranjanja u tečnost, predstavlja jednostavnu standardnu metodu [8] za dobijanje podatka o gustini, kao osnovnom fizičkom svojstvu čvrstih polimernih materijala i podataka o strukturi materijala. Metoda se može koristiti i kao komplementarna metoda za dopunu procene vrste materijala metodama brze identifikacije polimernih materijala.

U ovom radu je izvršeno određivanje gustine serije čvrstih nećelijskih, komercijalno upotrebljivih i oblikovanih polimernih materijala (tzv. plastika). Primenjena je metoda određivanja gustine nećelijskih polimernih materijala (plastike) u skladu sa međunarodnim standardom ISO 1183-1:2019 [8], Deo A: Metoda uranjanja u tečnost [8]. Na osnovu rezultata prethodnih istraživanja, pretpostavljeno je da su ispitivani uzorci izrađeni pod polimernih materijala na bazi PVC (krutog ili fleksibilnog PVC [2]) odnosno, PVC polimera sa dodacima i/ili plastifikatorima. Prethodno istraživanje je obuhvatalo procenu vrste/tipa plastične mase korišćenjem testa gorenja u svojstvu brze metode identifikacije polimernih materijala [2]. Pretpostavljeno je da rezultati mogu korespondirati gustini PVC polimera sa dodacima i/ili plastifikatorima (a koja se kreće u intervalu od 1,44 - 1,48 g/cm³) [9]. Gustina polimera na bazi PVC može varirati [10,11] u odnosu gustinu tipičnog PVC u zavisnosti od korišćenih dodataka npr. filera, stabilizatora boje, štampe, itd. i naročito, plastifikatora [9,10,11].

2. Eksperimentalni deo

2.1. Materijal

Za određivanje gustine nečelijskih polimernih materijala (plastike) u skladu sa međunarodnim standardom ISO 1183-1:2019 [8], Deo A: Metoda uranjanja u tečnost [8], korišćena je serija od 5 uzoraka. Ispitivani su uzorci iskorišćene ambalaže za maslac (uzorak 1, uzorak 2, uzorak 3) i uzorci baštenskih creva (uzorak 4, uzorak 5) za koje je u prethodnom istraživanju [2] primenom testa gorenja (u svojstvu brze metode identifikacije polimernih materijala) procenjeno da su izrađeni od odgovarajućih tipova polimera na bazi PVC koji sadrže različite dodatke (Tabela 1 [2]). Nije preliminarno identifikovan/procenjen PVC u smislu čistog, tipičnog polimera [2].

Tabela 1. Izgled i preliminarna identifikacija tipa PVC polimera u ispitivanoj seriji uzoraka [2]

Uzorak	Predmet za ispitivanje	Vizuelni opis uzorka	Procena tipa PVC polimera sa dodacima [2]
Uzorak 1	Iskorišćena ambalaža od maslaca	Mlečno bela, neprozirna, bez štampe. Glatka, stabilna struktura	Tvrđi PVC
Uzorak 2	Iskorišćena posuda od maslaca	Oker obojena, neprozirna, bez štampe	Tvrđi PVC
Uzorak 3	Iskorišćena posuda od maslaca	Oker obojena, neprozirna, sa štamptom	Tvrđi PVC
Uzorak 4	Baštensko crevo za vodu	Nearmirano, glatko, fleksibilno, od dvobojnog materijala, bez štampe	Fleksibilni PVC
Uzorak 5	Baštensko crevo za vodu	Ojačano filamentom, dvobojno, bez štampe	Fleksibilni PVC

Standardana metoda ISO 1183-1:2019 [8] Deo A - Metoda uranjanja, specificira određivanje gustine čvrste, nečelijske plastike u formi bez šupljina u strukturi, koja je oblikovana u predmete ili je ekstudirana ili je u formi ljuspica/granula. Standardana metoda specificira da epruvete od uzoraka moraju biti prikladne veličine, tako da daju adekvatan razmak između uzorka i posude za uranjanje (tzv. potapanje u tečnost). Poželjno je da izmerena masa svake epruvete bude najmanje, 1 g [8]. Uzorci za ispitivanje (Tabela 1) pripremljeni su na navedeni način, u skladu sa zahtevom predmetnog standarda [8].

Prilikom sečenja epruveta iz uzoraka (Tabela 1.) osigurano je da se karakteristike materijala ne promene, skladu sa zahtevima standarda [8]. Površina uzetih uzoraka je bila glatka i bez šupljina kako bi se minimiziralo zarobljavanje mehurića vazduha pri uranjanju u tečnost [8]. Iz svakog uzorka (Tabela 1.) isečena je po jedna epruveta i izmerena joj je masa koja iznosi 1,0000 g.

U svojstvu tečnosti za uranjanje epruveta, korišćena je destilovana voda temperature 23°C u skladu sa zahtevima predmetnog standarda [8]. U skladu sa očekivanom gustinom epruveta ispitivanih uzoraka [9,10,11] i zahtevima predmetnog standarda [8] u pogledu izbora tečnosti za uranjanje, u ovom istraživanju je korišćena destilovana voda.

2.2. Metoda

U ovom radu je korišćena standardana metoda ISO 1183-1:2019 [8] Deo A - Metoda uranjanja.

U skladu sa predmetnim standardom [8], epruvete od uzoraka (Tabela 1.) izmerene mase 1,0000 g uronjene su pojedinačno, u sudove sa destilovanom vodom, na standardom propisan način [8], uz pomoć tanke žice i potapača (štapića). Obezbeđeno je potpuno uranjanje epruveta u destilovanu vodu. Temperatura destilovane vode iznosila je 23°C u skladu sa predmetnim standardom [8]. Nakon potapanja, izmerena je masa i izračunata je gustina - ρ_s (g/cm^3 , 23°C) uzoraka prema jednačini (1) [8]:

$$\rho_s = \frac{m_{SA} \cdot \rho_{IL}}{m_{SA} - m_{SIL}} \quad (1)$$

gde su:

m_{SA} - masa epruvete pojedinačnog uzorka pre potapanja, g

m_{SIL} - masa epruvete pojedinačnog uzorka uronjenog u destilovanu vodu, g

ρ_{IL} - gustina destilovane vode na 23°C ($\rho_{IL} = 0,9975 \text{ g/cm}^3$).

3. Rezultati i diskusija rezultata

Rezultati određivanja gustine serije uzoraka (Tabela 1.) metodom uranjanja u destilovanu vodu [8] prikazani su u Tabeli 2. Korišćene pretpostavke u ovom radu [9,10,11] za interval gustine PVC polimera sa različitim dodacima i/ili plastifikatorima, izvršena je procena vrste PVC polimera od kojih su izrađeni ispitivani uzorci. Nakon procene gustine, dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima prethodnog istraživanja [2].

Tabela 2. Rezultati određivanja gustine ispitivane serije uzoraka i procena vrste PVC polimera

Uzorak	Gustina uzorka, metodom uranjanja (g/cm^3 , 23°C)
Uzorak 1	1,3834
Uzorak 2	1,4522
Uzorak 3	1,4421
Uzorak 4	1,4779
Uzorak 5	1,4820

Može se smatrati da je uzorak 1 izrađen od PVC polimera sa dodacima i/ili plastifikatorima [9,10,11] što korespondira sa rezultatima prethodnog istraživanja [2]. Uzimajući u obzir komplementarnost brzih metoda analize [2] i predmetne standardne metode [8] može se smatrati da je uzorak 1 izrađen od tvrdog PVC polimera sa dodacima (npr. fileri, stabilizatori, itd.). Može se smatrati da je uzorak 1 izrađen od čvrstog PVC polimera, nećelijske strukture, koji sadrži seriju dodataka za plastične mase ali onih, koji mogu biti sadržani u krutom (neplastifikovanom) PVC. Predmetni rezultati potvrđuju korišćenu pretpostavku po kojoj dodaci i/ili plastifikatori izazivaju povećanje gustine nastalog polimernog materijala na bazi PVC u odnosu na tipičnu vrednost za čist PVC [10,11]. Prema dobijenim rezultatima, moglo bi se smatrati da će prisustvo dodataka značajno uticati na promenu kvalitativnih svojstava novonastalog polimernog materijala u odnosu na čist PVC [10,11].

Može se smatrati da je uzorak 2 izrađen od PVC polimera sa dodacima i/ili plastifikatorima [9,10,11] što korespondira sa rezultatima prethodnog istraživanja [2]. Uzimajući u obzir komplementarnost brzih metoda analize [2] i predmetne standardane metode [8] može se smatrati da je uzorak 2 izrađen od tvrdog PVC polimera sa dodacima (npr. fileri, stabilizatori, itd.). Može se smatrati da je uzorak 2 izrađen od čvrstog PVC polimera, nećelijske strukture, koji sadrži seriju dodataka za plastične mase ali onih, koji mogu biti sadržani u krutom (neplastifikovanom) PVC. Predmetni rezultati potvrđuju korišćenu pretpostavku po kojoj dodaci i/ili plastifikatori izazivaju povećanje gustine nastalog polimernog materijala na bazi PVC u odnosu na tipičnu vrednost za čist PVC [10,11]. Prema dobijenim rezultatima, moglo bi se smatrati da će prisustvo dodataka značajno uticati na promenu kvalitativnih svojstava novonastalog polimernog materijala u odnosu na čist PVC [10,11].

Može se smatrati da je uzorak 3 izrađen od PVC polimera sa dodacima i/ili plastifikatorima [9,10,11] što korespondira sa rezultatima prethodnog istraživanja [2]. Uzimajući u obzir komplementarnost brzih metoda analize [2] i predmetne standardane metode [8] može se smatrati da je uzorak 3 izrađen od tvrdog PVC polimera sa dodacima (npr. fileri, stabilizatori, itd.). Može se smatrati da je uzorak 3 izrađen od čvrstog PVC polimera, nećelijske strukture, koji sadrži seriju dodataka za plastične mase ali onih, koji mogu biti sadržani u krutom (neplastifikovanom) PVC. Predmetni rezultati potvrđuju korišćenu pretpostavku po kojoj dodaci i/ili plastifikatori izazivaju povećanje gustine nastalog polimernog materijala na bazi PVC u odnosu na tipičnu vrednost za čist PVC [10,11]. Prema dobijenim rezultatima, moglo bi se smatrati da će prisustvo dodataka značajno uticati na promenu kvalitativnih svojstava novonastalog polimernog materijala u odnosu na čist PVC [10,11].

Minimalne razlike u gustini uzoraka 1-3 (Tabela 2) mogu se protumačiti razlikama u vrsti odnosno, količini dodataka (npr. prisustvo jedne ili dve boje; manje ili veće količine štampe, i sl.) u plastičnoj masi ali i na razlike u strukturi i primenskim svojstvima materijala.

Može se smatrati da je uzorak 4 izrađen od PVC polimera sa dodacima i plastifikatorima [9,10,11] što korespondira sa rezultatima prethodnog istraživanja [2]. Uzimajući u obzir komplementarnost brzih metoda analize [2] i predmetne standardane metode [8] može se smatrati da je uzorak 4 izrađen od mekog PVC polimera sa dodacima (npr. fileri, stabilizatori, itd.) ali i sa plastifikatorom. Može se smatrati da je uzorak 4 izrađen od čvrstog PVC polimera, nećelijske strukture, koji sadrži seriju dodataka i plastifikatora koji se dodaju u meke plastične mase (u ciqu njihovog plastifikovanja i dobijanja različitih svojstava u odnosu na krute PVC materijale). Predmetni rezultati potvrđuju korišćenu pretpostavku po kojoj dodaci i plastifikatori izazivaju povećanje gustine nastalog polimernog materijala na bazi PVC u odnosu na tipičnu vrednost za čist PVC [10,11].

Može se smatrati da je uzorak 5 izrađen od PVC polimera sa dodacima i plastifikatorima [9,10,11] što korespondira sa rezultatima prethodnog istraživanja [2]. Uzimajući u obzir komplementarnost brzih metoda analize [2] i predmetne standardane metode [8] može se smatrati da se veoma verovatno, radi o kompozitnom materijalu na bazi mekog PVC sa filamentom. Uzorak 5 je nećelijske strukture. Mora se naglasiti da filament nije uklonjen pre određivanja gustine uzorka 5 da se ne bi remetila struktura uzorka, što je u skladu sa zahtevima korišćene, standardne merode [8]. Rezultati su pokazali da prisustvo filameta u uzorku 5, dodatno povećava gustinu materijala u odnosu na PVC polimer sa dodacima i plastifikatorima.

Na osnovu dobijenih rezultata u ovom istraživanju, može se smatrati da predmetna standardna metoda [8] i test gorenja [2] daju korespondirajuće rezultate.

Mora se naglasiti da rezultati dobijeni prethodnim istraživanjem [2] i rezultati dobijeni u ovom radu primenom preliminarnih, komplementarnih metoda, predstavljaju samo smernice u određivanju vrste

PVC polimera i mogućnosti njegove primene. Konačni rezultati na osnovu kojih se može vršiti pouzdana selekcija za primenu u praksi, mogu se dobiti jedino, primenom tzv. konačnih metoda analize.

4. Zaključak

Na osnovu dobijenih rezultata u ovom radu, može smatrati da su ispitivani uzorci (komercijalni proizvodi) od različitih tipova nečelijskog PVC polimernog materijala (uzorci 1-4). Uzorak 5 je veoma verovatno, izrađen od kompozitnog materijala na bazi mekog PVC sa filamentom. polimera sa različitim dodacima i/ili plastifikatorima.

Na komplementarnih rezultata prethodnog i istraživanja iz ovog rada, može se smatrati da ispitivani uzorci nisu izrađeni od čistog PVC već su dobijeni kompaundiranjem PVC sa nizom dodataka i/ili plastifikatora koji se koriste za dobijanje tzv. nove klase polimernih materijala pogodnih kvalitativnih svojstava iz ugla praktične primene. Ubacivane filamenta ojačava strukturu i proširuje mogućnost primene nastalog kompozita.

Dalji tok istraživanja bi mogao obuhvatati primenu tzv. konačnih metoda analize za identifikaciju vrste/tipa PVC materijala od kojih su izrađeni uzorci I shodno navedenom, određivanje uslova primene, i sl.

5. References

- [1] **Nuraini, A.S.**, Journal Review: Characteristics, Manufacture, Plasticizer, and Application of Polyvinylchloride (PVC), *Polymer-Plastics Technology and Engineering, Volume 4* (2020), issue 7, pp. 11-17.
- [2] **Lazić, M., Halas, D., Salemović, D., Dedić, A.**, *Primena testa gorenja za brzu identifikaciju tipova polimernih materijala na bazi PVC*, 34. Međunarodni kongres o procesnoj industriji (Processing 21) 3-4. jun 2021., Novi Sad, Zbornik radova, str. 77-83.
- [3] **Harper, C.A.**, Handbook of Plastics, Elastomers and Composites, fourth edition, McGraw-Hill Companies Inc, NY, NY, USA, 2002.
- [4] ***, *Polyvinyl Chloride PVC*, British Plastic Federation, 2020
- [5] **Baur, E., T. A. Osswald, N. Rudolph**, *Plastics Handbook, The Resource for Plastics Engineers*, Hanser, Munich, Germany, 2018.
- [6] ***, Key Areas of Applications of PVC Resin, Omnexus, 2024.
- [7] **McKeen, L.W.**, Plastic Films in Food Packaging (chapter 1, Introduction to Use of Plastic in Food Packaging), William Andrew, Norwich, NY, USA, 2013.
- [8] ***, Plastics — Methods for determining the density of non-cellular plastics - Part 1: Immersion method, ISO 1183-1: 2019 (Part 1), ISO, 2019.
- [9] ***, *Density of PVC Material, A Comprehensive Guide*, Plastic Ranger, 2023. Raspoloživo: <https://plasticranger.com/density-of-pvc/>. Pristupljeno februar 2024.
- [10] **Vujković, I., D. Stoiljković, S. Đilas**, *Brza identifikacija polimernih materijala*, Poli, Novi Sad, Republika Srbija, 2000.
- [11] **Braun, D.**, Simple Methods for Identification of Plastics (with the Plastic Identification Table by Saechtling H.), 5th edition, Hanser Publishers, Munich, Germany, 2013.