

Primena veštačkih neuronskih mreža za matematičko modelovanje uticaja sastava i uslova proizvodnje na svojstva PVC podnih obloga

Rajko M. Radovanović¹, Mirjana C. Jovičić², Oskar J. Bera², Jelena M. Pavličević², Branka M. Pilić², Radmila Ž. Radičević²

¹OOO JUTEKS RU, Kameshkovo, Russian Federation

²Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet Novi Sad, Srbija

Izvod

Mogućnost primene polivinilhloridnih (PVC) podnih obloga je određena krajnjim svojstvima koja zavise od sastava obloge i načina proizvodnje. Zbog složenog sastava i različitih načina pripreme PVC podnih obloga, veoma je teško tačno proceniti uticaj pojedinačnog procesnog parametara na svojstva dobijenog proizvoda. U ovom radu, proučavan je efekat različitih procesnih parametara (sastav PVC smeše, temperature i vremena ekspanzije), na mehanička svojstva PVC podnih obloga. Uticaj različitih ulaznih promenljivih na mehanička svojstva je uspešno određen primenom veštačkih neuronskih mreža sa optimizovanim brojem skrivenih neurona. Garson i Yoon modeli su primenjeni za izračunavanje i opisivanje doprinosa procesnih parametara u veštačkoj neuronskoj mreži.

Ključne reči: PVC podne obloge, mehanička svojstva, veštačke neuronske mreže.

Dostupno na Internetu sa adrese časopisa: <http://www.ache.org.rs/HI/>

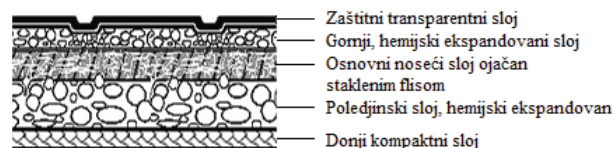
Penasti polimerni proizvodi se sastoje od velikog broja, relativno malih, gasom ispunjenih ćelija. Polimerne pene imaju veoma široku primenu zahvaljujući dobrim toplotnim svojstvima, dobroj zvučnoj, toplotnoj i električnoj izolaciji, relativno visokoj čvrstoći i malo gustini [1]. Najviše se upotrebljavaju u automobilske industriji, brodogradnji, avio industriji, industriji nameštaja i proizvodnji ambalaže. Međusobno se razlikuju prema fizičkim svojstvima, kao što su: specifična težina, tvrdoća, fleksibilnost, propustljivost gasova i para, upijanje vode, postojanost prema raznim hemijskim agensima, termoizolaciona i izolaciona svojstva zvuka. Od nabrojanih svojstava u najvećoj meri zavisi oblast primene penastih materijala. Uopšteno govoreći, polimerne pene veće gustine se koriste kao konstrukcioni materijali, u automobilske industriji i u proizvodnji transportnih sredstava, dok se polimerne pene manje gustine koriste za izolaciju i pakovanje [2–8].

Polimerne pene koje se koriste kao podni pokrivači nazivaju se penaste podne obloge. U osnovi radi se o dekorativnoj podlozi koja, pored estetskih zahteva treba da obezbedi različite funkcionalne zahteve kao što su: otpornost na gorenje, odvođenje statičkog elektriciteta, zvučna izolacija, toplotna izolacija, otpornost klizanju, otpornost abraziji, otpornost na kućne hemikalije, otpornost kretanju točkova sa različitim pritiskom i sl. Jasno je da jedan proizvod ne može zadovoljiti sve nabrojane zahteve. Stoga se za pojedinačne namene

proizvode različite heterogene podne obloge kod kojih se variraju konstrukcije, sirovinski sastav i tehnološki postupak proizvodnje.

Postupkom premazivanja polivinilhloridnog (PVC) plastisola i selektivnom ekspanzijom pena dobija se heterogena PVC (ili vinilna) podna obloga kao jedan od najviše upotrebljivanih PVC penastih proizvoda. Heterogena PVC obloga se najčešće sastoji iz pet slojeva prikazanih na slici 1:

1. donji, kompaktni sloj koji osigurava dodatnu čvrstoću proizvoda,
2. poleđinski hemijski ekspanđovan sloj zahvaljujući kojem je obezbeđena zvučna i toplotna izolacija,
3. osnovni noseći sloj ojačan staklenim vlaknima koji ne dozvoljava promene u dimenzijama i izgledu poda,
4. gornji hemijski ekspanđovan sloj sa odštampanom površinom, koji mu daje potrebnu elastičnost, reljefnu strukturu i dekorativni vizuelni efekat i
5. zaštitni, transparentni sloj koji predstavlja dodatnu zaštitu od habanja, cepanja i kidanja.



Slika 1. Šematski prikaz heterogene PVC podne obloge.
Figure 1. Schematic presentation of heterogeneous PVC floor coverings.

Tema istraživanja u okviru ovog rada je poleđinski, hemijski ekspanđovan sloj koji u najvećoj meri utiče na stepen ekspanzije proizvoda, mehanička svojstva, zvučnu

Prepiska: R.M. Radovanović, OOO JUTEKS RU, Kameshkovo, Russian Federation.

E-pošta: Rajko.Radovanovic@bintg.com

Rad primljen: 15. oktobar, 2015

Rad prihvaćen: 25. februar, 2016

NAUČNI RAD

UDK 678.743.2:692.53:004:51

Hem. Ind. 71 (1) 11–18 (2017)

doi: 10.2298/HEMIND151015012R

i toplotnu izolaciju, zaostalu deformaciju i povratnu elastičnost. Zbog složenog sastava i različitih tehnoloških uslova proizvodnje PVC podnih obloga, veoma je teško tačno proceniti uticaj pojedinačnog procesnog parametara na svojstva dobijenog proizvoda. U literaturi se može naći veliki broj radova u kojima se proučava uticaj sastava i načina pripreme na svojstva PVC penastih proizvoda [9–11]. U početnim istraživanjima proučavao se uticaj viskoznosti PVC paste na proces nastajanja penaste strukture [12]. U kasnijim istraživanjima ispitivan je uticaj gustine PVC proizvoda na mehanička svojstva, kao i tvrdoću uzoraka [13]. Utvrđeno je da se sa smanjenjem gustine dobijaju proizvodi lošijih mehaničkih svojstava [13]. Na svojstva proizvoda utiče i struktura ćelija pene [14]. Vreme i temperatura ekspanzije pene su od ključnog značaja za nastajanje pene [12]. Ako je temperatura suviše visoka može doći do intenzivne ekspanzije gasa, pri čemu dolazi do naglog ispenjavanja i nastajanja neujednačene morfologije ćelija pene, te je smanjen i kvalitet proizvoda [15]. Sa druge strane, ako je temperatura suviše niska, dekompozicija sredstva za ekspanziju je prespora, što može značajno da utiče na produktivnost, a i viskoznost plastisola je veoma visoka i otežana je difuzija gasa, što dovodi do smanjenja veličine ćelija, povećanja gustine pene, hrapavosti površine i ispenjavanja i nastajanja mehurova [16].

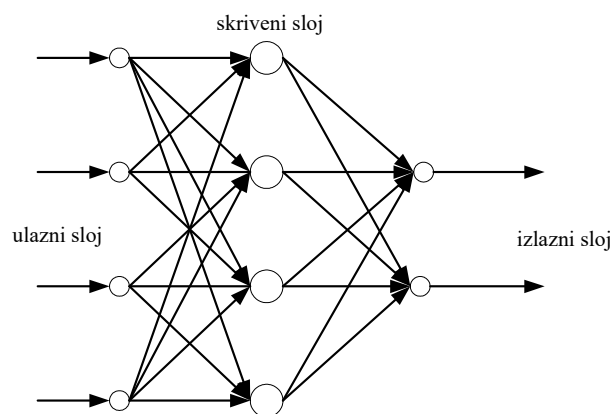
Da bi se snizila cena proizvoda u PVC paste se dodaju razna punila, najčešće kalcijumkarbonat (CaCO_3). Proučavan je uticaj dodatka CaCO_3 u tvrdim PVC pastama [17–19]. Ispitivanjem uticaja veličine čestica CaCO_3 na svojstva PVC pena [20] utvrđeno je da čestice manjih veličina omogućava efikasniju homogenizaciju smeše. Međutim, veće čestice utiču na poboljšanje topljivosti, dajući penu sa homogenom raspodelom veličina ćelija i sa manjim udelom otvorenih ćelija, tako da utiču na poboljšanje mehaničkih svojstava [20]. Uzorci koji sadrže zeolit, CaCO_3 ili celulozu imaju manju zapreminu pora, ali visoke vrednosti Jungovog modula elastičnosti u odnosu na uzorke bez punila [1]. Pri malim koncentracijama punila imaju ulogu agensa za nukleaciju te utiču na stvaranje pene, dok se pri visokim koncentracijama punila dobijaju tvrde PVC pene.

Predmet istraživanja u ovom radu je ispitivanje uticaja sastava polivinilhloridnih smeša i tehnoloških uslova proizvodnje na svojstva PVC penastih podnih obloga. Želelo se doći do saznanja o uticaju sastava PVC paste i uslova prerade (temperature i vremena ekspanzije poledinskog sloja PVC podne obloge) na pojedinačna svojstva penastog PVC proizvoda i postaviti model kojim bi se pokazalo sa kakvim recepturama i pri kojim procesnim uslovima se dobijaju finalni proizvodi željenih svojstava. Cilj je bio doći do saznanja i mogućnosti kontrolisanog uticaja na pojedina svojstva penastog materijala. Time bi se došlo do mogućnosti da se odgo-

voru na specifične zahteve, kao što su na primer ekstremno male gustine proizvoda radi uštede u materijalu, brze relaksacije posle deformacije, izrazite zvučne ili toplotne izolacije i sl.

Određivanje veštačke neuronske mreže

Neuronska mreža je sistem koji se sastoji od velikog broja međusobno povezanih, jednostavnih elemenata procesiranja koji rade paralelno [21,22]. Funkcija neuronske mreže je određena strukturom mreže, težinom veza i obradom u elementima procesiranja [23]. Veštačka neuronska mreža je sačinjena od međusobno povezanih neurona prema određenim pravilima. Jačina veze kojima su povezani neuroni se opisuje težinskim koeficijentima. Neuroni u mreži grupisani su u slojevima. U zavisnosti od uloge u mreži, slojevi mogu biti: ulazni – prima podatke iz okoline, izlazni – daje rezultate obrade i skriveni – nalaze se između ulaznog i izlaznog sloja. Nazivaju se skriveni, jer njihovi ulazi i izlazi nisu dostupni iz „spoljnog sveta“, već se koriste za interne veze. Složenije neuronske mreže mogu imati više skrivenih slojeva, povratne petlje i elemente za odlaganje vremena, koji su dizajnirani da omoguće što efikasnije odvajanje važnih svojstava ili šema sa ulaznog nivoa. Na slici 2 je prikazana struktura veštačke neuronske mreže sa tri sloja. Veze u mreži mogu da budu između neurona iz različitih slojeva ili između neurona iz istog sloja [23], a arhitekturu ili topologiju veštačke neuronske mreže predstavlja specifično uređenje i povezivanje neurona u obliku mreže.



Slika 2. Šematski prikaz višeslojne neuronske mreže.
Figure 2. Schematic presentation of a multilayer artificial neural network.

U literaturi se mogu pronaći radovi u kojima se koriste različite metode za formiranje arhitekture neuronske mreže za izgradnju optimalnog modela za bolje predviđanja procesa [21–24]. U ovom radu, formirana je standardna neuronska mreža sa tri sloja, u kojoj ulazni sloj čine čvorovi koji predstavljaju različite procesne parametre (sastav PVC smeše, temperatura i vreme ekspanzije), izlazni čvorovi su ispitivana svojstva

PVC podnih obloga, a broj skrivenih slojeva čvorova je određen tako da se dobije najbolja korelacija.

Da bi se odredio relativni doprinos uticaja ulaznih parametara na izlazne parametre korišćeni su modeli Garson [25] i Yoon [26]. Oba modela se zasnivaju na troslojnoj povratnoj neuronskoj mreži. Pretpostavljena je neuronska mreža sa I ulaznih jedinica, J skrivenih jedinica, K izlaznih jedinica. Jačina veza između ulaznih, skrivenih i izlaznih slojeva su označeni kao w_{ji} i v_{jk} , gde je $i = 1, \dots, I$, $j = 1, \dots, J$, i $k = 1, \dots, K$. Garson model za određivanje relativnog doprinosa prikazan je jednačinom (1), dok je Yoon model prikaza jednačinom (2):

$$Con_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^J |w_{ji}| |v_{jk}|}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J |w_{ji}|} \quad (1)$$

$$Con_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^J w_{ji} v_{jk}}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J |w_{ji} v_{jk}|} \quad (2)$$

gde su w_{ji} težine veza između promenljivih na ulazu, x_i i j -ti skriveni neuron, v_{jk} označava težinu veze između j -tog skrivenog neurona i izlaznog neurona y_k ; C_{ik} predstavlja relativni doprinos ulazne promenljive x_i na izlazni neuron y_k ; i i j su brojevi neurona ulaznog i skrivenog sloja, redom.

Veštačke neuronske mreže u programskom paketu

Matlab

U cilju fitovanja i predviđanja uticaja pojedinačnih procesnih parametara na svojstva PVC heterogene podne obloge korišćen je alat za neuronske mreže u programskom paketu Matlab pod nazivom *Neural Network Toolbox* (NNT). NNT nudi funkcije i aplikacije za modelovanje složenih nelinearnih sistema koji se ne mogu jednostavno prikazati u formi jednačine. Uz pomoć ovog alata mogu se dizajnirati, predstaviti i simulirati

neuronske mreže. NNT se može koristiti za fitovanje podataka, prepoznavanje šablona, grupisanje, predviđanje i dinamičko modelovanje i kontrolu sistema. NNT se poziva pomoću komande „*nntraintool*“ ili iz liste Matlab alatki. Komande koje su korišćene u cilju formiranja i učenja veštačke neuronske mreže su „*fitnet*“ i „*train*“. Funkcija *fitnet* se koristi za formiranje arhitekture mreže koja se koristi za fitovanje podataka i kao argument zahteva broj skrivenih slojeva, odnosno broj skrivenih neurona. Funkcija *train* vrši učenje, proveru i fitovanje neuronske mreže pomoću pripremljene i unesene matrice eksperimentalnih rezultata koji su podeljeni na ulazne i izlazne podatke. Nakon što su pripremljeni podaci, bilo je potrebno napisati Matlab programski kod koji učitava eksperimentalne vrednosti i pokreće NNT u cilju formiranja i optimizacije neuronske mreže. Kao rezultat navedenog programa dobija se: arhitektura mreže, stepen korelacije, regresioni dijagram formirane neuronske mreže, dijagram zavisnosti stepena korelacije od broja skrivenih neurona u neuronskoj mreži, funkcija neuronske mreže i uporedni prikaz izračunatih i eksperimentalnih podataka. Takođe, program daje relativne uticaje parametara primenjujući Garson i Yoon jednačine.

EKSPERIMENTALNI DEO

Sirovine

Za pripremu PVC paste upotrebljena su dva tipa PVC praha: Solvin 367F (Solvin, Tavaux) kao osnovni i Solvin 266SF (Solvin, Jemeppe-Sur-Sambre) kao pomoćni PVC prah. Karakteristike PVC prahova su date u tabeli 1. Solvin 367F je dobijen mikrosuspenzionom polimerizacijom i podesan je za pripremu plastisola od kojih se dobijaju penasti proizvodi sa visokim stepenom ekspanzije. Solvin 266SF dobijen je suspenzionom polimerizacijom, a koristi se da bi se poboljšalo reološko ponašanje tokom pripreme i procesa prerade plastisola.

Kao plastifikator upotrebljen je dioktilftalat, DOP (Rošaljska fabrika plastifikatora, Rošalj). Obojenost DOP po platino-kobaltnoj skali je niža od 40 jedinica Hazena, gustina na 20 °C je 0,982–0,986 g/cm³, kiselinski broj je niži od 0,07 mg KOH/g, saponifikacioni broj je 284–290

Tabela 1. Fizička i hemijska svojstva PVC prahova
Table 1. Physical and chemical properties of PVC powders

Svojstva	Solvin 367 NF	Solvin 266 SF	Standard	
K vrednost	67	66	ISO 1628-2	
Sito analiza	ostatak na 0,090 mm, %	≤ 0,5	ISO 1624	
		ostatak na 0,125 mm, %	≤ 0,05	ISO 1624
		ostatak na 0,125 mm, %	≤ 0,2	ISO 787-18
Sadržaj isparljivih materijala, %	≤ 0,3	≤ 0,3	ISO 1269	
Nasipna masa, kg/L	0,3–0,65	0,84	ISO 24538	
Ostatak VCM, mg/kg	≤ 1,0	≤ 1,0	ISO 1069	

mg KOH/g, temperatura paljenja je iznad 205 °C, specifični zapremski električni otpor je veći od $1,0 \times 10^{11}$ Ω cm, a maseni udeo isparljivih materijala je niži od 0,1%.

Kao punilo upotrebljen je kalcijumkarbonat, (CaCO₃, Omyacarb UM-40 (OMIA-URAL, Čeljabinsk)) sa veličinom čestica od 26 +/-5 μ m; maseni udeo CaCO₃ + MgCO₃ je iznad 98%, maseni udeo Fe₂O₃ je manji od 0,1%, maseni udeo soli nerastvornih u HCl je manji od 2%, maseni udeo ostatka na situ od 0,250 μ m je 0%, a maseni udeo vlage ne prelazi 0,2%.

Za hemijsko ekspaniranje poledinskog sloja PVC podne obloge upotrebljen je azodikarbonamid (ADC) sa visokim gasnim brojem, komercijalnog naziva Porofor ADC/M-C1 (Lanxess). U tabeli 2 su date osnovne karakteristike azodikarbonamida.

Cink-oksidi, ZnO, proizvođača Himpromkompleks, Dzeržinsk (BCOM), je upotrebljen u svojstvu „kikera“ (ubrzivača), tj. sredstva koje utiče na smanjenje temperature raspada azodikarbonamida. Maseni udeo ZnO je iznad 99,7%; maseni udeo PbO je manji od 0,01%; maseni udeo nerastvornih materijala u HCl je niži od 0,006%; ostatak na situ od 0,056 mm je niži od 0,01%; a na situ od 0,140 mm je 0%.

Titan-dioksid, TiO₂, je upotrebljen kao punilo i belilo, komercijalnog naziva Ti-Pure® R-103 Titanium Dioxide (DuPont): maseni udeo TiO₂ je najmanje 96%; maseni udeo Al₂O₃ je najviše 3,2%; gustina je 4,1 g/cm³; srednji prečnik čestica je 0,23 μ m; upijanje ulja je 14 g/100 g TiO₂; a pH je 6,5.

Za podešavanje viskoznosti upotrebljen je Viskobyk 4041 (BYK-Chemie GmbH, Wesel). Viskobyk 4041 je bezbojna tečnost, blagog mirisa, gustine 0,81 g/cm³ na 20 °C i temperature paljenja 106 °C, a temperatura očvršćavanja je -15 °C.

Kao disperzno sredstvo upotrebljen je Disperplast 1138 (BYK-Chemie GmbH, Wesel) koji utiče na raspored punila u plastisolu. Disperplast 1138 je svetlo žućkasta tečnost sa gustinom od 0,96 g/cm³ na 20 °C, temperatura paljenja je iznad 100 °C, a donja i gornja granična vrednost eksplozivnosti je 0,6 i 8,0 vol.%.

Priprema uzoraka

Pripremljeno je 27 različitih receptura, pri čemu su varirane: koncentracije kalcijumkarbonata (40, 70 i 100 phr); koncentracije sredstva za ekspaniranje, azodikarbonamida ADC (0,8, 1,0 i 1,2 mas. % u odnosu na ukupnu masu) kao i odnos ZnO/ADC (0,33, 0,50 i 0,67). Sirovine su umešavane u laboratorijskoj vakuum mešalici prema zadatoj recepturi. Nakon homogenizacije merene su viskoznost i gustina pripremljene smeše.

Da bi se proučio uticaj različitih procesnih parametara na svojstva PVC podnih obloga pored sastava PVC paste, menjani su i tehnološki uslovi proizvodnje: temperatura i vreme ekspaniranja PVC paste. Dobijena pasta se nanosi na silikonski papir, a potom predželira 30 s na 150 °C u peći. Predželirani uzorci su potom ekspanirani na pet različitih temperatura (180, 184, 188, 192 i 196 °C) i u tri različita vremenska perioda (90, 120 i 150 s). Na taj način je od svake PVC paste dobijeno 15 uzoraka, a pošto je pripremljeno 27 različitih receptura, ukupan broj uzoraka čija su svojstva određivana je 405.

U fabrici Beaulieu International Group (B.I.G.) u Rusiji određena su sledeća svojstva dobijenih PVC podnih obloga prema standardima koji se koriste u proizvodnji heterogenih PVC podnih obloga: stepen ekspanzije, zatezna sila pri kidanju (F_{max}), prekidna sila kidanja (F_{break}), zatezno izduženje pri F_{max} (dL_{max}), prekidno izduženje pri F_{break} (dL_{break}), ukupna deformacija (D_u), zaostala deformacija (D_z), povratna elastičnost (E), gustina pene i indeks žučanja ($I\check{Z}$).

Stepen ekspanzije je određen kao odnos debljine ekspaniranog uzorka i njemu odgovarajućeg predželiranog, ne ekspaniranog uzorka.

Mehanička svojstva ispitivanih uzoraka merena su na uređaju Zwick Roell Z005 sa kontrolisanom brzinom kretanja prema standardu EN 431. Određene su vrednosti: zatezna sila pri kidanju (F_{max}), prekidna sila kidanja (F_{break}), zatezno izduženje pri F_{max} (dL_{max}), prekidno izduženje pri F_{break} (dL_{break}).

Određivanje ukupne i zaostale deformacije kao i povratne elastičnosti rađeno je na uređaju Zwick 3106,

Tabela 2. Fizička i hemijska svojstva sredstva za ekspaniranje, azodikarbonamida (ADC)
Table 2. Physical and chemical properties of the blowing agent, azodicarbonamide (ADC)

Svojstva	Standard	Porofor ADC/M-C1
Srednja veličina čestica, μ m	POR 41b	3,9 ± 0,6
Sadržaj isparljivih materijala, %	POR 52	≤ 0,3
Sadržaj ADC, %	Bayer 107 D	99,3
Temperatura raspada, °C	KA 13 p	210
Ostatak pepela, %	POR 53	0,05
Gasni broj, mL/g	PAD 14	228
Gustina, g/cm ³	DIN ISO 787	1,65
pH vrednost	–	7,3
Nasipna masa, kg/L	ISO 24538	0,3–0,65

prema standardu EN 433. Ukupna deformacija (D_u) predstavlja udubljenje u materijalu izraženo u mm, koje je stvoreno pritiskom radnog tela uređaja za ispitivanje nakon 150 min. Zaostala deformacija (D_z) predstavlja vrednost udubljenja izraženu u milimetrima nakon 150 min relaksacije. Povratna elastičnost (E) je računata pomoću jednačine (3):

$$E = 100 \frac{D_u - D_z}{D_u} \quad (3)$$

Optičke karakteristike (a , b i L) iz kojih se izračunava vrednost indeksa žućenja, određene su na laboratorijskom spektrofotometru REV C, SpectroEye, X-rite. Indeks žućenja ($I\check{z}$) se računa po jednačini (4):

$$I\check{z} = 100 \frac{0,72a + 1,79b}{L} \quad (4)$$

ovde su: a – hromatska karakteristika boje (dijapazon od zelenog do purpurnog), b – hromatska karakteristika boje (dijapazon od plavog do žutog) i L – osvetljenost.

REZULTATI DOBIJENE VEŠTAČKE NEURONSKE MREŽE

Neuronske mreže su korišćene da bi se procenio uticaj različitih procesnih parametara na svojstva PVC podnih obloga. Proučavan je efekat sastava PVC plastisola i uslova proizvodnje na svojstva PVC podnih obloga. Pripremljeno je 27 različitih receptura, pri čemu su varirane: koncentracije kalcijum-karbonata, koncentracije sredstva za ekspanziranje, azodikarbonamida (ADC) kao i odnos ZnO/ADC. Da bi se proučio uticaj različitih procesnih parametara na svojstva PVC podnih obloga pored sastava PVC paste, menjani su i tehnološki uslovi proizvodnje: temperatura i vreme ekspanziranja PVC paste. U tabeli 3 su navedene sve ulazne promenljive koje su varirane i njihove vrednosti.

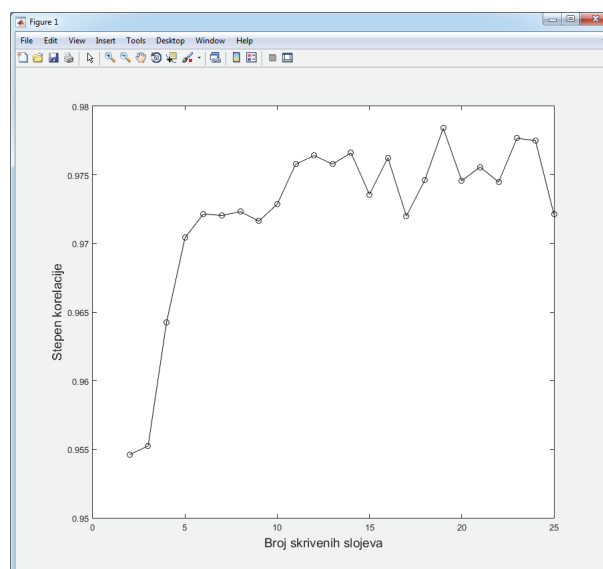
Prema standardima koji se koriste u proizvodnji heterogenih PVC podnih obloga određena su sledeća svojstva dobijenih PVC podnih obloga: stepen ekspanzije, F_{max} , F_{break} , dL_{max} , dL_{break} , D_u , D_z , E , gustina pene i $I\check{z}$. Određena svojstva predstavljaju izlazne podatke u neuronskoj mreži. Neuronske mreže su pogodne za obradu velikog broja podataka, kao što je u slučaju u ovom radu, gde su za svih 405 uzoraka određivana konačna svojstva.

Tabela 3. Ulazne promenljive u neuronskoj mreži
Table 3. Input variables in the artificial neural network

Ulazna promenljiva	Vrednost				
Koncentracija $CaCO_3$, phr	40	70	100		
Koncentracija ADC, mas. %	0,8	1,0	1,2		
Maseni odnos ZnO/ADC	0,33	0,50	0,67		
Vreme, s	90	120	150		
Temperatura, °C	180	184	188	192	196

U cilju pripreme dobijenih eksperimentalnih podataka, napravljena je tabela u kojoj se nalaze svi rezultati merenja koji su uneti u program Matlab. Modeli Garson [25] i Yoon [26] su primenjeni za izračunavanje i opisivanje doprinosa procesnih parametara u veštačkoj neuronskoj mreži. Napisan je originalni programski kod u programu Matlab koji omogućava formiranje neuronske mreže i njenu upotrebu u cilju fitovanja eksperimentalnih podataka.

Na slici 3 dobijenoj pomoću programa Matlab prikazana je zavisnost stepena korelacije, kao kvaliteta fitovanja, od broja skrivenih neurona u neuronskoj mreži. Može se uočiti da broj neurona ima značajan uticaj na stepen korelacije koji se kreće između 0,95 i 0,98. Pomoću napisanog programskog koda je pronađen broj skrivenih neurona pri kojem se postiže najveći stepen korelacije i taj broj je iznosio 19.

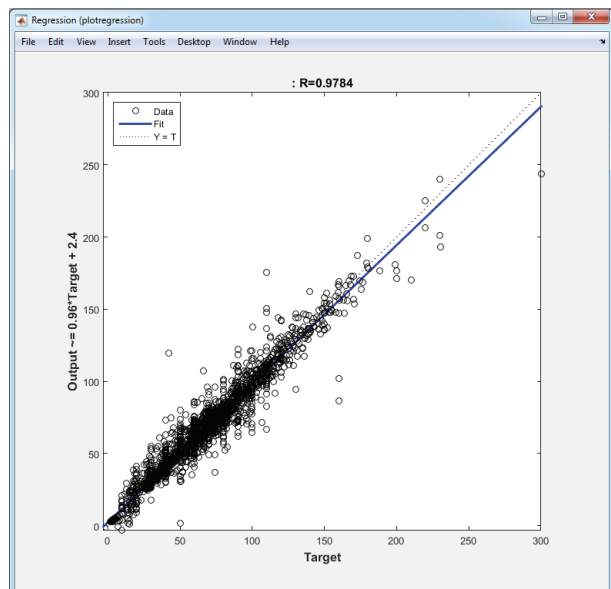


Slika 3. Zavisnost stepena korelacije od broja skrivenih neurona u neuronskoj mreži.

Figure 3. Dependence of the correlation degree on the number of hidden neurons in a neural network.

Kao jedan od rezultata koji daje fitovanje neuronskim mrežama jeste regresioni dijagram (slika 4). Ovaj dijagram daje poređenje eksperimentalnih podataka (Target) sa izlazima neuronske mreže (Output) i predstavlja kvalitet fitovanja. Isprekidana linija na dijagramu

je prava koja prolazi kroz koordinatni početak i ima nagib jednak jedinici, predstavlja potpuno slaganje, odnosno $R = 1$. Puna linija je prava koja predstavlja rezultat fitovanja. Može se uočiti veoma visok stepen korelacije od 0,9784, što pokazuje veoma uspešno fitovanje i predviđanje izlaza neuronske mreže.



Slika 4. Regresioni dijagram formirane neuronske mreže u Matlab program.

Figure 4. Regression plots of neural networks in Matlab.

Još jedan važan izlaz programskog koda za neuron-sku mrežu jeste funkcija koja omogućava da se unesu eksperimentalni parametri i izračunaju (predvide) izlazi,

odnosno svojstva PVC pena. Takođe, moguće je unosom željenih svojstava izračunati potrebne parametre pri proizvodnji PVC pena. Ova funkcija omogućava pristup optimizaciji celokupne proizvodnje penastih podnih obloga.

U tabelama 4 i 5 dati su rezultati dobijeni primenom Garson i Yoon modela u kojima je pokazan procentualni uticaj ulaznih parametara na svojstva heterogene PVC podne obloge. Kod obe metode se meri relativni doprinos svake ulazne promenljive na svaki od izlaznih podataka. Broj izlaznih čvorova u arhitekturi formirane neuronske mreže je zapravo broj ispitivanih svojstava. Prema tome, mere doprinosa će proceniti doprinos svake ulazne promenljive na svaku od izlaznih jedinica. Garson metoda stavlja veći naglasak na jačine veza od skrivenog ka spoljašnjem sloju, ali ne meri pravac uticaja [27]. Ovo je proizvelo neke probleme kod tumačenja veličine doprinosa Garson modela, jer pravac uticaja ulazne promenljive na izlaznu može da se razlikuje, a Garson model nam to ne pokazuje. Rezultati dobijeni primenom modela Garson nisu pogodni za određivanje uticaja sastava PVC smeše i uslova prerade na konačna svojstva proizvoda, jer ne pokazuju pravac uticaja.

U tabeli 5 je pokazano u kolikoj meri ulazni parametri utiču na ispitana svojstva gotovog proizvoda primenom veštačkih neuronskih mreža na osnovu Yoon-ovog modela. Stepenn ekspanzije PVC smeša je najvažnija karakteristika penastih proizvoda. Na osnovu dobijenih podataka primenom neuronskih mreža koje se zasnivaju na Yoon modelu može se uočiti da vrednosti stepena ekspanzije zavise i od temperature i vremena

Tabela 4. Uticaj ulaznih parametara na konačna svojstva primenom Garson modela

Table 4. The effect of input parameters on the final properties using Garson's model

Parametar	Stepen ekspanzije, %	F_{\max} %	F_{break} %	dL_{\max} %	dL_{break} %	D_u %	D_z %	E %	Gustina pena, %	IŽ %
Koncentracija kalcijum-karbonata	19,32	19,64	19,85	21,08	20,51	20,70	26,88	22,68	16,25	25,05
Koncentracija sredstva za ekspanziranje	18,01	18,11	18,17	20,40	20,11	18,95	22,32	19,76	15,82	22,06
Odnos ZnO/azodikarbonamid	18,57	14,37	17,95	20,68	20,70	16,87	17,04	15,57	17,19	17,97
Vreme penjenja	19,44	23,72	17,94	18,62	18,89	16,97	12,82	18,10	20,46	16,07
Temperatura penjenja	24,65	24,16	26,10	19,22	19,80	26,51	20,95	23,88	30,28	18,84

Tabela 5. Uticaj ulaznih parametara na konačna svojstva primenom Yoon modela

Table 5. The effect of input parameters on the final properties using Yoon's model

Parametar	Stepen ekspanzije, %	F_{\max} %	F_{break} %	dL_{\max} %	dL_{break} %	D_u %	D_z %	E %	Gustina pena, %	IŽ %
Koncentracija kalcijum-karbonata	8,73	-41,67	-20,10	-19,01	-19,78	5,29	21,23	0,98	-3,89	-5,71
Koncentracija sredstva za ekspanziranje	47,40	-36,65	-36,53	-29,48	-28,92	5,08	34,27	-31,19	-34,26	20,79
Odnos ZnO/azodikarbonamid	7,59	3,82	-11,71	-4,74	-5,61	26,29	9,28	20,59	-10,31	-46,26
Vreme penjenja	18,28	-15,82	-15,05	-16,89	-15,93	19,49	15,19	7,27	-21,07	2,12
Temperatura penjenja	18,01	2,04	-16,61	-29,89	-29,77	43,85	20,03	39,97	-30,46	-25,12

ekspandiranja, a ne samo od koncentracije azodikarbonamida. Porastom temperature i vremena penjenja dobijaju se uzorci većeg stepena ekspanzije, tabela 5. Na vrednosti prekidne sile kidanje negativan uticaj imaju sve ulazne promenljive, s tim da treba naglasiti da je, u ovom slučaju, dominantan uticaj koncentracije azodikarbonamida, kao i kalcijumkarbonata (tabela 5). Zatezna sila pri kidanju u najvećoj meri zavisi od udela kalcijum-karbonata u smeši, sa porastom udela kalcijum-karbonata u recepturi opadaju vrednosti zatezne sile pri kidanju. Sa porastom koncentracije sredstva za ekspanziranje zatezna sila pri kidanju opada. Ukupna deformacija uzorka je u najvećoj meri određena temperaturom ekspanziranja, i njene vrednosti rastu sa porastom temperature ekspanziranja, dok zaostala deformacija zavisi u najvećoj meri od koncentracije sredstva za ekspanziranje. Na povratnu elastičnost najveći uticaj ima temperatura ekspanziranja, dok je uticaj koncentracije kalcijum-karbonata veoma mali, kao i uticaj vremena ekspanziranja. Na vrednosti gustine dobijenih PVC obloga negativan uticaj ima porast svih ulaznih promenljivih, a u najvećoj meri zavisi od koncentracije sredstva za ekspanziranje i temperature na kojoj se vrši ekspanziranje. Indeks žućenja u najvećoj meri određuje odnos cinkoksida prema sredstvu za ekspanziranje.

Kada se sumiraju rezultati uticaja ulaznih parametara na svojstva PVC podnih obloga može se zaključiti da je taj uticaj veoma kompleksan. Zbog toga se u primeni dobijenih rezultata u praksi mora biti vrlo oprezan. Uvećanjem jednog od parametara, može se desiti, poboljšanje nekog svojstva, ali se ne sme sa tim preterivati, jer se nekontrolisano uvećanje može veoma negativno odraziti na neko drugo svojstvo.

Zahvaljujući napisanom programskom kodu za neuronsku mrežu dobijena je funkcija koja omogućava da se unesu eksperimentalni parametri i izračunaju (predvide) izlazi, odnosno svojstva PVC pena. Takođe, moguće je unosom željenih svojstava izračunati potrebne parametre pri proizvodnji PVC pena, tako da ova funkcija omogućava optimizaciju celokupne proizvodnje penastih podnih obloga, tj da se projektuju optimalne recepture i procesni uslovi u kojim je moguće dobiti proizvode željenih svojstava.

ZAKLJUČCI

Cilj rada je bio pronaći matematički model koji će opisati uticaj sastava i procesnih parametara na konačna svojstva PVC podne obloge. Rezultati eksperimentalnih merenja su opisani veštačkom neuronskom mrežom koja omogućava projektovanje uticaja pojedinačnih procesnih parametara na svojstva PVC heterogene podne obloge. Napisan je programski kod primenom Garson i Yoon modela u programu Matlab koji omogućava formiranje neuronske mreže i njenu upotrebu u

cilju fitovanja eksperimentalnih podataka. Kod oba modela se meri relativni doprinos svake ulazne promenljive na svaki od izlaznih podataka. Broj izlaznih čvorova u arhitekturi formirane neuronske mreže predstavlja broj ispitivanih svojstava. Rezultati dobijeni primenom modela Garson nisu pogodni za određivanje uticaja sastava PVC smeše i uslova prerade na konačna svojstva proizvoda, jer ne pokazuju pravac uticaja. Dobijena veštačka neuronska mreže koja se zasniva na Yoon modelu je uspešno primenjena u razvoju novih i poboljšanju postojećih svojstava heterogenih PVC proizvoda u fabrici Beaulieu International Group (B.I.G.) u Rusiji. Dobijenom neuronskom mrežom se mogu projektovati optimalne recepture i procesni uslovi u kojim je moguće proizvesti jeftinije proizvode sa istim ili poboljšanim svojstvima. To znači, da se naučnim metodama dolazi do saznanja koja uspešno primenjujemo u proizvodnji heterogenih podnih obloga.

Zahvalnica

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za finansijsku podršku (projekat III 45022).

LITERATURA

- [1] H. Demir, M. Sipahioğlu, D. Balköse, S. Ülkü, Effect of additives on flexible PVC foam formation, *J. Mater. Process. Tech.* **195** (2008) 144–153.
- [2] S.T. Lee, C.B. Park, N.S. Ramesh, *Polymeric Foams: Science and Technology*, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2007.
- [3] M.A. Rodríguez-Pérez, Crosslinked polyolefin foams: production, structure, properties, and applications, in *Crosslinking in Materials Science*, Vol. 184, Springer Berlin, 2005, pp. 97–126.
- [4] G. Holden, H.R. Kricheldorf, R.P. Quirk, *Thermoplastic Elastomers*, Cincinnati: Hanser, 2004.32/, in *Handbook of Polymer Foams*, D. Eaves, Ed., Rapra Technology Limited, Crewe, 2004.
- [5] *Handbook of Polymer Foams*, D. Eaves, Ed., Rapra Technology Limited, Crewe, 2004.
- [6] *Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology*, D. Klemmner, K.C. Frisch, Eds., Oxford University Press, New York, 1991.
- [7] J.L. Throne, *Thermoplastic Foams*, Sherwood Publishers, Hinckley, OH, 1996.
- [8] A.H. Landrock, *Handbook of Plastic Foams: Types, Properties, Manufacture and Applications*, William Andrew, NJ, 1996.
- [9] P.W. Jones, C.M. Lavender, Expanded vinyl flooring: a study of variables of foam formulations, *Fisons Industrial Chemicals*, March (ref. G/B/2), 1969.
- [10] V. Kumar, J.E. Weller, A Process to Produce Microcellular PVC, *Int. Polym. Proc.* **7** (1993) 73–80.
- [11] V. Kumar, J.E. Weller, R. Montecillo, Microcellular PVC, *J. Vinyl. Technol.* **14** (1992) 191–197.

- [12] Lj. Čvorkov, I. Popović, S. Veličković, K. Brankov, V. Vukovljak, The Dependence of Plastisol Quality on the Type of Poly(Vinyl Chloride) and Viscosity Regulator, *Acta Period. Technol.* **29–30** (1998) 97–104.
- [13] J. Patterson, Vinyl foam: Effect of density on physical properties, *J. Vinyl Addit. Technol.* **4** (1998) 26–29.
- [14] J.L. Pfenning, M. Ross, *Plastics Compounding*, in Proceedings of PVC '90, PRI Brighton, UK, 1990, pp. 88–89.
- [15] E.B. Rabinovitch, J.D. Isner, J.A. Sidor, D.J. Wiedel, Effect of extrusion conditions on rigid PVC foam, *J. Vinyl Addit. Technol.* **3** (1997) 210–215.
- [16] R. Radovanović, V. Jašo, B. Pilić, D. Stoiljković, Effect of PVC plastisol composition and processing conditions on foam expansion and tear strength, *Hem. Ind.* **68** (2014) 701–707.
- [17] L.G. Shaw, A.R. Diluciano, Effect of calcium carbonate and paraffin wax levels on the performance of PVC pipe, *J. Vinyl. Addit. Technol.* **5** (1983) 100–103.
- [18] K.K. Mathur, D.B. Vanderheiden, Precipitated Calcium Carbonates as Ultraviolet Stabilizers and Impact Modifiers in Poly(Vinyl Chloride) Siding and Profiles, *Polym. Sci. Technol. Polym. Addit.* **6** (1984) 371–389.
- [19] T.H. Ferrigno, E.J. Wickson, *Handbook of PVC Formulating*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1993.
- [20] B. Azimpour, F. Marchand, Effect of calcium carbonate particle size on PVC foam, *J. Vinyl Addit. Technol.* **12** (2006) 55–57.
- [21] J.C. Hoskins, D.M. Himmelblau, Artificial neural network models of knowledge representation in chemical engineering, *Comput. Chem. Eng.* **12** (1988) 881–890.
- [22] S. C. Wang, *Artificial Neural Network in Interdisciplinary Computing in Java Programming*, The Springer International Series in Engineering and Computer Science Vol. 743, 2003, pp. 81–100.
- [23] E.S. Elmolla, M. Chaudhuri, The Use of Artificial Neural Network (ANN) for Modelling, Simulation and Prediction of Advanced Oxidation Process Performance in Recalcitrant Wastewater Treatment, *Artificial Neural Networks – Application*, Dr. Chi Leung Patrick Hui, Ed., ISBN: 978–953–307–188–6, InTech, DOI: 10.5772/14920 (available from: <http://www.intechopen.com/books/artificial-neural-networks-application/the-use-of-artificial-neural-network-ann-for-modelling-simulation-and-prediction-of-advanced-oxidati>)
- [24] J. Moody, J. Utans, Architecture selection strategies for neural networks application to corporate bond rating, in: *Neural Networks in the Capital Markets*, A. Refenes (Ed.), Wiley, Chichester, 1995, pp. 277–300.
- [25] G.D. Garson, Interpreting neural network connection weights, *AI. Expert* **6** (1991) 47–51.
- [26] Y. Yoon, T. Guimaraes, G. Swales, Integrating artificial neural networks with rule-based expert systems, *Decis. Support Syst.* **11** (1994) 497–507.
- [27] Z. Huang, H. Chena, C.J. Hsua, W.H. Chenb, S. Wu, Credit rating analysis with support vector machines and neural networks: a market comparative study, *Decis. Support Syst.* **37** (2004) 543–558.

SUMMARY

THE USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR MATHEMATICAL MODELING OF THE EFFECT OF COMPOSITION AND PRODUCTION CONDITIONS ON THE PROPERTIES OF PVC FLOOR COVERINGS

Rajko M. Radovanović¹, Mirjana C. Jovičić², Oskar J. Bera², Jelena M. Pavličević², Branka M. Pilić², Radmila Ž. Radičević²

¹OOO JUTEKS RU, Kameshkovo, Russian Federation

²University of Novi Sad, Faculty of Technology Novi Sad, Serbia

(Scientific paper)

The application of PVC floor coverings is strongly connected with their end-use properties, which depend on the composition and processing conditions. It is very difficult to estimate the proper influence of the production parameters on the characteristics of PVC floor coverings due to their complex composition and various preparation procedures. The effect of different processing variables (such as time of bowling, temperature of bowling and composition of PVC plastisol) on the mechanical properties of PVC floor coverings was investigated. The influence of different input parameters on the mechanical properties was successfully determined using an artificial neural network with an optimized number of hidden neurons. The Garson and Yoon models were applied to calculate and describe the variable contributions in the artificial neural networks.

Keywords: PVC floor covering • Mechanical properties • Artificial neural network