



57. HRVATSKI I 57th CROATIAN AND
17. MEĐUNARODNI 17th INTERNATIONAL
SIMPOZIJ SYMPOSIUM
AGRONOMA ON AGRICULTURE

ZBORNIK |
RADOVA | PROCEEDINGS

19. – 24. lipnja 2022. | Vodice | Hrvatska
June 19 – 24, 2022 | Vodice | Croatia

57. HRVATSKI I 57th CROATIAN AND
17. MEĐUNARODNI 17th INTERNATIONAL
 SIMPOZIJ SYMPOSIUM ON
 AGRONOMA AGRICULTURE

19. – 24. lipnja 2022. | Vodice | Hrvatska

June 19 – 24, 2022 | Vodice | Croatia

ZBORNIK RADOVA | **PROCEEDINGS**

Vodice, 2022. godina

Izdavač | Published by **Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**

Za izdavača | Publisher **Krunoslav Zmaić**

Glavni urednici | Editors in Chief **Ivana Majić
Zvonko Antunović**

Oblikovanje | Design by **Ras Lužaić**

Tisak | Print by **Grafika d.o.o.**

ISSN **2459-5543**

**Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
i**

Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Agronomski i prehrambeno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Mostaru, Bosna i Hercegovina

Akademija poljoprivrednih znanosti

Association for European Life Science Universities (ICA)

Balkan Environmental Association (B.EN.A)

Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani, Slovenija

European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng)

Fakulteta za kmetijstvo in biosistemsko vede, Univerza v Mariboru, Slovenija

Hrvatska agencija za poljoprivredu i hranu

Hrvatska agronomска комора

Hrvatsko agronomsko društvo

Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Sveučilište u Slavonskom Brodu

The International Soil Tillage Research Organization (ISTRO)

Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară a Banatului "Regele Mihai I al României" din Timișoara

Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

pod pokroviteljstvom

Ministarstva znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske

Ministarstva poljoprivrede Republike Hrvatske

Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske

u suradnji s

Bc Institutom za oplemenjivanje i proizvodnju bilja, Zagreb

Brodsko-posavskom županijom

Društvom agronoma Osijek

Gradom Osijekom

Gradom Požegom

Gradom Slavonskim Brodom

Gradom Vinkovcima

Gradom Vodicama

Hrvatskim lovačkim savezom, Zagreb

Hrvatskom gospodarskom komorom, Zagreb

Institutom za jadranske kulture i melioraciju krša, Split

Institutom za poljoprivredu i turizam, Poreč

Nutricin j.d.o.o. Darda

Osječko-baranjskom županijom

Poljoprivrednim institutom Osijek

Sveučilištem u Splitu

Šibensko-kninskom županijom

Turističkom zajednicom Osječko-baranjske županije

Veleučilištem u Požegi

Visokim gospodarskim učilištem u Križevcima

Vukovarsko-srijemskom županijom

organiziraju

57. hrvatski i 17. međunarodni simpozij agronoma

od 19. do 24. lipnja 2022., Vodice, Hrvatska



**Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
and**

Faculty of Agriculture University of Zagreb

Academy of Agricultural Sciences

Association for European Life Science Universities (ICA)

Balkan Environmental Association (B.EN.A)

Banat's University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine "King Michael I of Romania"

Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, Slovenia

Croatian Agency for Agriculture and Food

Croatian Chamber of Agronomists

Croatian Society of Agronomy

European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng)

Faculty of Agriculture and Food Technology, University of Mostar, Bosnia and Herzegovina

Faculty of Agriculture and Life Sciences, University of Maribor, Slovenia

Faculty of Food Technology Osijek, Croatia

Faculty of Veterinary Medicine University of Zagreb

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

The International Soil Tillage Research Organization (ISTRO)

University of Slavonski Brod

under the auspices of the

Ministry of Science and Education of the Republic of Croatia

Ministry of Agriculture of the Republic of Croatia

Ministry of Economy and Sustainable Development of the Republic of Croatia

in collaboration with

Agricultural Institute Osijek

Bc Institute for Breeding and Production of Field Crops, Zagreb

Brod-Posavina County

City of Osijek

City of Požega

City of Slavonski Brod

City of Vinkovci

City of Vodice

College of Agriculture in Križevci

County of Šibenik-Knin

Croatian Chamber of Economy

Croatian Hunting Federation

Institute for Adriatic Crops and Karsts Reclamation, Split

Institute of Agriculture and Tourism, Poreč

Nutricin j.d.o.o. Darda

Osijek-Baranja County

Polytechnic in Požega

Society of Agronomy, Osijek

Tourist association Osijek-Baranja County

University of Split

Vukovar-Srijem County

organize

57th Croatian & 17th International Symposium on Agriculture

June 19 - 24, 2022, Vodice, Croatia



Organizacijski odbor **Organizing Committee**

Predsjednik | Chairman

Krunoslav Zmaić, Croatia

Članovi | Members

Ivica Kisić, Croatia

Ivan Ostojić, Bosnia and Herzegovina

Stjepan Pliestić, Croatia

Arthur Mol, Netherlands

Mariana Golumbeanu, Romania

Nataša Poklar Ulrih, Slovenia

Peter Groot Koerkamp, Netherlands

Branko Kramberger, Slovenia

Josip Haramija, Croatia

Jurislav Babić, Croatia

Vlado Guberac, Croatia

Ivan Samardžić, Croatia

Nenad Turk, Croatia

Radovan Fuch, Croatia

Marija Vučković, Croatia

Davor Filipović, Croatia

Ivica Ikić, Croatia

Danijel Marušić, Croatia

Romeo Jukić, Croatia

Ivan Radić, Croatia

Željko Glavić, Croatia

Mirko Duspara, Croatia

Ivan Bosančić, Croatia

Ante Cukrov, Croatia

Darja Sokolić, Croatia

Luka Burilović, Croatia

Katja Žanić, Croatia

Dean Ban, Croatia

Ivan Anušić, Croatia

Zvonimir Zdunić, Croatia

Dragan Ljutić, Croatia

Ivana Jurić, Croatia

Borislav Miličević, Croatia

Marijana Ivanek-Martinčić, Croatia

Damir Dekanić, Croatia

Blair M McKenzie, Great Britain

Cosmin Alin Popescu, Romania

Znanstveni odbor **Scientific Committee**

Predsjednici | Chairmans

Ivana Majić, Croatia

Zvonko Antunović, Croatia

Članovi | Members

Ricardo Antunes de Azevedo, Brazil

Kristina Batelja Lodeta, Croatia

Božidar Benko, Croatia

Ivica Bošković, Croatia

Krešimir Bošnjak, Croatia

Klaudija Carović-Stanko, Croatia

Mato Drenjančević, Croatia

Maja Ferenčaković, Croatia

Ante Galić, Croatia

Ivanka Habuš Jerčić, Croatia

John Hancock, Great Britain

Dario Ilkić, Croatia

Florin Imbreia, Romania

Ana-Marija Jagatić Korenika, Croatia

Danijel Jug, Croatia

Goran Jukić, Croatia

Tomislav Karažija, Croatia

Antonis K. Kokkinakis, Greece

Jelena Kristić, Croatia

Josip Novoselec, Croatia

Raul Pașcalău, Romania

Sonja Petrović, Croatia

Maria Popa, Romania

Isidora Radulov, Romania

Laura Șmuleac, Romania

Ana Josefa Soler Valls, Spain

Tea Tomljanović, Croatia

Tomislav Vinković, Croatia

Edward Wilczewski, Poland

Vladimir Zebec, Croatia

Domagoj Zimmer, Croatia

Tajnici - Secretaries

Tihomir Florijančić, Croatia

Jurica Jović, Croatia

PREGLEDNI RAD

Umjetne neuronske mreže kao statistički alat u predviđanju donje ogrjevne vrijednosti biomase

Ivan Brandić¹, Anamarija Peter¹, Jona Šurić¹, Lato Pezo², Neven Voća¹

¹Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetosimunska cesta 25, Zagreb, Hrvatska
(ibrandic@agr.hr)

²Sveučilište u Beogradu, Institut za opštu i fizičku hemiju, Beograd, Srbija

Sažetak

Pri korištenju biomase kao sirovine za proizvodnju goriva i toplinske energije, potrebno je odrediti njegina energetska svojstva. Primjenom modela umjetnih neuronskih mreža moguće je s velikom točnošću predvidjeti donju ogrjevnu vrijednost pojedinih energetskih kultura, čime se olakšava pronalaženje optimalnog rješenja. Sposobnost samoorganizacije, optimiziranog učenja i visoke tolerancije na pogreške neuronskim mrežama omogućuje pouzdano i precizno izračunavanje donje ogrjevne vrijednosti biomase. Ispravnom konfiguracijom mreže i prikupljanjem podataka, modeli umjetnih neuronskih mreža mogu se koristiti za predviđanje donje ogrjevne vrijednosti u realnom vremenu.

Ključne riječi: biomasa, ogrjevna vrijednost, umjetne neuronske mreže.

Uvod

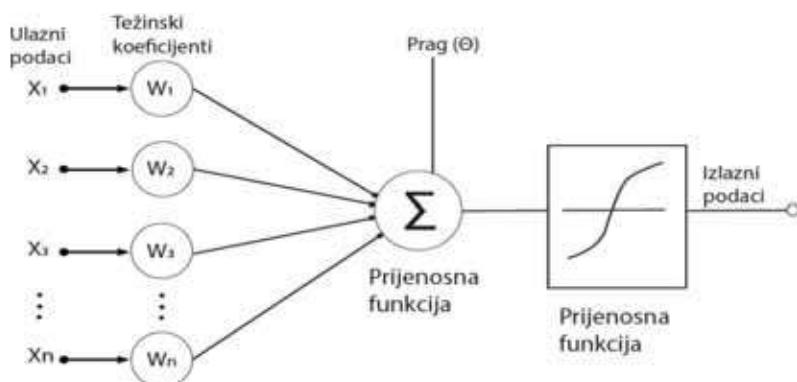
Ogrjevna vrijednost goriva važno je svojstvo koje definira energetski sadržaj sirovine. Donja ogrjevna vrijednost definirana je kao energija koja se oslobađa po jedinici mase ili volumena pri potpunom izgaranju, a obično se izražava u megadžulima po kilogramu (MJ/kg) (Ghugare i sur., 2014.). Pomoću već razvijenih matematičkih modela za predviđanje moguće je proučiti učinak pojedinih varijabli u sustavu te utvrditi njihovu povezanost sa krajnjim rezultatom. Za razliku od navedenih modela, umjetne neuronske mreže (*eng. Artificial Neural Networks*) pokazuju veliku učinkovitost u modeliranju kompleksnih procesa uvjetovanih velikim brojem varijabli (Izadifar i Demneh, 2006.). Nakon odabira odgovarajućih ulaznih podataka, umjetne neuronske mreže imaju sposobnost ispravno generalizirati podatke te ih prilagoditi ukoliko su nepotpuni. Građa modela umjetnih neuronskih mreža uključuje nekoliko organiziranih slojeva između kojih se odvijaju matematičke operacije. Poput ljudskog mozga neuronske mreže se treniraju iskustvom i stvaranjem obrasca kojim je najlakše izračunati željeni izlaz. Za testiranje točnosti modela neuronskih mreža potrebno je usporediti eksperimentalne rezultate sa rezultatima dobivenim putem modela (Kartal i Ozveren, 2020.).

Princip rada umjetnih neuronskih mreža u određivanju donje ogrjevne vrijednosti

Za racionalno iskorištavanje biomase energetskih kultura potrebno je poznavati njihova energetska svojstva. Mjerenje donje ogrjevne vrijednosti je postupak koji zahtjeva posebnu pripremu uzorka kako bi se smanjila mogućnost pogreške. Za predviđanje donje ogrjevne vrijednosti uglavnom se koriste već razvijeni matematički modeli. Odnos između varijabli korištenih za predviđanje donje ogrjevne vrijednosti sugerira nelinearne međusobne odnose, stoga se razvijanje nelinearnih modela smatra primjerenijim u predviđanju (Ghugare i sur., 2014.). Postoji međusobna povezanost između donje ogrjevne vrijednosti i razvijenih matematičkih modela temeljenih na elementnoj analizi organskih tvari te analizama gorivih i negorivih tvari biomase. Matematički modeli koji obuhvaćaju međusobnu povezanost

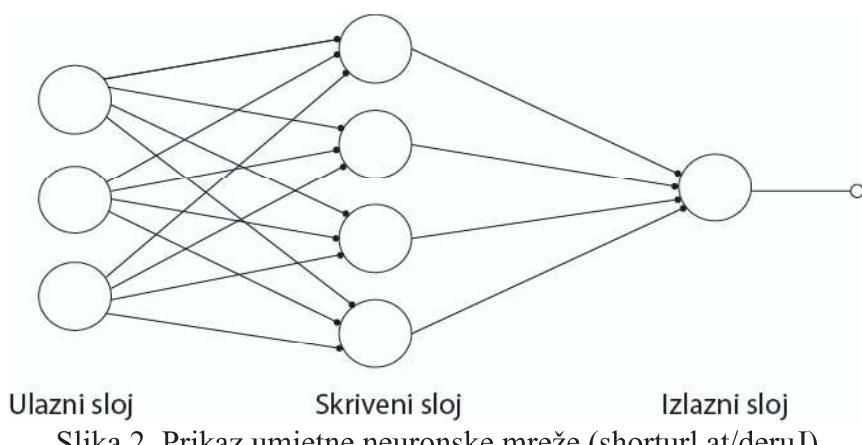
navedenih analiza i donje ogrjevne vrijednosti su jednostavni i pružaju brzo, ali ponekad i netočno predviđanje.

Umjetne neuronske mreže su sustavi koji obrađuju podatke na sličan način kao neuroni u ljudskom mozgu, gdje se umjetni neuroni povezuju različitim geometrijskim vezama (Staub i sur., 2015.). Osnovne značajke umjetnih neuronskih mreža su sposobnost samostalnog učenja, mogućnost prilagodbe sustava s obzirom na dostupne informacije te obrada podataka i složenih matematičkih operacija velikom brzinom. Pod učenjem umjetne neuronske mreže podrazumijeva se iterativni postupak podešavanja vrijednosti težinskih faktora na osnovu pogreške između proračunate vrijednosti modela i stvarne vrijednosti mjerne veličine (Andrijić i Bolf, 2019.). Umjetne neuronske mreže izračunavaju pomoću statističkih teorija učenja koje su metode prikladne za rješavanje izračuna nelinearnih modela te uspostavljanja odnosa između ulaznih varijabli i izlaznih podataka. Prema Ujević Andrijić i Bolf (2019.), umjetni neuroni primaju ulazne podatke koji su određeni težinskim koeficijentima nakon čega se podaci obrađuju pomoću unutarnjeg praga (*eng. bias*). Prijenosnom funkcijom dobiveni podaci se šalju prema izlazu i sljedećim neuronima.



Slika 1. Prikaz umjetnog neurona (shorturl.at/kAS18)

Postoji više različitih vrsta neuronskih mreža no u primjeni za izračunavanje nelinearnih modela je najučinkovitija višeslojna perceptron neuronska mreža (*eng. Multilayer Perceptron Neural Network*) (Pattanayak i sur., 2021). Višeslojna mreža sastoji se od tri sloja: ulaznog, skrivenog i izlaznog sloja (Slika 2.) (Svaki sloj se sastoji od niza neurona a veze između neurona određene su pomoću težinskih koeficijenata. Optimizacijom težinskih koeficijenata među neuronima računa se krajnji željeni izlaz (Pattanayak i sur., 2021.). Osnovne značajke umjetnih neuronskih mreža opisani su u tablici 1.



Slika 2. Prikaz umjetne neuronske mreže (shorturl.at/deruJ)

Tablica 1. Značajke umjetnih neuronskih mreža (Staub i sur., 2015.)

Značajka	Opis
Nelinearni modeli	Mogućnost rješavanja složenih nelinearnih zadataka.
Tolerancija pogreške	Ravnomjerna raspodjela zadataka unutar sustava.
Trening sustava	Sposobnost prilagodbe u svrhu rješavanja problema.
Učenje	Prilagođavanje opterećenja pomoću algoritama.
Generalizacija	Stvaranje željenog odgovora tokom procesa učenja.

Osnovna jednadžba za računanje izlaznih podataka u neuronskoj mreži:

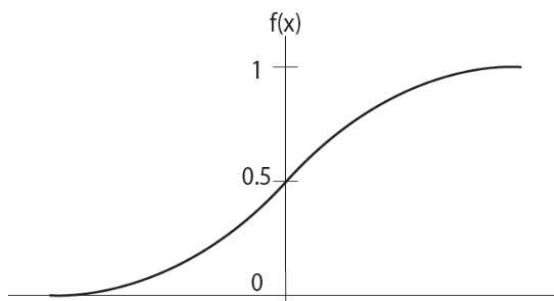
$$Y = f_1(W_2 \cdot f_2(W_1 \cdot X + B_1) + B_2$$

Y izlazni vektor; X ulazni vektor, W1 težinski vektor između skrivenog i ulaznog sloja; B1 vektor pristranosti (eng. bias) skrivenog sloja, W2 težinski vektor između izlaznog i skrivenog sloja, B2 vektor pristranosti skrivenog sloja.

Prema Bašić i sur. (2008.) najčešći oblik prijenosne funkcije jest sigmoidalna funkcija (slika 3). Sigmoidalna funkcija je derivabilna, što predstavlja bitnu prednost pri postupku učenja neuronske mreže. Sigmoidalna funkcija je definirana kao:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

U posljednje vrijeme umjetne neuronske mreže se sve više koriste kao alat za predviđanje jer modeli umjetnih neuronskih mreža mogu predvidjeti donju ogrjevnu vrijednost biomase sa velikom točnošću.

Slika 3. Sigmoidalna (logistička) funkcija (shorturl.at/kEQU6)

Predviđanje donje ogrjevne vrijednosti pomoću umjetnih neuronskih mreža

Çakman i sur. (2021.) su u istraživanju razvili model umjetnih neuronskih mreža za predviđanje donje ogrjevne vrijednosti biougljena. Usporedbom dobivenih podataka sa rezultatima dobivenim preko već razvijenih empirijskih modela, model umjetne neuronske mreže pokazao je veliku točnost. Također Estiati i sur. (2016.) prikazuju mogućnost korištenja modela umjetnih neuronskih mreža u procjeni donje ogrjevne vrijednosti. Dokazano je da model prikazuje zadovoljavajuću korelaciju i izlazne podatke. Za razliku od primjenjenih empirijskih modela, pojednostavljaju prikaz i strukturu podataka. Iako korišteni nelinearni modeli i modeli neuronskih mreža koriste iste principe podešavanja pojedinih parametara, učinak neuronskih mreža je bio viši.

Patel i sur. (2006.) navode da su postojeći modeli temeljeni na analizama elemenata ili gorivih tvari linearog karaktera. Kroz istraživanje primjećuje se nelinearan odnos ulaznih podataka sa krajnjim rezultatom. Razvijeni modeli umjetnih neuronskih mreža za predviđanje ogrjevnih vrijednosti jasno prikazuju točnost pri predviđanju i generalizaciji

podataka. Uspoređujući navedeni modeli s tri linearna modela autori su dokazali da modeli neuronskih mreža s većom točnošću izračunavaju izlazne podatke.

Kartal i Ozveren (2020.) koriste model umjetnih neuronskih mreža za procjenu donje ogrjevne vrijednosti sintetskog plina dobivenog iz biomase. Kroz istraživanje dokazano je da modeli procjenjuju donju ogrjevnu vrijednost sa visokom točnošću ukoliko model koristi dovoljan broj podataka za treniranje mreže.

Pandey i sur. (2016.) u istraživanju koriste modele umjetne neuronske mreže za predviđanje donje ogrjevne vrijednosti, gdje krajnji rezultati pokazuju da se prediktivna izvedba modela dobro slaže s eksperimentalnim skupovima podataka, čime se dokazuje da se neuronske mreže mogu koristiti kao alternativna metoda za modeliranje složenih procesa predviđanja. U istraživanju koje su proveli Patel i sur. (2007.) razvijeno je sedam različitih nelinearnih modela neuronskih mreža. Rezultati navedenog istraživanja jasno prikazuju točnost pri predviđanju i simplifikaciji podataka. Također, usporedbom modela neuronskih mreža sa linearnim modelima koji koriste iste podatke, prikazana je veća preciznost i točnost modela neuronskih mreža.

Prema Ozveren (2016.) podaci dobiveni laboratorijskim analizama mogu se koristiti kao ulazne varijable za razvoj modela umjetnih neuronskih mreža. Model je pri predviđanju energetskih vrijednosti koristio ulazne podatke udjela fiksiranog ugljika, hlapive tvari i pepela te je pokazao zadovoljavajuće izlazne vrijednosti.

Postojeći empirijski modeli za procjenu uglavnog daju zadovoljavajuće rezultate te se koriste gdje je nemoguće eksperimentalno odrediti donju ogrjevnu vrijednost. No radi svoje stope pogreške nisu povoljni za točno određivanje vrijednosti. Najčešće se koristi umjetna neuronska mreža sa algoritmom unazadne propagacije radi jednostavne implementacije (Mousavian i sur., 2012.).

Zaključak

Ispitivanjem energetskih svojstava biomase određuje se mogućnost iskorištenja biomaterijala u smislu pretvorbe u energiju pri čemu su utvrđene razlike u sadržaju energije po jedinici mase za različitu biomasu. Razvojem sustava nelinearnih modela poput umjetnih neuronskih mreža izlazni podaci se mogu dobiti sa većom preciznošću. U usporedbi sa već korištenim metodama predviđanja, umjetne neuronske mreže mogu pojednostavljeno predvidjeti donju ogrjevnu vrijednost biomase. Najčešće se koriste u donošenju odluka, identifikaciji, kontroli pojedinih sustava i predviđanju. Među brojnim drugim prednostima, umjetne neuronske mreže mogu podnijeti obradu nepotpunih podataka. Nakon što model uspostavi obrazac, može obavljati složene podatke poput predviđanja, modeliranja i optimizacije. Modeli umjetne inteligencije u vidu neuronskih mreža radi svoje točnosti imaju potencijal zamijeniti postojeće empirijske modele razvijene za predviđanje donje ogrjevne vrijednosti.

Napomena

Ovo istraživanje financirala je Hrvatska zaklada za znanost u okviru projekta br. IP-2018-01-7472, „Zbrinjavanje mulja kroz proizvodnju energetskih kultura“ u okviru projekta „Projekt razvoja karijera mladih istraživača – izobrazba novih doktora znanosti“ uz sufinanciranje od strane Europske unije, u okviru OP „Učinkoviti ljudski potencijali 2014-2020“ iz sredstava ESF-a.

This research was funded by the Croatian Science Foundation (HRZZ) under project No. IP-2018-01-7472 „Sludge management via energy crops‘ production“, and within the project “Young Researchers‘ Career Development Project – Training of Doctoral Students”, co-financed by the European Union, under the OP “Efficient Human Resources 2014-2020” from the ESF funds.

Literatura

- Bašić B. D., Čupić M., Šnajder J., (2008). Umjetne neuronske mreže, Umjetna inteligencija, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2008).
- Çakman G., Gheni S., Ceylan S. (2021). Prediction of higher heating value of biochars using proximate analysis by artificial neural network. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 1-9.
- Estiati I., Freire F., Freire J., Aguado R., Olazar M. (2016). Fitting performance of artificial neural networks and empirical correlations to estimate higher heating values of biomass. *Fuel*. 180: 377-383. j.fuel.2016.04.051.
- Ghugare S.B., Tiwary S., Elangovan V., Tambe S.S. (2014). Prediction of Higher Heating Value of Solid Biomass Fuels Using Artificial Intelligence Formalisms. *BioEnergy Research*. 7: 681–692.
- Izadifar M., Demneh F. (2006). Comparison between neural network and mathematical modeling of supercritical CO₂ extraction of black pepper essential oil. *The Journal of Supercritical Fluids*. 35: 37.
- Kartal F., Özveren U. (2020). A deep learning approach for prediction of syngas lower heating value from CFB gasifier in Aspen plus®. *Energy*, Elsevier, 209.
- Mousavian, M. , Mofrad, M. , Vakili, M. , Ashouri, D. , Alizadeh, R. (2012), 'Investigation of Artificial Neural Networks Performance to Predict Net Heating Value of Crude Oil by Its Properties', *International Journal of Chemical and Molecular Engineering*, 6 (12): 1180-1184.
- Ozveren U. (2017). An artificial intelligence approach to predict gross heating value of lignocellulosic fuels. *Journal of the Energy Institute*. 90(3): 397-407.
- Pandey D.S., Das S., Pan I., Leahy J.J., Kwapinski W. (2016). Artificial neural network based modelling approach for municipal solid waste gasification in a fluidized bed reactor. *Waste Management*. 58: 202-213.
- Patel S., Kumar B., Badhe Y., Sharma B.K., Saha S., Biswas S., Chaudhury A., Tambe, S., Kulkarni B. (2007). Estimation of gross calorific value of coals using artificial neural networks. *Fuel*. 86: 334-344.
- Pattanayak S., Loha C., Hauchhum L., Lalsangzela S. (2021). Application of MLP-ANN models for estimating the higher heating value of bamboo biomass. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 11: 2499–2508.
- Staub S., Karaman E., Kaya S., Karapınar H., Güven E. (2015). Artificial Neural Network and Agility. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 195: 1477-1485.
- Ujević-Andrijić Ž., Bolf N. (2019). Umjetne neuronske mreže. *Kemija u industriji*. 6(5- 6): 219-220.

Artificial neural networks as a statistical tool for predicting the net calorific value of biomass

Abstract

When using biomass as a raw material for the production of fuel and heat, it is necessary to determine its energy properties. By applying the model of artificial neural networks, it is possible to predict net calorific values of individual energy cultures with great accuracy, which makes neural networks good solution in finding the optimal values. The possibility of self-organization, optimized learning and high tolerance to errors, neural network allows reliable and accurate calculation of the lower calorific value of energy crops. With the correct network configuration and data collection, artificial neural network models can be used to predict the calorific value in real time.

Key words: biomass, energy crops, calorific value, artificial neural networks.