

VEŠTAČKE NEURONSKE MREŽE I NJIHOVA PRIMENA U PROIZVODNIM PROCESIMA

Miloš Madić, dipl. inž. maš., prof. dr Miroslav Radovanović, dipl. inž. maš.

Kategorija rada: PREGLEDNI RAD
Recenzent: Prof.dr Ljubodrag Đorđević
Rad primljen: 31.08.2009.godine

Adresa:
Mašinski fakultet Niš

Rezime: Veštačke neuronske mreže se poslednjih godina uspešno primenjuju u mnogim oblastima. Prednosti koje nude veštačke neuronske mreže učinile su da one postanu nezaobilazni alat u rešavanju sve složenijih problema koji se javljaju u proizvodnji. U radu su prikazani osnovni koncepti veštačkih neuronskih mreža i date su primene veštačkih neuronskih mreža u proizvodnim procesima. Cilj je bio da se da pregled istraživanja i dostignuća u primeni veštačkih neuronski mreža u proizvodnim procesima.

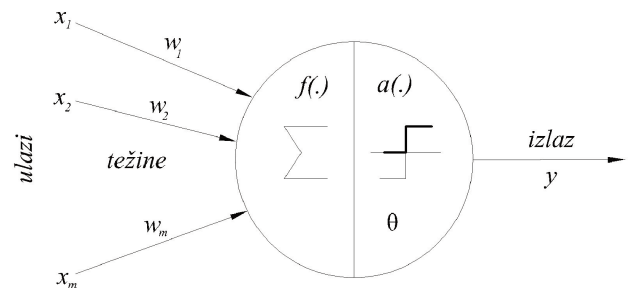
Cljučne reči: veštačke neuronske mreže, proizvodni procesi

1. UVOD

Metode i tehnike veštačke inteligencije igraju važnu ulogu u savremenoj proizvodnji. Veštačke neuronske mreže su jedna od najpopularnijih tehnika veštačke inteligencije čija je primena u rešavanju problema vezanih za proizvodnju započela krajem 80-ih godina prošlog veka. Od tada je objavljen veliki broj radova koji se odnose na primenu veštačkih neuronskih mreža pokrivajući širok spektar proizvodnih procesa, operacija i aktivnosti. Područje primene VNM u proizvodnji je iznenađujuće veliko i pokriva različite oblasti od projektovanja proizvodnih sistema i procesa pa do upravljanja proizvodnim sistemima i procesima. Veštačke neuronske mreže su prepoznate kao neizbežan alat čijom se primenom može postići: poboljšanje kvaliteta proizvoda, povećanje proizvodnosti, smanjenje vremena odziva sistema, povećanje pouzdanosti itd. U mnogim primenama VNM su zamenile doskorašnje metode i tehnike, često se koriste u kombinaciji sa ostalim metodama, ali neretko su i jedini način za rešavanje zadataka i traženje rešenja. U radu su prikazane: karakteristike, koncepti i koraci pri kreiranju veštačkih neuronskih mreža (VNM). Dat je i pregled izbora vrste mreže zavisno od primene. Treba reći da je u svim koracima eksperimentisanje od velikog značaja u cilju dobijanja optimalnih parametara mreže kako bi se na kraju postigao najbolji rezultat. Zatim su, prema predloženoj klasifikaciji, opisane primene VNM u proizvodnim procesima.

2. VEŠTAČKE NEURONSKE MREŽE

Veštačke neuronske mreže (VNM) su pojednostavljeni matematički modeli funkcija ljudskog mozga. Predstavljaju novu generaciju sistema za obradu informacija. Za razliku od računarskih sistema koji vrše sekvencijalnu obradu podataka, VNM se zasnivaju na paralelnoj obradi podataka. VNM su sistemi koji se sastoje od velikog broja procesnih elemenata (neurona ili čvorova) koji su međusobno povezani. Na slici 1, prikazan je jednostavan matematički model biološkog neurona tzv. M-P neuron (formalni neuron) ili perceptron koji su predložili McCulloch i Pitts [1].



Slika 1. McCulloch-Pitts neuron

Kod ovog modela, procesni element izračunava "otežanu" sumu ulaza x_i i u zavisnosti od toga da li je ova ulazna suma veća ili manja od određene vrednosti praga θ dolazi do preuzimanja signala, $y=1$ (došlo je do "paljenja" neurona), ili ne, $y=0$:

$$y = a\left(\sum_{i=1}^m w_i x_i - \theta\right)$$

Pri tome je aktivaciona (prenosna) funkcija $a(f)$ funkcija koraka (pragovska funkcija):

$$a(f) = \begin{cases} 1 & \text{ako je } f \geq 0 \\ 0 & \text{ako je } f < 0. \end{cases}$$

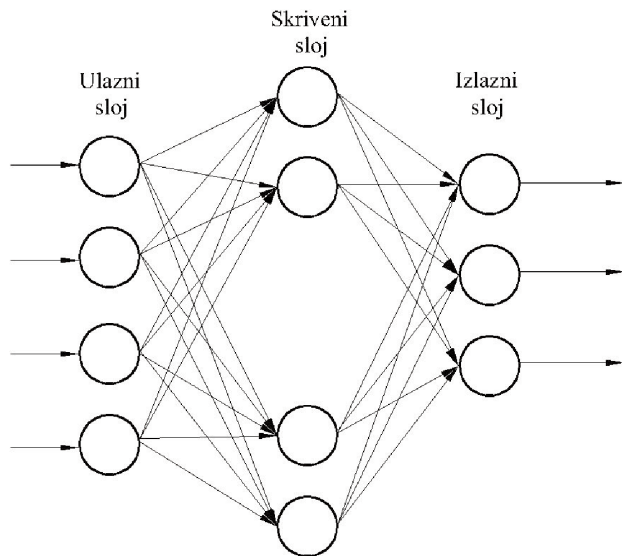
McCulloch-Pitts model je jednostavan model koji može vršiti osnovne logičke operacije NE, ILI i I kada su težine i vrednosti pragova adekvatno izabrane. Kako se bilo koja multivarijabilna kombinaciona funkcija može izraziti preko ovih osnovnih logičkih operacija, sinhroni sklop takvih neurona može vršiti opšta izračunavanja.

Generalno, VNM se odlikuju sledećim važnim karakteristikama i atributima:

- VNM imaju sposobnost učenja (prilagodavanje);
- VNM su pogodne za modeliranje sistema sa nepoznatim ulazno-izlaznim vezama (često se označavaju kao univerzalni regresioni sistemi);
- VNM su pogodne u situacijama kada su ulazni podaci nejasni, isprekidani ili su oštećeni i
- VNM imaju sposobnost generalizacije (aproksimacija, interpolacija).

VNM se sastoje od velikog broja neurona koji su raspoređeni prema različitim modelima. Neuroni su takođe grupisani u slojeve preko kojih je mreža

povezana sa okolinom, slika 2. Prvi sloj (ulazni) je obično ulazni bafer u kome se podaci prezentuju mreži. Svaki ulazni podatak odgovara određenoj ulaznoj promenljivoj. Sa druge strane, u poslednjem sloju (izlaznom) se računaju izlazi iz mreže. Slojevi između prvog i poslednjeg se nazivaju skriveni slojevi. Neuroni u mreži su međusobno povezani preko težina koje se obično podešavaju u samom procesu učenja ili treniranja mreže u cilju poboljšanja performansi mreže.

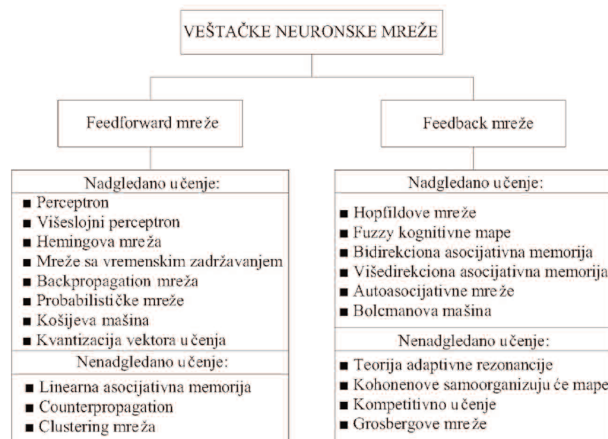


Slika 2. Model veštačke neuronske mreže

Imajući u vidu način povezivanja, VNM se dele na: slojevite, potpuno povezane i ćelijske. U odnosu na pravac prenosa i obrade podataka (informacija, signala), VNM se mogu podeliti u dve grupe:

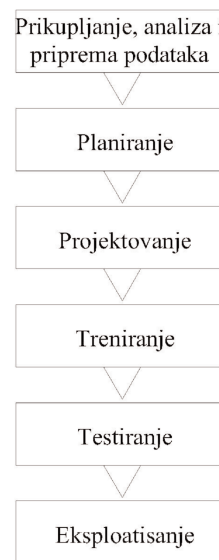
1. Feedforward – direktne mreže, nerekurventne ili nerekurzivne (prenos signala se odvija samo u jednom pravcu tj. nema petlji) i
2. Feedback – rekurentne mreže, indirektno ili povratne (usled povratnih veza javljaju se petlje).

U zavisnosti od načina učenja i feedforward i feedback mreže mogu biti sa nadgledanim i nenadgledanim učenjem. Feedforward mreže sa nadgledanim učenjem su: perceptron, višeslojni perceptron, Hamingova mreža, probabilističke mreže, backpropagation mreža, Košijeva mašina, kvantizacija vektora učenja i još mnoge druge. Predstavnici feedforward mreža sa nenadgledanim učenjem su: counterpropagation mreža, clustering mreža, linearna asocijativna memorija, itd. Feedback mreže sa nadgledanim učenjem su: Hopfieldova mreža, fuzzy kognitivne mape, asocijativne memorije, Boltzmanova mašina i druge. Predstavnici feedback mreža sa nenadgledanim učenjem su između ostalih: Grosbergove mreže, Kohonenove mape, teorija adaptivne rezonancije i mreže sa kompetitivnim učenjem. VNM prema prethodnoj klasifikaciji su prikazane na slici 3.



Slika 3. Vrste veštačkih neuronskih mreža

Kreiranje VNM sa rešavanje određenog zadatka se realizuje u šest glavnih koraka: 1) prikupljanje, analiza i priprema podataka, 2) planiranje, 3) projektovanje, 4) treniranje, 5) testiranje i 6) eksploatisanje, slika 4.



Slika 4. Osnovni koraci u kreiranju VNM

Prikupljanje, analiza i priprema podataka.

Za uspešnu primenu VNM potrebno je prikupiti što je moguće više podataka. VNM su modeli vođeni podacima tako da kvalitet modela umnogome zavisi od kvaliteta prikupljenih podataka koji se koriste za treniranje mreže. Prikupljanje i priprema podataka je prvi korak u kreiranju VNM i od velikog je značaja. VNM su naročito dobre kada je potrebno udružiti različite tipove podataka iz različitih izvora tj. pogodne su za fuziju podataka. U takvim slučajevima, koji su inače najčešći, neophodno je izvršiti analizu kao i pripremu podataka za treniranje mreže. Vrsta podataka koja će se koristiti umnogome zavisi od zadatka koji će mreža obavljati. Uopšte uzev, za ulazne veličine mreže treba uzeti u obzir relevante i moguće relevantne podatke. Kako je svaki proces uslovljen mnoštvom faktora neophodno je smanjiti njihov broj samo na one koji su značajni. Povećanjem broja značajnih faktora (ulaznih neurona) veličina ulazno-izlaznog seta podataka, neophodnog za treniranje mreže, se takođe povećava. Priprema podataka je neizbežan korak u cilju da se različite forme i tipovi podataka konvertuju u odgovarajuće formate koji su od značaja za mrežu. Priprema podataka takođe uključuje normalizaciju i skaliranje

podataka kako bi se izbegao negativan efekat dominantnih vrednosti, ali i zbog prirode prenosnih funkcija. Prikupljeni podaci bi trebalo da sadrže dovoljno valjanih podataka (kao i odgovarajuću raspodelu podataka) u cilju stvaranja uslova da mreža nauči nelinearno mapiranje između ulaznih i izlaznih promenljivih na celom opsegu. Izbor podataka za treniranje, validaciju i testiranje treba biti određen na slučajan način u odnosu 1:1:1.

Planiranje. Prvi korak u izgradnji VNM je izbor paradigme. Izbor je zasnovan na prirodi problema (npr. predikcija, klasifikacija, povezivanje podataka, konceptualizacija podataka, filtriranje podataka, itd.), veličini problema (broj ulaznih i izlaznih promenljivih), metod treniranja (nadgledan/nenadgledan) kao i vremenska ograničenja.

Projekovanje. U zavisnosti od prirode konkretnog problema, neophodno je odrediti odgovarajuće karakteristike VNM:

- Odrediti karakteristike mreže: topologiju mreže, tip veza, redosled veza i opseg težina;
- Odrediti karakteristike čvora: opseg aktivacije i aktivacionu (prenosnu) funkciju;
- Odrediti dinamiku sistema: inicijalizacionu šemu težina, jednačinu za aktivaciju-kalkulaciju i algoritam učenja.

Treba istaći da je gotovo nemoguće u prvom koraku sastaviti potpunu specifikaciju projektovanja mreže. Neke od odluka koje se tiču projektovanja mreže mogu se doneti nakon eksperimentisanja tako da se projektovanje VNM često izvodi po principu "proba i greška". Ono što se sa sigurnošću može odrediti u početnoj fazi projektovanja i ono što se mora razrešiti ekperimentisanjem zavisi od slučaja do slučaja, a prvenstveno zavisi od stečenog iskustva u projektovanju VNM. Optimalna arhitektura mreže uvek zavisi od konkretne situacije koja se razmatra, a ona svakako ne sme biti složenija od potrebne. Projektovanje VNM može se realizovati bilo korišćenjem nekog objektno orijentisanog programskog jezika (uglavnom C++) bilo korišćenjem dobro poznatih razvojnih okruženja VNM. Popularni razvojni alati za VNM su: MATLAB Neural Network Tool Box, MATHEMATICA Neural Networks, NeuralDesk, Neuro Solutions, NeuroShell2, itd.

Treniranje. Svaka VNM je projektovana za modeliranje određenog problema. Znanje koje mreža poseduje nalazi se u načinu na koji su neuroni povezani i važnosti svake pojedinačne veze, odnosno u samim težinama. Treniranje mreže podrazumeva adaptaciju ovih težina tako da je greška između željenog izlaza i mrežnog izlaza minimizovana. Treniranje mreže uključuje sledeća četiri koraka:

1. Izbor para za treniranje iz trening seta i dovođenje ulaznog vektora na mrežni ulaz;
2. Izračunavanja mrežnog izlaza u prolazu unapred. Izračunavanje mrežnog izlaza se realizuje procesom prostiranja unapred (feed-forward) i primenom aktivacione funkcije za svaki sloj u mreži osim za nulti;
3. Računanje razlike između mrežnog izlaza i željene ciljane vrednosti – izlazna vrednost iz trening para i
4. Promena težina mreže na način da se minimizuje greška.

Tokom treniranja VNM veliki broj trening prolaza se odvija sve dok se ne dobije optimalni set težina. Treniranje VNM se vrši na primerima, koji čine ulazno-izlazni set podataka, a dobijeni su ili eksperimen-

talnim putem ili na neki drugi način. VNM će se ponašati pouzdanije i preciznije ukoliko je broj primera za treniranje veći. Dobar set podataka za treniranje mora sadržati uobičajene, neuobičajene i granične slučajeve koji se javljaju.

Testiranje. Set podataka za testiranje, koji se drži po strani, se koristi za testiranje prethodno istrenirane mreže u smislu sposobnosti predikcije i generalizacije. Ukoliko testiranje pokaže da greška ne prelazi zadati rang tačnosti tada se VNM može smatrati spremnom za eksploataciju. Treba naglasiti da VNM nije pogodna za ekstrapolaciju tako da korišćenjem ulaznih podataka koji su van prostora, pokrivenog setom ulaznim podataka za treniranje mreže, mreža izvodi nerealnu predikciju.

Eksploatisanje. Trenirana i testirana VNM se može koristiti za modeliranje i predikciju kada se mreži prezentuju novi originalni ulazni podaci. Tokom eksploatacije, performanse VNM se mogu poboljšati ako se pridruži set podataka koji nije bio dostupan za vreme treniranja mreže.

3. PRIMENA NEURONSKIH MREŽA U PROIZVODNIM PROCESIMA

Postoje tri glavna kriterijuma koja je potrebno primeniti pri donošenju odluke da li da se dati problem rešava primenom VNM, a to su:

1. **Nepoznati algoritam.** Rešenje problema se ne može eksplicitno opisati algoritmom, sistemom jednačina ili nizom pravila;

2. **Dokaz da rešenje postoji.** Mora postojati određeni dokaz da postoji ulazno-izlazno mapiranje između seta ulaznih faktora x i odgovarajućih izlaznih faktora y , kao npr. $y=f(x)$, pri čemu je forma f naravno nepoznata i

3. **Dostupnost podataka.** Treba postojati velika količina dostupnih podataka, tj. mnogo različitih primera sa kojima bi se mreža trenirala.

Danas je u svetu razvijen veliki broj VNM za rešavanje najrazličitijih zadataka. Karakteristike i mogućnosti učinile su da su VNM postale značajan alat u rešavanju različitih problema u gotovo svim oblastima istraživanja. Primene VNM se mogu razvrstati u pet kategorija: 1) predikcija, 2) klasifikacija, 3) povezivanje podataka, 4) konceptualizacija podataka i 5) filtriranje podataka. U tabeli 1 su date oblasti primene VNM, izabrane mreže i zadaci koje rešavaju.

Primene VNM u proizvodnji mogu se razvrstati u 12 kategorija: 1) modeliranje i projektovanje sistema, 2) modeliranje procesa, 3) planiranje procesa, 4) raspoređivanje, 5) monitoring procesa, 6) upravljanje procesima, 7) kontrola kvaliteta, 8) obezbeđivanje kvaliteta, 9) dijagnostika kvarova, 10) procena troškova, 11) robotika i 12) ostale primene, slika 5.

Tabela 1. Oblasti primene VNM, izabrane mreže i zadaci koje rešavaju

Primena mreže	Mreža	Zadatak
Predikcija	- Backpropagation - Delta-Bar-Delta - Uopšteni Delta-Bar-Delta - DRS (directed random search) algoritam - VNM višeg reda - Samoorganizujuća Kohonenova	Korišćenje ulaznih veličina za predikciju izlaznih vrednosti
Klasifikacija	- Kvantizacija vektora učenja - Counterpropagation - Probabilističke mreže	Korišćenje ulazne veličine za vršenje klasifikacije
Povezivanje podataka	- Hopfieldova mreža - Bolcmanova mašina - Hemingova mreža - Bidirekciona asocijativna memorija	Kao klasifikacija ali prepoznaje podatke koji sadrže greške
Konceptualizacija podataka	- Teorija adaptivne rezonancije - Kohonenove samoorganizujuće mape	Analiza ulaznih veličina tako da se mogu izvesti zaključci o grupnim vezama
Filtriranje podataka	- Recirkulacione mreže	Filtriranje ulaznih podataka



Slika 5. Područja primene VNM u proizvodnji

Modeliranje i projektovanje sistema. Modeliranje primenom VNM je naročito korisno za modeliranje sistema čije su karakteristike suviše složene, uslovljene mnoštvom faktora ili su nedovoljno poznate. U slučajevima kada postoje vremenska ili novčana ograničenja, tradicionalni analitički metodi modeliranja se često zamenjuju modeliranjem pomoću VNM.

Modeliranje procesa pomoću VNM je jedna od najčešćih primena VNM u proizvodnim procesima. Adekvatno modeliranje procesa je od izuzetnog značaja imajući u vidu da se upravljanje proizvodnim procesima upravo zasniva na adekvatnim modelima pro-

cesa. VNM se najčešće koriste za generisanje empirijskih modela korišćenjem podataka iz proizvodnih procesa.

Planiranje procesa se obično odnosi na zadatke kao što su: izbor materijala, izbor procesa, izbor redosleda operacija i izbor parametara procesa. Planiranju obično prethodi modeliranje ulazno-izlaznih parametara procesa nakon čega se vrši izbor parametara u cilju optimizacije procesa sa zadatim ograničenjima koja se odnose na: zadatke, troškove pripreme, vreme izrade i rokove isporuke. VNM, kao napredni alati za prikupljanje i čuvanje znanja, igraju važnu ulogu u procesu planiranja.

Raspoređivanje resursa u procesu proizvodnje se odnosi na alokaciju raspoloživih resursa u toku vremena na takav način da se najbolje zadovolje neki od kriterijuma. Od svih problema vezanih za raspoređivanje proizvodnje, problem raspodele posla je jedan od najsloženijih problema za čije se rešavanje između ostalog primenjuju i VNM. Cilj je alocirati mašina za vršenje n operacija kako bi se izvršila optimizacija po zadatom kriterijumu.

Monitoring procesa. U automatizovanim i CIM proizvodnim sistemima postoji stalna potreba za efikasnim alatima za monitoring sve složenijih proizvodnih procesa. Kada se govori o primenama VNM u proizvodnji, monitoring procesa je glavno polje primene VNM. Ove primene uključuju monitoring različitih proizvodnih operacija i radnih uslova. Glavno polje primene VNM je on-line monitoring složenih proizvodnih procesa. Njihove mogućnosti učenja i tolerancije grešaka stvaraju mogućnosti za efikasan monitoring.

Upravljanje procesima. U procesnoj industriji upravljanje procesima najčešće vrše ljudi-operateri, a rede programabilni kontroleri na osnovu matematičkih algoritama. Uspeh operatera u monitoringu i upravljanju procesima ukazuje da je jedan od mogućih pristupa u projektovanju računarskih podržanih sistema za upravljanje i monitoring modeliranje sposobnosti učenja i donošenja odluka operatera.

Kontrola kvaliteta. Kvalitet je jedan od najvažnijih faktora koji određuje mesto proizvoda na tržištu. Kontrola kvaliteta ima za cilj identifikaciju grešaka kada je proizvodnja u toku ili kada je završena izrada proizvoda. Imajući u vidu da su VNM naročito moćne za identifikaciju oblika i skrivenih veza, VNM se često koriste za poslove: kontrole kvaliteta, obezbeđivanja kvaliteta i dijagnostike grešaka.

Obezbeđivanje kvaliteta. Stalno poboljšanje kvaliteta postojećih proizvoda i obezbeđivanje kvaliteta novih čest je moto uspešnih preduzeća. Obezbeđivanje kvaliteta često uključuje procese i aktivnosti koje se odnose na monitoring i dijagnostiku. Imajući to u vidu, VNM igraju važnu ulogu pogotovo u situacijama gde je brza obrada podataka i klasifikacija od izuzetnog značaja.

Dijagnostika kvarova podrazumeva različite procese za identifikaciju i lokalizaciju neispravnosti kao i određivanje njihovih uzroka. Karakteristike VNM stvaraju velike mogućnosti primene VNM kada je reč o dijagnostici.

Procena troškova je ključni faktor u određivanju cene proizvoda kada je u pitanju plasman novog proizvoda ili redizajniranje starog. Obično, cena koštanja proizvoda se računa kao suma troškova: sirovina, komponenti, energije, mašina, alata, zaposlenih itd. Međutim, kvantifikacija iskorišćenja svakog resursa je izuzetno teška.

Robotika se bavi istraživanjem konačnog broja krutih mehaničkih veza koje predstavljaju nelinearni multivarijabilni sistem. Rešavanje ovakvog problema je teško imajući u vidu da i najmanji željeni pokret zahteva složena, brza i brojna izračunavanja. Primena VNM za rešavanje sličnih problema u robotici odnosi se na: kinematiku, dinamiku, planiranje putanje, upravljanje, raspoznavanje i inteligenciju.

Ostale primene se odnose na: fuziju signala sa više izvora i integraciju, upravljanje održavanjem, određivanje rasporeda u pogonu, simulacije opšte namene, podršku u odlučivanju, određivanje ekonomi-

čne narudžbine, identifikaciju, prepoznavanje formi, razne primene u agilnoj i fleksibilnoj proizvodnji itd.

4. ZAKLJUČAK

VNM su postale nezamenljiv alat pri rešavanju zadataka koji se odnose na proizvodne procese. Raznovrsnost i priroda problema koji se javljaju pri rešavanju proizvodnih zadataka stvorili su pogodno uslove za primenu VNM. VNM su se pokazale vrlo uspešno bilo da je reč o: kontroli kvaliteta, raspoređivanju resursa, planiranju proizvodnje, upravljanju, simulaciji, modeliranju i mnogim drugim aktivnostima. Prepoznat je veliki značaj VNM u rešavanju najrazličitijih problema proizvodnje. VNM ne treba shvatiti kao zamenu za klasične metode. Njihove prednosti se naročito iskazuju kroz integraciju sa klasičnim tehnikama i ostalim metodama veštačke inteligencije.

5. LITERATURA

- [1] Lin, C.T., George Lee, C.S.: Neural fuzzy system: A neuro-fuzzy synergism to intelligent systems, Prentice-Hall, 1996.
- [2] Radovanovic, M., Madic, M., Jankovic, P.: Application of neural networks in metal cutting, 8th International Conference "Research and Development in Mechanical Industry", Uzice, Serbia, 2008, pp. 322-328.
- [3] Marinković V., Racionalizacija eksperimentalnih istraživanja primenom teorije višefaktornog eksperimenta, IMK-14, Istraživanje i razvoj, godina XIII, broj 26-27, 1-2/2007
- [4] Marinkovic, V.: Application of artificial neural network for modeling the flash land dimensions in the forging dies, Strojnicki Vestnik, 55, 2009, pp. 64-75.
- [5] Dašić P., Đurić S., Štefanek M., Izbor regresione zavisnosti zatezne čvrstoće zavarenog spoja čelika Nionical-70 i temperature žarenja, IMK-14, Istraživanje i razvoj, godina XI, broj 22-23, 3-4/2005
- [6] Wang, J., Kusiak, A.: Computational intelligence in manufacturing handbook, CRC Press, 2001.
- [7] Trajanović M., Pantović A., Modeliranje procesa istosmernog istiskivanja u hladnom stanju za analizu metodom konačnih elemenata, IMK-14, Istraživanje i razvoj, godina IX, broj 16-17, 1-2/2003
- [8] Jensen, B.A., Abonyi, J.: Neural networks for process modeling. Available on Web site: <http://www.fmt.vein.hu/softcomp/neural.pdf>.
- [9] Dereli, T., Baykasoglu A.: Artificial intelligence in design and manufacturing. Available on Web site: <http://www1.gantep.edu.tr/~durmusoglu/ie328/AI.pdf>.
- [10] Tarassenko, L.: A guide to neural computing applications, A Hodder Arnold Publication, 1998.
- [11] Kamruzzaman, J., Begg, R., Sarker, R.: Artificial Neural Networks in Finance and Manufacturing, Idea Group Publishing, 2006.
- [12] Huang, S.H., Zhang, H.C.: Artificial neural networks in manufacturing: concepts, applications, and perspectives, IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, 17, 1994, pp. 212-228.

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND THEIR APPLICATION IN MANUFACTURING PROCESSES

Abstract: *Artificial neural networks have been successfully implemented in many fields in past years. With many advantages artificial neural networks have been recognized as inevitable tool in solving increasingly complex tasks that occur in manufacturing. This paper presents the basic concepts of artificial neural networks. Also, some applications of artificial neural networks in manufacturing processes are described. The goal is to present the review of research and appliance of artificial neural networks in manufacturing processes.*

Key words: *Artificial neural networks, manufacturing processes*