

Primjena neuralnih mreža u projektiranju drvenih konstrukcija

Zvonimir Žagar, Goran Janjuš

Ključne riječi

drvene konstrukcije,
lijepljene lamelirane
konstrukcije,
neuralne mreže,
neuralne ljuske,
ekspertni sustavi,
Eurokod 5

Key words

wooden structures,
glued laminated
structures,
neural networks,
neural shells and plates,
expert systems,
Eurocode 5

Mots clés

structures en bois,
structures en lamellé-collé,
réseaux neuraux,
coques neurales,
systèmes experts,
Eurocode 5

Ключевые слова

деревянные конструкции,
клеёные ламелированные
конструкции,
невральные сети,
невральные оболочки,
экспертные системы,
Еврокод 5

Schlüsselworte

Holzkonstruktionen,
geklebte lamellierte
Konstruktionen,
Neuralnetze,
Neuralschalen,
Expertsysteme,
Eurocode 5

Z. Žagar, G. Janjuš

Pregledni rad

Primjena neuralnih mreža u projektiranju drvenih konstrukcija

U članku je analizirana mogućnost primjene na primjerima treniranih živčanih (neuralnih) mreža u projektiranju drvenih lijepljenih lameliranih nosača modeliranih kao prostorne konstrukcije. Opisano je istraživanje motivirano spoznajom da su provjere nosivosti i uporabljivosti prema Eurokodu 5 vrlo složene, čak i uz primjenu "klasičnih" kompjutorskih programa te težnjom da se takvo stanje prevlada. Rezultati pokazuju da živčane mreže pružaju brojne pogodnosti u projektiranju.

Z. Žagar, G. Janjuš

Subject review

Use of neural networks in the design of wooden structures

The possibility of use is shown on examples of trained neural networks as applied in the design of glued laminated wooden girders modeled as spaces structures. The described study is motivated by the fact that verifications of bearing capacity and usability based on Eurocode 5 are highly complex, even when "traditional" computer programs are used in order to overcome such situations. The results show that neural networks offer numerous advantages when used in design applications.

Z. Žagar, G. Janjuš

Ouvrage de synthèse

Utilisation des réseaux neuraux dans l'étude des structures lamellées en bois

L'article analyse la possibilité d'utilisation des réseaux neuraux entraînés sur des exemples dans l'étude des poutres en lamellé-collé, modélisées comme structures dans l'espace. On décrit une étude motivée par le fait que les vérifications de la capacité portante et de la conformité selon l'Eurocode 5 sont très complexes, même avec des logiciels « classiques », ainsi que par une détermination de favoriser l'évolution dans ce domaine. Les résultats montrent que les réseaux neuraux présentent de nombreux avantages dans l'étude.

З. Жагар, Г. Яньюш

Обзорная работа

Применение невральных сетей в проектировании деревянных ламелированных конструкций

В статье анализируется возможность применения на примерах тренированных нервных сетей в проектировании деревянных клеёных ламелированных балок, моделированных как пространственные конструкции. Описано исследование, мотивированное сознанием, что проверки несущей способности и употребительности по Еврокоду 5 являются очень сложными, даже и при применении "классических" компьютерных программ, а также стремлением такое состояние преодолеть. Результаты показывают, что нервные сети предоставляют многочисленные преимущества в проектировании.

Z. Žagar, G. Janjuš

Übersichtsarbeit

Anwendung von Neuralnetzen beim Entwurf von hölzernen Konstruktionen

Im Artikel analysiert man die Möglichkeit der Anwendung von an Beispielen trainierten Neuralnetzen beim Entwurf von hölzernen geklebten lamellierten Trägern, modelliert als räumliche Konstruktionen. Beschrieben ist eine Forschung angeregt von der Erkenntnis dass die Überprüfung der Tragfähigkeit und Nutzbarkeit nach Eurocode 5 sehr kompliziert ist, sogar unter Anwendung von "klassischen" Computerprogrammen und dem Streben diesen Zustand zu überwinden. Die Ergebnisse zeigen dass Neuralnetze bei der Entwurfsverfassung zahlreiche Vorteile aufweisen.

Autori: Prof. dr. sc. **Zvonimir Žagar**, dipl. ing. građ.; **Goran Janjuš**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

1 Neuralne (živčane) mreže

Neuralne ili živčane mreže predstavljaju danas sasvim uobičajeni alat u primjeni analiza i prognoza baziranih na prošlim stvarnim i simuliranim događajima. Ma kako to nevjerojatno zvučalo primjenjuju se u gotovo svim djelatnostima znanosti i praksi kao pomoć pri raznim analizama, prognozama i upravljanju procesima. One su otkrivene još 1943. [1], no sve do razvoja računala nisu se mogle primjenjivati u praksi. Živčane se mreže danas rabe za prognoziranje poslovanja, raspoznavanje i prepoznavanje, u bankarstvu, u strojevima za prepoznavanje postupaka, pa i u konvencionalnim FE programima za nelinearne analize konstrukcija. Uporabljaju se u programima za prepoznavanje pisma i govora, ponašanja, upravljanje vozilima i procesima te raznim drugim područjima. O živčanim mrežama postoji golem i dostupna literatura, a najbolje se za informiranje o njima obratiti na stranice Interneta.

<http://www.emsl.pnl.gov:2080/proj/neuron/neural/neural.homepage.html>, službena stranica projekata neuralnih mreža (NN),

<http://iinwww.ira.uka.de/bibliography/Neural/index.html>, s bibliografijama i indeksima NM,

<http://www.phys.uni.torun.pl/neural/neural.html> jedna stranica poljske i međunarodne udruge za neuralne mreže, s mnogim linkovima,

<http://www.hav.com/> s demo verzijama i aplikacijama,

<http://dsii.dsi.unifi.it/neural/> talijanska istraživačka grupa za neuralne mreže s mnogim linkovima

<http://cns-web.bu.edu/inns/nm.html> službena stranica međunarodne udruge (NNS) i časopisa za neuralne mreže (NN) te europske i japanske udruge za NM, kojoj je *home-page* na adresi: <http://cns-web.bu.edu/inns/> i adresi europske udruge: <http://www.ida.his.se/ida/enns/>, stranica istraživanja umjetne inteligencije (AI) i kognitivnih znanosti Staffordschire Sveučilišta (Stafford, UK) s informacijama na:

<http://www.soc.staffs.ac.uk/research/groups/ai/>

<http://www.cs.stir.ac.uk/~lss/NNIntro/InvSlides.html> je posebice značajna stranica za informacije o NM, objašnjenima, primjerima i demo primjerima Centra za kognitivnu znanost i matematiku, Odjela za matematiku i računarstvo sveučilišta Stirling, te razne druge stranice WEB-a dostupne preko WEB pretraživača (npr. Copernic 2000. i sl.).

U našim istraživanjima rabili smo neuralnu ljusku NeuroShell 1 i NeuroShell 2 Ward System Co <http://www.wardsystems.com/products.asp?p=neuroshell2> na kojima se u detalje opisuje ta ljuska i njezine moguć-

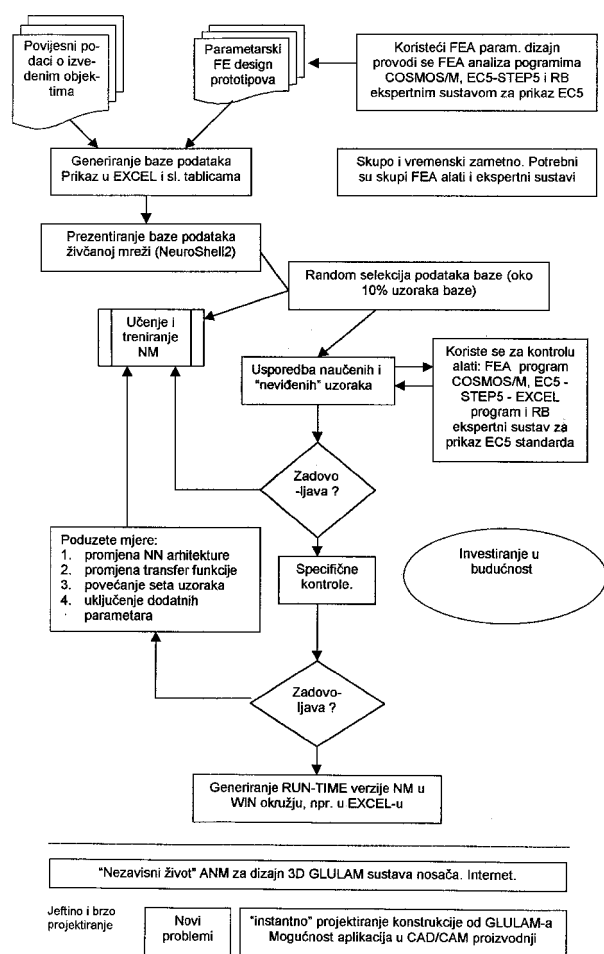
nosti, i nova unapređenja. Također smo imali dostupnu i ljusku Brainmaker <http://www.calsci.com/> (stranica California Scientific software s iscrpnim opisima primjena ANM). Nažalost imali smo samo Brainmaker neuroljusku u DOS verziji, jer se nije imalo novaca za nabavu suvremene WIN verzije s MXX akceleratorom. Wardove NeuroShell ljuske koje su bile dostupne našim financijskim mogućnostima i za sada sasvim zadovoljavaju naše potrebe.

2 Dosadašnja iskustva

S navedenom ljuskom (NeuroShell 2 za Windowse) načinjene su operabilne živčane (neuralne) mreže, u daljnjem tekstu ANN za provjere i dizajn raznih pojavnosti i projektiranje cjelina i detalja konstrukcija. Tako je još pred 10 godina načinjena ANN za upravljanje deformacijama mostova na osnovu njezina treniranja na manualnom reagiranju operatera (D.Delić). To je bila i osnova jedne nove generacije "inteligentnih" konstrukcija u kojima je ANN sastavni dio konstrukcija. Prvi je put i ANN primijenjena kao modul kod dizajna drvenih področnica, u radu [3], u ekspertnom sustavu zasnovanom na pravilima (koristeći se GURU ljuskom) za dizajn 3D hala od lameliranih (GLULAM) trozglobnih okvira, področnica i X-vezova. Također smo uspjeli u okvirima dvaju diplomskih radova načiniti ANN za projektiranje 3D lučnih drvenih lijepljenih lameliranih (GLULAM) konstrukcija koje se sastoje od trozglobnih lukova, drvenih ili lameliranih področnica, X-čeličnih spregova, čeličnih zglobova i betonskih temelja. D. Delić je pak u svojem magistarskom radu pokazao da je moguće neuralnu mrežu naučiti provjeravati složene odnose spregnutih stupova od betona, čeličnih profila i meke armature opterećene zadanim (generiranim) silama i momentima.

U radu [15] pokazano je da se neuralna mreža može primjenjivati i u projektiranju cestovnih tipskih mostova tipa Viadukt. Ta je mreža trenirana na bogatim povijesnim podacima projekata poduzeća Viadukt. Dr. V. Saler je u svojem magistarskom radu [29] pokazala da se perkusijska analiza kakvoće drvene građe može provoditi s pomoću ANN koja je trenirana na prirodnim i umjetno generiranim primjerima uzoraka drvene građe. Ima mnogo sličnih radova objavljenih u bogatoj stručnoj i znanstvenoj literaturi u svijetu, a naravno da se sve više ti postupci rabe u industriji, u projektiranju i praktičnim primjenama, dapače i u sportu. Naša su iskustva i dostignuća u pogledu generiranja i primjene ANN sasvim skromna, ali ipak zanimljiva za širi krug građevinskih inženjera.

Ovdje se opisuje postupak generiranja neuralne mreže za "instantno" projektiranje uobičajenih GLULAM nosača, partikularno je prikazan model generiranja ANN za projektiranje 3D sustava krovnih trapeznih GLULAM nosača, s pripadnim področnicama i vezovima. Valja na



Slika 1. Dijagram toka postupka generiranja živčane mreže za dizajn određenih (u konkretnom slučaju drvenih 3D-konstrukcija od lameliranog drveta)

napomenuti da ova ovdje opisana ANN u sebi sadrži sve znanje statike, teoriju provjere stabilnosti, znanje modeliranja 3D-entiteta iz konačnih elemenata, kompleksno znanje o GLULAM drvenim konstrukcijama, spregovima, opterećenjima i EC5 provjerama nosivosti i upotrebljivosti, dakle sve ono što čini jedno kompleksno znanje inženjera projektanta takvih konstrukcijskih entiteta. Prikazani model razvio se tijekom izrade doktorske disertacije A. Bjelanović [28]. Ovdje se samo prikazuje opći postupak, ali se naravno može primijeniti i na projektiranje svih drugih inženjerskih konstrukcija i strukturalnih entiteta. Naime u projektnim organizacijama postoji bogat arhiv, koji se može iskoristiti radi budućih projektiranja strukturalnih entiteta.

3 Model treniranja neuralne mreže

Da bi se ANN mogla primijeniti u nekom području, ona se mora trenirati na primjerima. Ti primjeri mogu biti arhivski podaci, opažanje, reakcije organizama, inženjersko iskustvo i generirani primjeri. Poznati se podaci mo-

gu neuralnoj ljuski prikazati u obliku tabličnih podataka za što je pogodan Excel i slični programi. Ti se podaci grupiraju u dvije kategorije: ulazni i izlazni podaci grupiraju se posebno - ulazni se prikazuju ulaznoj ploči (input slab) a izlazni izlaznoj ploči (output slab). Broj neurona ulazne ploče ovisi o broju ulaznih parametara, kao što i broj izlaznih neurona u izlaznoj ploči ovisi o broju izlaznih parametara.

Na dijagramu toka generiranja ANN za rješavanje problema iz inženjerskih analiza pokazuje se mogućnost uporabe generiranih i arhivskih podataka.

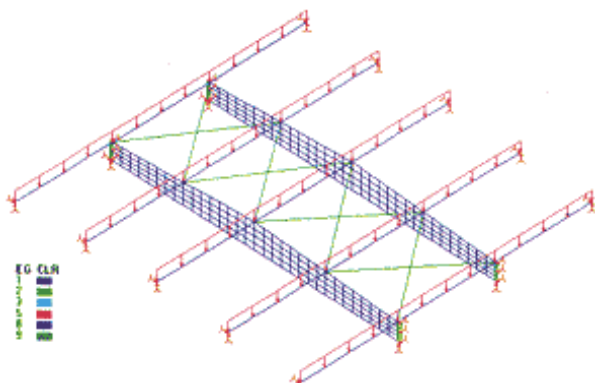
Neuroni ploča ljuske vezane su vezama s u početku nepoznatim ponderima (težinama-weights). Između ulazne i izlazne ploče obično se umeće jedna ili više skrivenih ploča (hidden slabs), što omogućava ljuski veću fleksibilnost učenja. Arhitektura neuralne ljuske može se odabrati iz ponuđenih menija dizajna ljuske. Sam procesorski element – živčana stanica (neuron), može biti podvrgnut raznim procesorskim funkcijama, koje se opet mogu odabrati iz ponuđenih menija programa. Mi smo se uvijek koristili relativno jednostavnom arhitekturom s jednom skrivenom pločom (ulazna-skrivena-izlazna) i jednostavnom procesorskom sigmoidnom funkcijom. U nekim problemima kao što je analiza ponašanja betonskih podova na standardizirane udare, rabila se i složenija arhitektura, s povratnom vezom ulaznih informacija ulaznoj ploči. Gabussi i Garrett Jr. su se kod treniranja ANN za imitiranje dinamičkog linearnog i nelinearnog ponašanja materijala koristili višeslojnim ljuskama. Ta je ljuska trenirana na laboratorijskoj dinamičkoj kidalici uzoraka, a potom kao modul uklopljena u FE program za analize nelinearnih ponašanja konstrukcija.

Kakva će se arhitektura ANN odabrati ovisi o iskustvu i drugim "ezoteričkim" uvjetima. Obvezno je imati velik broj uzoraka, kako bi mreža dobila dojam o problemu koji se razmatra. Od predočenog seta podataka izdvaja se jedan dio (obično 10% uzoraka), kako bi se odabrao tzv. ljuski neviđeni uzorak. Taj će se uzorak upotrijebiti za kontrolu učenja ljuske, te će ljuska prekinuti učenje u času najboljeg približavanja rezultata predočenom setu učenja i odabranom isključenom setu uzoraka. Naime pokazalo se da se ANN može "predočiti", te onda nema dovoljno fleksibilnosti u odabirima solucija, pa se u sve moderne ljuske ugradilo mehanizme sprječavanja tog fenomena.

Pošto se (preostali) set za učenje predoči ANN počinje treniranje mreže. Pri tome se može odabrati predočavanje uzoraka putem slučajnih brojeva ili lančanim redoslijedom.

Nakon prekida učenja mreža je sposobna donositi zaključke. Pregledom rezultata može se razmotriti važnost

kontribucije pojedinih parametara, te eventualno neke od tih (recimo nevažnih) parametara isključiti, pa ponovno ljusku trenirati.



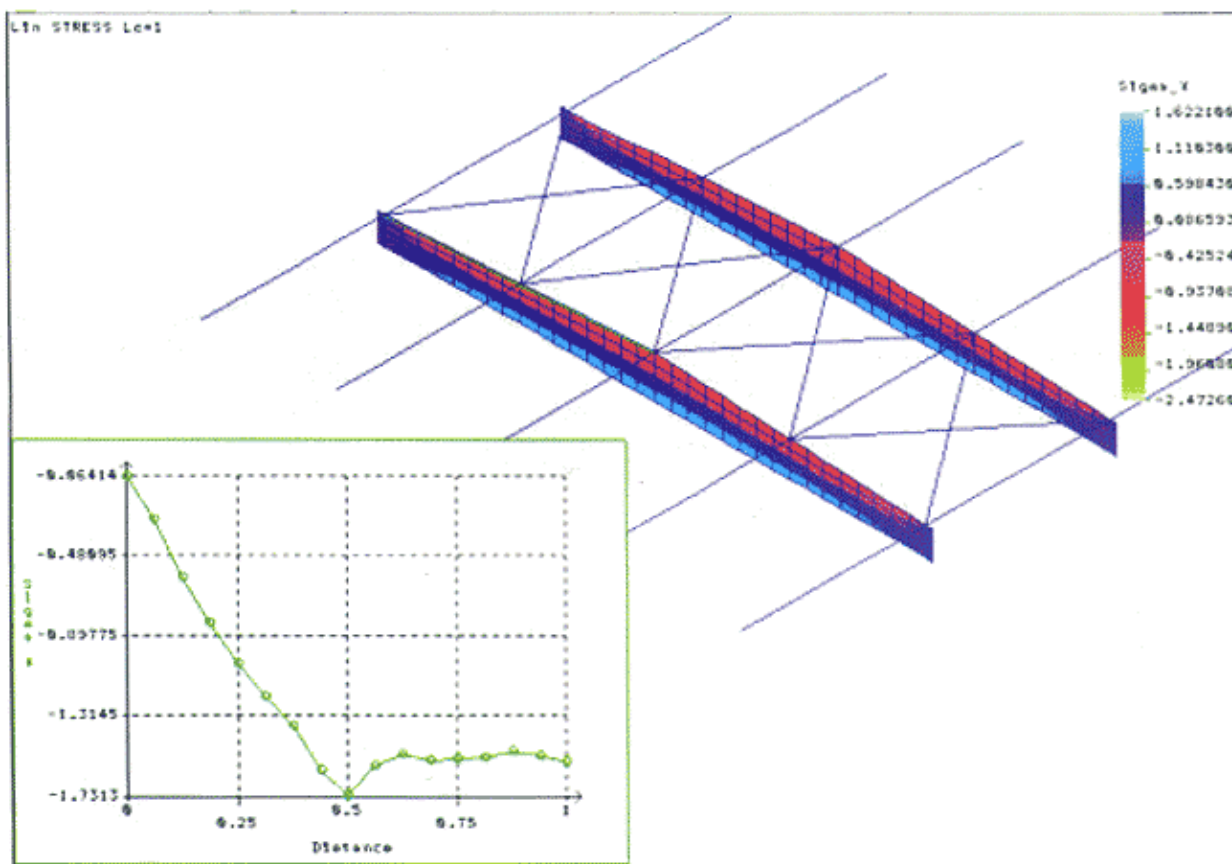
Slika 2. FE model jedne parametarski određene generirane 3D strukture za generiranje ulaznih setova podataka za treniranje živčane mreže

U našem slučaju mi smo razmotrili sustav (modul) dvaju paralelnih trapezoidnih lameliranih (GLULAM) nosača, dakle tri polja s podrožnicama od lameliranog drva s pripadnim X-čeličnim vezom od čeličnih šipki određenih promjera. To je u skladu s uobičajenim projektiranjem takvih entiteta. U drvenim konstrukcijama jedan stabiliza-

cijsko-vjetrovni vez dolazi na najviše 5 polja. Opterećenje je u skladu s EC propisima priloženo direktno na podrožnice, na kojima i djeluje.

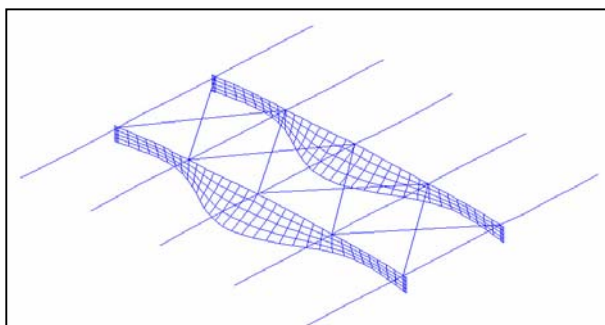
Da bi se generiralo seriju nosača načinjeni su 3D parametarski modeli konačnih elemenata, koji su razmatrani s FEA programom COSMOS/M. Rabe se grupe elemenata SHELL4L (za GLULAM), BEAM3D (podrožnice), TRUSS3D (za dijagonale vezova od čelika), SHELL4 (za eventualna ojačanja uz ležaj). Razmatrane su statičke analize i analize gubitka stabilnosti.

Da bi se odabrale "realne" dimenzije, upotrebljavale su se tablice poduzeća HOJA koje ima donekle sredene podatke o izvedenim objektima. Također se u većini slučajeva rabilo operabilni savjetodavni ekspertni sustav (koristeći se GURU ljuskom) za prikaz EC5 standarda za dizajn drvenih konstrukcija. Varirali su se elementi: raspon, dimenzija podrožnica, razmak vezača, broj polja rešetkastog veza, dimenzije GLULAM nosača - visina na ležaju, visina u sredini (apeksu) te širina presjeka nosača. Ulaznim se parametrima obuhvatilo četiri ulazna podatka: raspon (LL), razmak vezača (EE), broj spregova (M) i širina nosača (B). Ovi su se elementi ulaza pokazali signifikantnima (slika 7.). Ostali parametri tretira-



Slika 3. Grafički prikaz rezultata FE analize naprezanja (SIGMAX) paralelno s vlaknima drva za jedan određeni sustav i set opterećenja (prema EC propisima). Prikazana je i varijacija tih naprezanja po gornjem rubu nosača od ležaja do sredine raspona

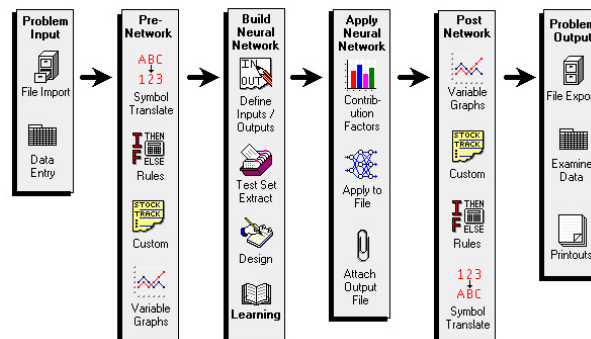
li su se kao izlazni: širina podrožnice (**BJP**), visina podrožnice (**HJP**), visina nosača na ležaju (**HJA**), visina nosača u apeksu (**HJAP**), promjer šipki sprega (**DJD**), nadvišenje nosača (**UJO**), faktor izbočenja (**Buckling**), najveća reakcija nosača (**RRJA**), najveće naprezanje (**SIGMAX**) paralelno vlaknima, najveće naprezanje (**SIGMAY**) okomito na vlakna drva, najveće posmično naprezanje (**TAUXY**), debljina eventualno potrebnoga postranog ojačanja (**T**) nosača pri ležaju ako τ napreznja prelaze određenu granicu te duljina i debljina čelične ležajne ploče. Mogle su se pridodati i druge informacije, ali su te dovoljne za projektiranje takvih sustava.



Slika 4. Prikaz analize stabilnosti za konkretni primjer geometrije i za konkretno određeno opterećenje

Mora se napomenuti, da su podaci dobiveni analizom s FEA programom COSMOS/M vrlo opsežni pa je trebalo rezultate filtrirati i reducirati samo na potrebitu nužnu mjeru. Pri učenju rabila se napredna verzija ljsuke (slika

5.). Na slici 2. prikazan je FE model 3D strukture, s ispisom grupa elemenata. GAP elementi iskoristeni su za isključenje tlačnih elemenata dijagonala – šipki vezova. Na slici 3. prikazani su rezultati proračuna napreznja



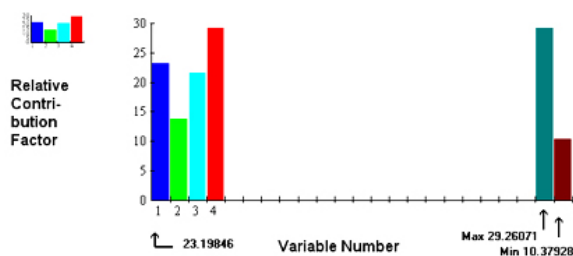
Slika 5. Preslik ekrana. Preslika izbornika NeuroShell 2 neuralne ljsuke s opcijama početne i napredne verzije i generatorom "runtime" opcija. U prednjem planu prikazan je preslika izbornika napredne opcije: ulazne opcije (import datoteke, upis podataka u EXCEL tablice), predprocesiranje (translacija simbola iz alfanumerike u binarne vrijednosti, upis pravila, grafički prikazi ulaznih rezultata), građenje živčane mreže (definiranje ulaza i izlaza, ekstrakcija podataka, odabir arhitekture živčane mreže, učenje), primjena "treniranje" živčane mreže (čimbenici doprinosa, primjena "treniranje" mreže na novim primjerima, izbor načina priključivanja postojeće datoteke i treniranih datoteka), naknadno procesiranje (razne opcije grafičkih prikaza, primjena pravila, prijevod simbola: iz binarnih u alfanumeričke podatke), manipulacije izlaznim rezultatima (export datoteka, tablični pregled podataka, ispisi).

Datagrid: C:\NSHELL2\DIPLGOR.PAT													
File Edit Format Help													
Number of row with variable names (blank if none): <input type="text" value="1"/> <input checked="" type="checkbox"/> left/right arrow keys end edit													
First row containing actual training data: <input type="text" value="2"/> Size: 100 rows 20 columns													
Note: This is not a commercial spreadsheet and may not load fast enough for large files. The NeuroShell 2 Options menu allows you to change the datagrid call to your own spreadsheet. Search help file for "datagrid" for details.													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		
1	LL	M	EE	B	BJP	HJP	HJA	HJAP	DJD	RRJVD	SIJAPJD	SIJX	
2	1500.00	4.00	500.00	18.00	14.00	30.00	57.00	96.00	1.60	108.20	17.68		
3	1500.00	4.00	500.00	16.00	14.00	30.00	63.00	102.00	1.60	108.30	17.67		
4	1500.00	4.00	500.00	14.00	14.00	30.00	72.00	111.00	1.60	108.80	17.24		
5	1500.00	4.00	400.00	18.00	14.00	24.00	51.00	90.00	1.60	86.10	16.17		
6	1500.00	4.00	400.00	16.00	14.00	24.00	54.00	93.00	1.60	85.90	16.91		
7	1500.00	4.00	400.00	14.00	14.00	24.00	60.00	99.00	1.60	86.10	17.06		
8	1800.00	4.00	600.00	20.00	16.00	36.00	72.00	120.00	1.60	157.30	17.76		
9	1800.00	4.00	600.00	18.00	16.00	36.00	81.00	129.00	1.60	157.90	17.23		
10	1800.00	4.00	600.00	16.00	16.00	36.00	90.00	138.00	1.60	158.10	17.11		
11	1800.00	4.00	500.00	20.00	16.00	30.00	63.00	111.00	1.60	130.20	17.23		
12	1800.00	4.00	500.00	18.00	16.00	30.00	69.00	117.00	1.60	130.40	17.24		
13	1800.00	4.00	500.00	16.00	16.00	30.00	75.00	123.00	1.60	130.40	17.55		
14	1800.00	4.00	400.00	20.00	16.00	24.00	54.00	102.00	1.60	103.10	16.34		
15	1800.00	4.00	400.00	18.00	16.00	24.00	60.00	108.00	1.60	103.60	16.22		
16	1800.00	4.00	400.00	16.00	16.00	24.00	63.00	111.00	1.60	103.10	17.05		
17	1800.00	6.00	400.00	14.00	14.00	22.00	69.00	117.00	1.60	102.60	17.36		

Slika 6. Prikaz dijela upisne datoteke. Prva četiri stupca predstavljaju LL-raspon, EE-razmak, M-broj polja vjetrovno-stabilizacijskog veza, B-širinu nosača, elemente ulazne ploče. Ostala polja su slijedni rezultati geometrije i konvencionalnih proračuna i provjera primjenom MKE, RB ekspertnog sustava za EC5 standarde, EXCEL EC5 STEP 5 programa i povijesnih podataka izvednih objekata (tablice slovenske firme HOJA) i elementi su izlazne ploče ljsuke

SIGMAX i dijagram varijacija tog napreznja po gornjem rubu nosača od ležaja do sredine. Također je na slici 4. prikazan jedan od modela modova gubitka stabilnosti nosača s ispisanom vrijednosti koeficijenta sigurnosti na gubitak stabilnosti. Na slici 6. prikazan je dio ulaznih podataka generiranih prvotno s ekspertnim sustavom za EC5, te potom provjerenim s EC5 STEP 5 EXCEL sustavom, a potom s FEA COSMOS/M sustavom za sva djelovanja predviđena Eurocodom (EC). Ukupno je generirano provjerenih 45 primjera.

Nakon odabira jednostavne troslojne arhitekture mreže (direktno vezana ulazna, skrivena i izlazna ploča) i odabira sigmoidne transferne funkcije (po defaultu), pristupilo se učenju. Na priloženim dijagramima je prikazan samo dio izvornih i usporednih rezultata učenja NM



Slika 7. Prikaz grafa doprinosa ulaznih parametara nakon treniranja mreže

4 Rezultati i primjene

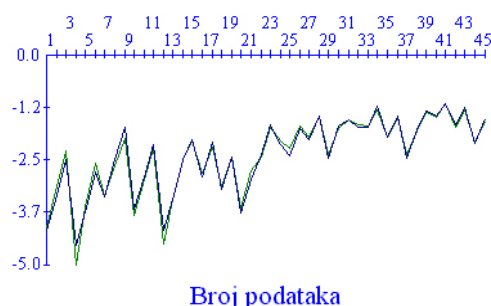
Provjera rezultata učenja pokazuje dobra slaganja između aktualnog seta i network seta za sve elemente (slike 8. i 9.).



Slika 8. Prikaz rezultata stvarnih (Actual(3)) i naučenih (Network(3)) parametara visina lameliranih nosača na ležaju. Rezultati se izvanredno podudaraju

Provjera na novim primjerima (dopuna tablice, aplikacija na datoteku, tablični ispis u EXCEL-u te konsektivne provjere s konvencionalnim postupcima: opet primjena EXCEL EC5 STEP5 programa, i parametarskog FE modela s FEA programom COSMOS/M i provjerama preko RB ekspertnog sustava za EC5, [19] pokazuju vje

Faktor sigurnosti od izbocavanja



Slika 9. Prikaz rezultata stvarnih (Actual(7)) i naučenih (Network(7)) parametara vrijednosti faktora sigurnosti gubitka stabilnosti. Rezultati se izvanredno podudaraju

rodostojnost dobivenih rezultata. Ove naknadne provjere elmenata sustava dobivenog trenutnim - "instantnim" projektiranjem uporabom neuralne mreže samo su nužne provjere sustava no kasnije se u praksi naravno više ne provode. Iako je generiranje i upisivanje datoteka vremenski zametno i relativno dugotrajno, konačni rezultat opravdava cijeli postupak jer je sada dizajn putem naučene NM jednostavan, ultrabrz (praktično trenutno) i nadasve jeftin. Generirana RUN -TIME NM nije više vlasništvo Ward-ove kompanije, i kupca ljuske, već se može slobodno upotrebljavati u skladu s tržišnim zakonima.

5 Posljedice i budućnost

Ovdje se dokazalo da se NM može sa sigurnošću primijeniti u projektiranju određenih entiteta. To što se mi slučajno bavimo drvenim konstrukcijama, ograničava nas na primjenu u drvenim konstrukcijama. No ništa ne stoji na putu projektiranju i drugih konstrukcija i entiteta. To se i pokazalo na primjeru generiranja NM za projektiranje montažnih mostova (I. Džajić). Jenkins je slično pokazao na primjeru projektiranja čeličnih višetažnih okvira. Primjer koji je ovdje pokazan i detaljno razrađen, predočava nam postupak kojim se mogu projektirati i druge konstrukcije i drugi strukturalni entiteti od drugih materijala. Sasvim je sigurno da se mogu generirati razni prostorni okviri, složenice, ploče, grede, temelji, tuneli, pa i složeni prostorni strukturalni sustavi.

Napomenuli bismo kako je vrlo važno uočiti da je na primjerima prikazanoj treniranoj NM uključeno sve inženjersko znanje potrebno za projektiranje ovih opisanih konstrukcija. To nam se može činiti pretjeranim, ali je to zaista tako. Postupno će ovakvi sustavi kao i RB ekspertni sustavi "istisnuti" konstruktore iz njihova neosporavanog područja rutinskih poslova projektiranja konstrukcija.

Međutim gledajući naličje ovog postupka, dolazimo do zaključka da postignuto nije ništa različito od mnoštva tablica kojima su se konstruktori odvajkada služili. Sje-

timo se tablica prof. Molčanova, Kleinlogelovih tablica, davnih Širolinih tablica, pa tablica prof. Dvornika za dimenzioniranje dvoosno ekscentrično opterećenih armirano betonskih stupova, tablica Ulickog te mnoštva tablica u literaturi za proračune okvira, ploča, greda i sličnih entiteta. Pa i tablice čeličnih profila pripadaju kategoriji, jer se one upotrebljavaju prema određenim potrebama konstruktora čeličnih konstrukcija. Nedavno je u jednom seminarskom radu ing. D. Živni pokazala da se i čelični stupovi mogu efikasno projektirati s na primjerima treniranom NM, bez uporabe tablica nosivosti čeličnih profila. Generirane **RUNTIME ANM** nisu ništa drugo nego vrsta "inteligentnih" tablica, a hoće li se one

nalaziti u regalu biblioteke, instalirane na računalo ili na mreži (WEB-u), ugrađene u neke buduće čipove, stvar je i navike i ekonomskih i tehnoloških mogućnosti, ali i tradicija struke te lomova s tom i edukacijskom tradicijom diseminacije znanja. Instalirane na WEB-u, runtime ANM verzije za uporabu u raznim područjima ljudskog znanja i djelovanja, predstavljaju porazdjeljenu inteligenciju i znanje, i time se bitno razlikuju od konvencionalnih programa, knjiga i tablica.

O posljedicama (ove evolucije – započete još 1943. godine) može svaki konstruktor kontemplirati u svojoj jedinstvenoj osami.

LITERATURA

- [1] McCulloch, W. S.; Pitts, W.: *A logical calculus of the idea immanent in nervous activity*, Bulletin of Mth/Biophysics, 5, 1943., 115.-133.
- [2] Žagar, Z.: *Knowledge Based System for GLULAM Laminated Structures*, u IABSE Colloquium: Expert Systems in Civil Engineering, Bregamo (Italija), 1989., 239.-248.
- [3] Delić, D.: *Optimalni dizajn drvenih konstrukcija s GURU ljuskom*, diplomski rad, Građevinski fakultet Zagreb, 1990.
- [4] Žagar, Z.: *Ekspertni sustavi, skripta* (interno izdanje), Građevinski fakultet Zagreb, 1991.
- [5] Ghaboussi, J.; Gavvet, J. H.; Wu, H.: *Knowledge-Based Modeling of Material Behavior with Neural Networks*, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 117, No. 1, pp 132-153, 1991.
- [6] Žagar, Z.: *Knowledge Based Expert System for GLULAM Structure Design*, u TRADA conference: Intern. Timber Engineering Conference Proceedings, London, 1991., Vol. 2.
- [7] Žagar, Z.; Delić, D.: *U realnom vremenu kompjutorom regulirane konstrukcije*, Zbornik 6. Seminarja Računalnik v gradbenom inžinirstvu, Univ. v Ljubljani, FAGG, Ljubljana 1992., 174.-181.
- [8] Žagar, Z.; Delić, D.: *Expert System for the Design of 3D GLULAM One-bay Structures*, ICCE Proceedings of the Internat. Conference on Computer Aided Engineering and Design, China Eng. Soc. and China Exploration and Design Ass., Beijing, 1993., 52.-59.
- [9] Žagar, Z.; Delić, D.: *Intelligent Computer integrated Structures: a New Generation of Structures*, u Advanced Technologies: architecture, planning, civil engineering, Elsevier, 1993., 52.-59.
- [10] Žagar, Z.; Delić, D.: *Intelligent Computer Integrated Structures*, Microcomputer in Civil Engineering 8 (1993), 57.-65.
- [11] Lawrence, J.: *Introduction to neural Network Design*, Theory and Application, California Scientific Software, 1993 Nevada City.
- [12] *Priručnik za primjenu NeuroShell2 for Widows*, Ward System Group, Inc., Frederic, USA, 1993.
- [13] **** Getting started with Barin-Maker*, Simulated Biological Intelligence, California Scinetific Software, Nevada City, 1993.
- [14] Žagar, Z.; Delić, D.: *In Echtzeit computeregelt Konstruktionen*, Computer controlled structures in realtime, Bauingenieur, Band 69, Heft 2, 1994., 63.-72.
- [15] Žagar, Z.; Delić, D.: *U realnom vremenu kompjutorom regulirane konstrukcije*, materijali znanstvenog skupa: Razvitak i dostignuća tehničkih područja u Hrvatskoj, Zbornik radova Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1994., 36.-55., Ref. 46.
- [16] Jenkins, W. M.: *Neural Networks based Approximations for Structural Analysis*, u Development in Neural Networks and Evolutionary Computing for Civil and Structural Engineers (Ed.B.H.V. Topping), Civil Comp. Press 1995., 23.-35.
- [17] Baletić, B.: *Disertacija, Informacijski kodovi mutantnih oblika i njihova uloga u koncipiranju i vrednovanju stana* Arhitektonski fakultet Sveučilišta u zagrebu, 1995.
- [18] Denić, J.: *Parametarsko projektiranje 3D drvenih hala u GEOSTAR-u uz primjenu FE analiza s COSMOS/M programom*, diplomski rad, Građevinski fakultet Zagreb, 1996.
- [19] Bjelanović, A.: *Prikaz EC5 standarda u obliku ekspertnog sustava*, magistarski rad, Građevinski fakultet Zagreb, 1996.
- [20] Saler, V.: *Bezrazorne metode određivanja mehaničkih karakteristika drva*, magisterij, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1996.
- [21] Tkalčević, I.: *Parametarsko projektiranje 3D hala od drvenih lukova primjenom ANN*, diplomski rad, Građevinski fakultet Zagreb, 1997.
- [22] Gabrić, I.: *Parametarsko projektiranje trozglobnih lukova i ANM*, diplomski rad., Građevinski fakultet Zagreb, 1997.
- [23] Žagar, Z.; Bjelanović, A.: *CN(EC5) Standards for Design of Timber Structures in Expert System Form*, u Symposium report: Computers in the Practice of Building and Civil Engineering, Worldwide ECCE Symposium, Lahti (Fin.), 1997., 228.-232.
- [24] Delić, D.: *Design of Structural Elements by use of Expert Networks*, u Symposium report Computers in the Practice of Building and Civil Engineering, Worldwide ECCE Symposium, Lahti (Fin.), 1997., 141.-148.
- [25] Džajić, I.: *Ekspertni sustavi: NM za dizajn montažnih mostova*, seminarski rad iz predmeta Ekspertni sustavi na poslijediplomskom studiju Građevinskog fakulteta u Zagrebu, 1999.
- [26] Yamamoto, K.: *Neural Network and Computer Simulation in Structural Engineering, Bridging the generations*, The future of Computer-Aided Engineering, Dept. of Civil and env. Engineering, Carnegie Mellon Univ., 1999., 227.-230.
- [27] Janjuš, G.: *Projektiranje 3D sustava GLULAM trapezних nosača pomoću živčane mreže*, diplomski rad, Građevinski fakultet, Zagreb, 2000.
- [28] Bjelanović, A.: *Umjetna inteligencija u proračunju i dizajnu drvenih konstrukcija*, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, rujana 2001.