

ANALIZA KRAJINSKIH TIPOV Z UPORABO UMETNIH NEVRONSKIH MREŽ

ANALYSIS OF LANDSCAPE TYPES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Lidija Breskvar Žaucer, Janez Marušič

UDK: 004:712

IZVLEČEK

Členitev krajine je težavna predvsem zaradi njene holistične narave. Krajinski strokovnjaki so sposobni intuitivno razpoznati krajinske enote, ki so enovite v pogledu morfoloških in fizičnih dejavnikov. Vendar je s tako »gestalt« zaznava mogoče razpozнатi le tiste krajinske enote, ki izstopajo iz širšega prostora in so jasno razpoznavne. Členitev pogosto zveznih in mehkih prehodov med njimi ob tem velikokrat ostaja problem. Drug pogosti pristop k členitvi krajine je jasen in ponovljiv parametrični pristop. Krajinske enote določa enostavna kombinacija fizičnih dejavnikov. Vendar je morda krajina preveč kompleksen sistem za tako poenostavljanje.

V iskanju ustreznejših metod členitve krajine je bila preverjena uporabnost umetnih nevronske mreže. Raziskava je slonela na podatkih o znanih krajinskih vzorcih, ki so jih strokovnjaki identificirali na območju krajinske enote »kraške krajine notranje Slovenije« in jih uvrstili v 7 skupin krajinskih tipov. Na podlagi njihovih znanih lokacij in prostorskih značilnosti so se bile nevronske mreže sposobne naučiti splošnih pravil pojavljanja krajinskih tipov v prostoru ter jih uporabiti za tipološko členitev preostalega območja obravnave. Nevronske mreže so se izkazale za uporabno orodje predvsem zaradi sposobnosti učenja in pospoljevanja.

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.02

ABSTRACT

Landscape classification is a demanding task, mainly because of landscape's holistic nature. Landscape experts are able to intuitively recognize landscape units which, regarding the morphological and physical factors, prove unified and homogeneous. But with such »gestalt« perception only those landscape units can be recognized that differ from the wider area and are evidently distinguishable. The classification of usually smooth and fuzzy passages between them often presents a problem. Another frequent approach to landscape classification is a clear and repeatable parametric approach. Landscape units are defined by simple combination of physical factors. But landscape is too complex system for such simplification.

In search of new methods of landscape classification the usability of artificial neural networks was tested. Their application was based on landscape samples that experts identified in the area of »Karst landscape of the interior of Slovenia« and classified into 7 landscape types. Based on their known locations and on their spatial characteristics, artificial neural networks were able to learn the general rules of spatial occurrence of landscape types and use them for typological classification of the remaining territory. Artificial neural networks proved to be a very useful tool, mainly because of their ability to learn and to generalize.

KLJUČNE BESEDE

krajinska tipologija, uvrščanje, nevronske mreže, GIS

KEY WORDS

landscape typology, classification, neural networks, GIS

1 UVOD

Prepoznavanje in ovrednotenje krajin je predpogoj za njihovo uspešno varstvo (Evropska konvencija o krajini, 2000). Tipološka klasifikacija krajin v tem pogledu služi prvenstveno kot strokovna podlaga za prostorsko načrtovanje, ki je eden glavnih mehanizmov za uresničevanje ciljev varstva in urejanja krajin. Ta zajema opredelitev običajno hierarhično strukturiranega tipološkega sistema krajin v izbranem prostoru ter opredelitev prostorske pojavnosti v tipološkem sistemu opredeljenih krajinskih tipov. Pri slednjem gre za členitev krajinskega prostora v prostorske enote enovitega značaja oz. skupnih značilnosti, ki opredeljujejo krajinski tip, pri čemer se isti krajinski tip praviloma pojavlja večkrat v različnih delih prostora. Tipološko urejenim krajinskim enotam je mogoče pripisati usmeritve za razvojne posege v prostor, vendar le, če imajo te jasno določene ostre meje ter pokrivajo celotno območje, ki ga načrtujemo. Taka členitev krajine je težka, saj je krajina kompleksen kontinuum, v katerem deluje načelo medsebojne povezanosti vseh med seboj različnih sestavin v celoto (Antrop, 1997; Kučan, 1998; Naveh, 2000).

Zaradi velike stopnje kompleksnosti in povezanosti sestavin v krajini so mnogi krajinski strokovnjaki mnenja, da je krajino treba proučevati na holističen ali »gestalt« način (Antrop, 1997; Palang in sod., 2000; Naveh, 2001). Osnovni princip holizma pravi, da je celota več kot le vsota njenih elementov (Aristoteles, 1999). Zato je v skladu s tem principom krajino treba proučevati kot nedeljivo celoto. Predvsem zaradi naše sposobnosti posploševanja posameznosti smo krajinski strokovnjaki z intuitivnim in celostnim dojemanjem in doživljjanjem videzne podobe krajine sposobni razpozнатi krajinske individuume, enote oziroma vzorce, ki se kažejo kot enoviti v pogledu morfoloških in fizičnih dejavnikov. Vendar le tiste krajinske vzorce, ki izstopajo iz širšega prostora in so jasno razločljivi. Zaradi pogosto bolj ali manj zveznega prehajanja krajin med seboj (Forman in Godron, 1986), bi tako opredeljevanje krajinskih vzorcev pomenilo risanje otokov. Tipološko opredeljevanje vmesnega krajinskega prostora in zarisovanje mej med krajinskimi vzorci na holističen način pa bi označevala prevelika mera negotovosti in subjektivnosti.

Drugi, predvsem zaradi večje objektivnosti pogosteje uporabljeni pristop tipološke klasifikacije krajin je jasen in ponovljiv parametrični pristop. Pojavljanje krajinskih tipov v prostoru je običajno opredeljeno s statistično metodo na osnovi bolj ali manj enostavne kombinacije izbranih fizičnih dejavnikov, ki so nosilci morfoloških značilnosti krajine (Mitchell, 1973; Jug, 1995). Vendar pristop, ki pogosto sloni na enostavnih predpostavkah, kot na primer na linearni odvisnosti in normalni porazdelitvi, pretirano poenostavlja kompleksnost krajin. S parametričnim pristopom obravnave krajin se izgublja integralna celovitost oziroma se zanemarja prostorska in funkcionalna koherenca v krajini (Stritar, 1990). Oba pristopa, parametričnega in holističnega, je uporabila Mimi Urbanc (2002), ki je opravila poglobljeno študijo tipološke ureditve kulturnih krajin v Sloveniji.

Raziskavo, opisano v članku, je spodbudila želja po preizkusu metode tipološke členitve krajinskega prostora, ki bi obravnavala krajino kot kompleksen sistem. Metoda naj bi hkrati vključevala sposobnost posploševanja, s katero bi bilo omogočeno razbiranje najbolj osnovnih značilnosti, po katerih se krajine med seboj razlikujejo. Uporaba take metode bi lahko zmanjšala negotovost

in subjektivnost opredeljevanja mej med območji krajinskih tipov.

Nove možnosti prinaša razvoj umetne inteligence. Eno od področij umetne inteligence so umetne nevronske mreže. Te so poenostavljeni matematični, računalniško podprt modeli človeških možganov (Hafner, 1999) ali, kot pravi Kasabov (1996), model za reševanje problemov in organizacijo znanj na »človeški« način. Gre za sistem enostavnih procesnih enot ali elementov, imenovanih umetni nevroni, organiziranih in povezanih med seboj z usmerjenimi povezavami v mrežo. Njene glavne značilnosti so:

- sposobnost učenja, kar pomeni, da njihovo delovanje ne sloni na predpostavkah, pač pa na naučenem iz znanih primerov;
- sposobnost reševanja kompleksnih problemov in obravnave nelinearnih sistemov, kakršna je tudi krajina; z učenjem pridobljeno znanje je enakomerno porazdeljeno po celotni strukturi nevronske mreže, kar omogoča pomnjenje in razpoznavo vzorcev in celot;
- sposobnost pospoljevanja in delovanja na podlagi nepopolnih podatkov, saj so sposobne sklepati, kakšen naj bi bil manjkajoči del podatkov.

V literaturi je mogoče zaslediti hiter porast uporabe umetnih nevronske mrež v geoznanosti. Najpogosteje jih uporabljajo za razpoznavo vzorcev in klasifikacijo (Lees, 1996; Openshaw in sod. 1997).

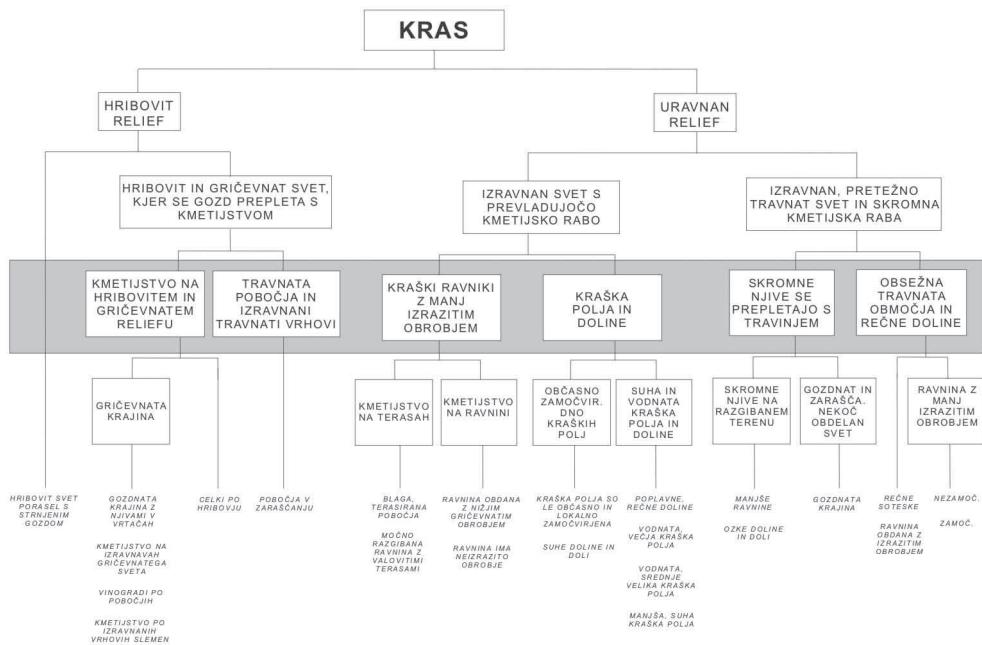
Hipoteza raziskave pravi, da so umetne nevronske mreže sposobne iz znanih vzorčnih primerov pojavljanja krajinskih tipov v prostoru, to je znanih in v tipološke skupine urejenih krajinskih vzorcev, razpoznati in se naučiti splošnih zakonitosti oz. pravil pojavljanja obravnava krajinskih tipov v prostoru. Naučene mreže naj bi bile sposobne tipološko opredeliti preostali prostor obravnave, vključno z bolj ali manj zveznimi prehodi med območji različnih krajinskih tipov.

2 MATERIAL IN METODA

2.1 Opis podatkov

Skupina slovenskih krajinskih strokovnjakov je v okviru naloge Regionalna razdelitev krajinskih tipov v Sloveniji, ki jo je financiralo Ministrstvo za okolje in prostor, opravila pregled in popis slovenskih krajin (Marušič, 1995; Marušič in Jančič, 1998 b). Neposredno na terenu so na intuitiven in holističen način opredelili temeljne krajinske morfološke enote Slovenije in jih posneli na diapositive. Območje posamezne krajinske morfološke enote imenujemo krajinski vzorec.

V raziskavi o uporabnosti nevronske mrež v krajinski tipologiji so bili uporabljeni podatki o 97 krajinskih vzorcih v območju krajinske enote *Kraške krajine notranje Slovenije*. Kržančič (1998) je omenjene krajinske vzorce tipološko uredila glede na njihovo videzno pojavnost. S primerjavo vnaprej opredeljenih osnovnih morfoloških določilnic jih je s statistično metodo razvrščanja enot v skupine podobnosti razvrstila v hierarhičen sistem krajinskih tipov (slika 1).



Slika 1: Hierarhični sistem krajinskih tipov kraških krajin notranje Slovenije (Križanič, 1998). Sivina prikazuje sekanje drevesnega dijagrama, katerega rezultat je 7 tipoloških skupin.

V raziskavi je bil obdelan tisti nivo tipološkega sistema, v katerem so krajinski vzorci urejeni v 7 skupin krajinskih tipov (slike 2–9):

Krajinski tip 1: Hribovit svet, porasel s strnjenim gozdom.



Slika 2: Primer krajinskega tipa 1 – Kobile (Marušič s sod., 1998 a).

Krajinski tip 2: Kmetijstvo na hribovitem in gričevnatem reliefu.



Slika 3: Primer krajinskega tipa 2 – Obli vrh (Marušič s sod., 1998 a).

Krajinski tip 3: Travnata pobočja in izravnani travnati vrhovi.



Slika 4: Primer krajinskega tipa 3 – pobočja Podlaške gore (Marušič s sod., 1998 a).

Krajinski tip 4: Kraški ravniki z manj izrazitim obrobjem.



Slika 5: Primer krajinskega tipa 4 – Topol (Marušič s sod., 1998 a).

Krajinski tip 5: Kraška polja in doline.



Slika 6: Primer krajinskega tipa 5 – Strmca (Marušič s sod., 1998 a).

Krajinski tip 6: Skromne njive se prepletajo s travnjem.



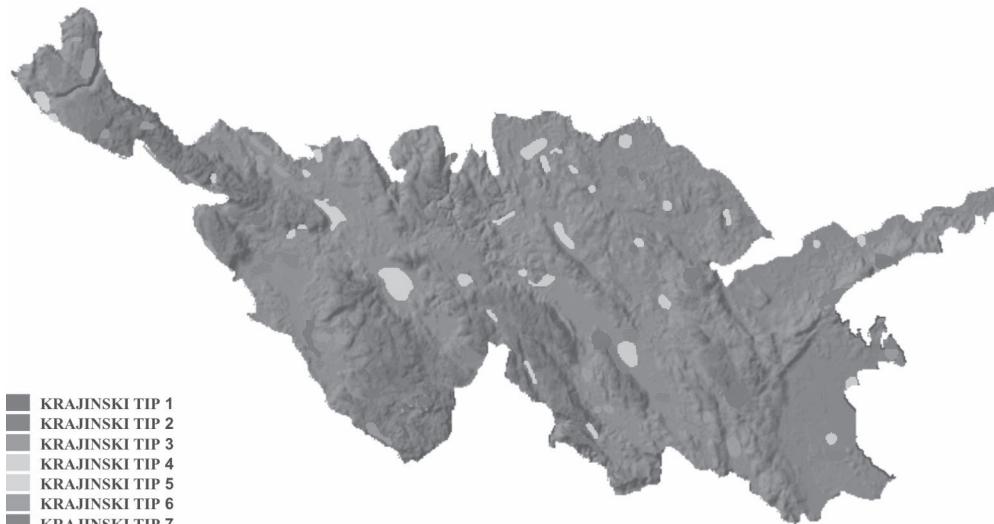
Slika 7: Primer krajinskega tipa 6 – Srednji Lokovec (Marušič s sod., 1998 a).

Krajinski tip 7: Obsežna travnata območja in rečne doline



Slika 8: Primer krajinskega tipa 7 – Bloke (Marušič s sod., 1998 a).

Obravnava prostorskega pojavljanja krajinskih tipov sloni na 12 izbranih fizičnih dejavnikih, ki so opredelilni za pojavnost oz. morfologijo krajinskih vzorcev. Ti so: nadmorska višina, strmina pobočij, izpostavljenost stranem neba, pojavnost gozdov, kmetijskih zemljišč, poselitve, pasovi oddaljenosti od poselitve, matična kamnina - geološka zgradba, pasovi oddaljenosti od največjih strmin pobočij (nad 60 %), povprečna letna temperatura, povprečna letna količina padavin in pasovi oddaljenosti od površinskih voda. Podatki so bili pridobljeni na Ministrstvu za okolje in



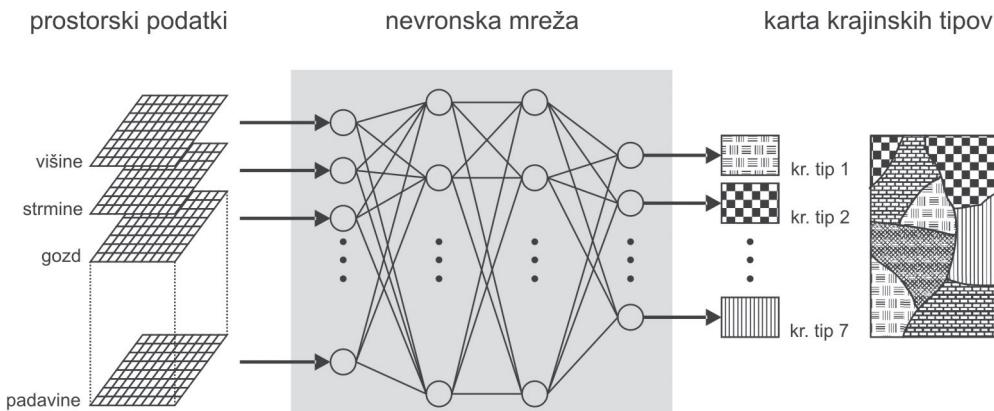
Slika 9: Tipološko urejeni krajinski vzorci Kraških krajin notranje Slovenije.

prostор. Vsi so v rastrskem zapisu z natančnostjo 100 x 100 metrov. Celotno območje obdelave obsega približno 4820 km² ozziroma ga prikazuje 481 908 prostorskih celic. Prostorske celice, opisane s fizičnimi dejavniki, predstavljajo posamezne primere, ki jih mreža procesira.

2.2 Opis postopka

Cilj raziskave je uporabiti nevronske mreže kot orodje klasifikacije posameznih prostorskih celic v skupine krajinskih tipov glede na izbrane fizične dejavnike (slika 10).

V ta namen so bili v prvem koraku podatki pripravljeni v obliki, primerni kot vhod v nevronske

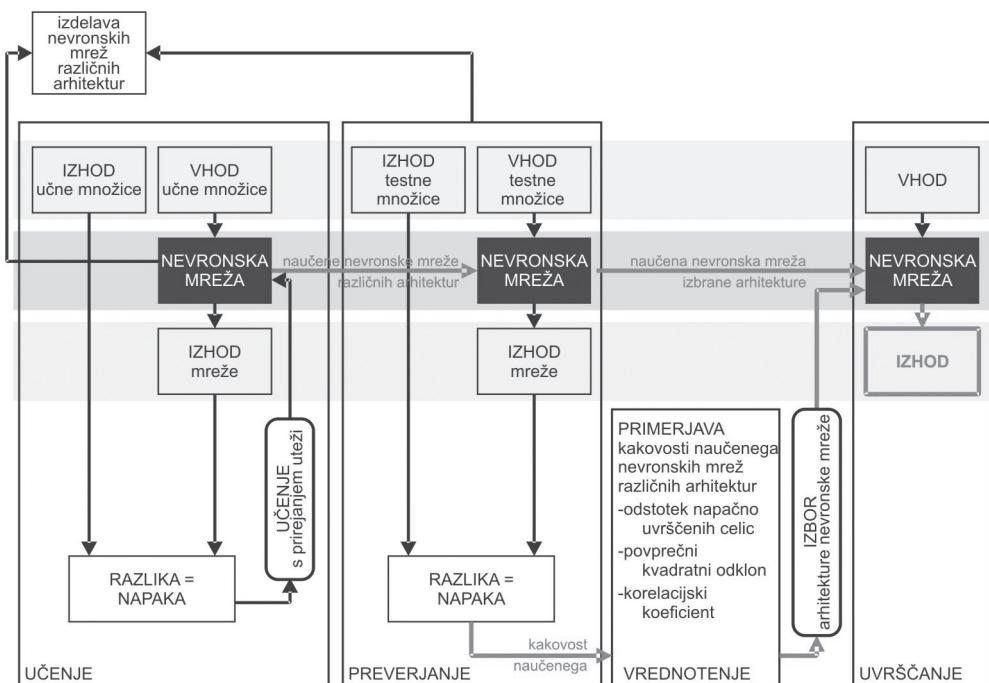


Slika 10: Nevronska mreža kot orodje uvrščanja prostorskih celic v skupine krajinskih tipov.

mrežo. V drugem koraku je bila izbrana najustreznejša arhitektura mreže za dano naložo in njeno učenje na prostorskih celicah znanih krajinskih vzorcev. Tako naučena mreža je bila v naslednjem koraku uporabljena za klasifikacijo preostalih prostorskih celic v tipološke skupine. Postopek je potekal s programi *ESRI ArcInfo* in *Matlab* z *Neural Network Toolbox*.

Prostorske celice, ki predstavljajo krajinske vzorce in so torej tipološko že razvrščene, predstavljajo množico, na kateri poteka učenje mreže. Med njimi je bil opravljen naključen izbor učnih primerov, ki neposredno služijo učenju mreže, in testnih primerov, ki služijo testiranju kakovosti delovanja naučene mreže. Množici učnih in testnih primerov sta reprezentativni in med seboj neodvisni. Vsako od 7 skupin krajinskih tipov predstavlja 1000 učnih in 500 testnih primerov.

Uporabljena je bila večnivojska usmerjena nevronска mreža z učnim algoritmom BPG. Gre za pogosto uporabljeni nevronski mreži predvsem zaradi njihove lahke razumljivosti in dostopnosti (Lees, 1996; Openshaw in sod., 1997). V njej so umetni nevroni urejeni v nivoje, pri čemer so nevroni, ki prejemajo vhodne podatke, nevroni vhodnega nivoja, tisti, ki posredujejo končni rezultat, nevroni izhodnega nivoja, preostali pa nevroni skritih nivojev. Število nevronov vhodnega nivoja je 59, kar je enako številu vrednosti fizičnih dejavnikov. Število nevronov izhodnega nivoja je 7, kar ustreza številu razredov krajinskih tipov. Primerjava delovanja tri- in štirinivojske nevronске mreže na manjšem testnem območju je pokazala, da je za dano naložo ustreznejša trinivojska mreža.



Slika 11: Postopek izbora arhitekture nevronске mreže.

V naslednjem koraku je sledil izbor ustreznega števila nevronov skritega nivoja, ki je zopet slonel na primerjavi kakovosti delovanja mrež različnih arhitektur. Postopek je obsegal:

- izdelavo 7 trinivojskih mrež z izbranimi arhitekturami;
- nadzorovano učenje izdelanih mrež;
- testiranje kakovosti delovanja naučenih mrež;
- primerjavo in izbor mreže z najustreznejšo arhitekturo.

Učenje vseh mrež je potekalo na isti učni množici. Učni algoritem BPG proces učenja usmerja v iterativno pripajanje uteži med nevroni, ki poteka sočasno s postopnim vstopanjem učnih primerov v mrežo. V utežeh povezav med nevroni se dejansko shranjuje naučeno. Testna množica je v procesu učenja služila pravočasni prekiniti učenja, in sicer v točki, v kateri je mreža dovolj natančno naučena pravil klasifikacije in so naučena pravila hkrati dovolj splošna za klasifikacijo novih primerov (angl. *early stopping*).

Kakovost delovanja naučenih mrež je bila ocenjena z:

- odstotkom napačno uvrščenih celic (*nap*),
- Pearsonovim koeficientom korelacije (*r*) in
- povprečnim kvadratnim odklonom (*mse*).

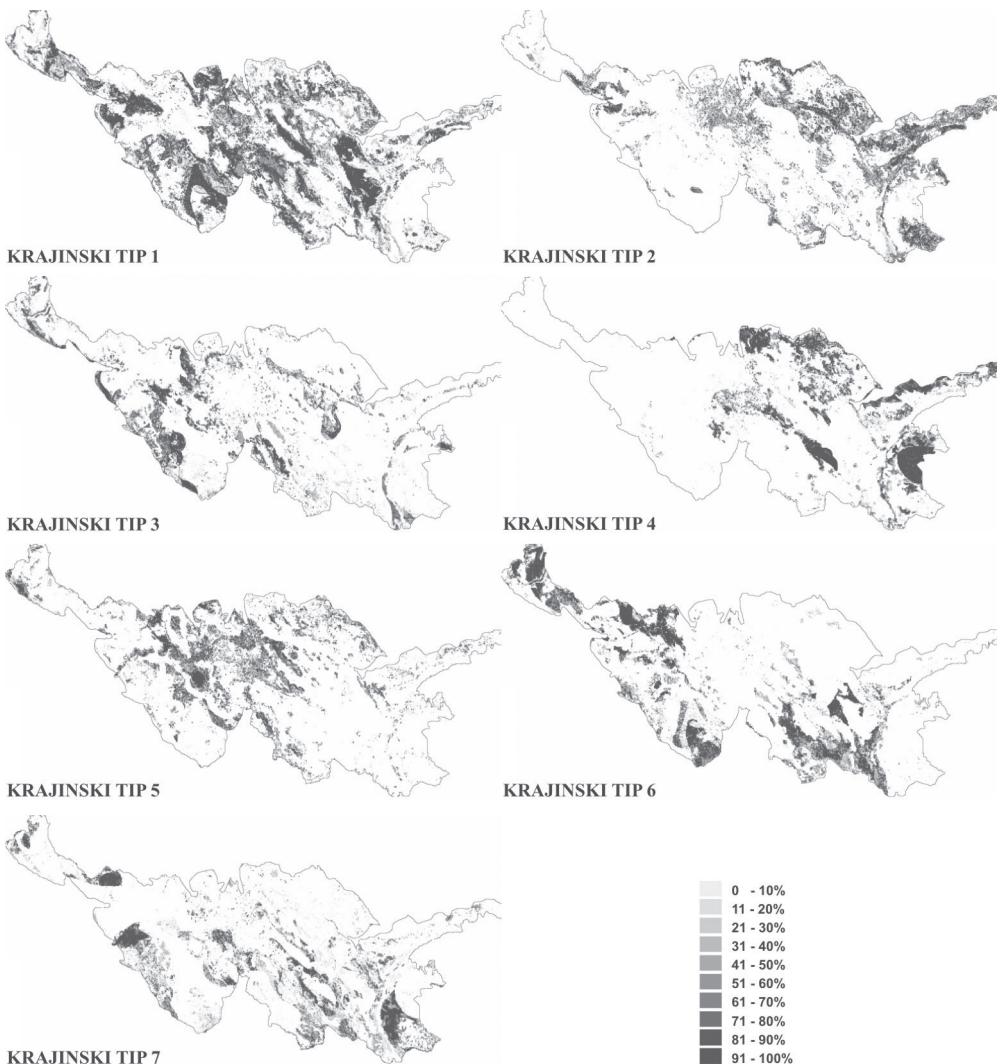
Kot nevronska mreža z najustreznejšo arhitekturo je bila izbrana mreža s 50 skritimi nevroni (59:50:7), katere kakovost klasifikacije je bila ocenjena z najvišjim korelačijskim koeficientom, najmanjšim odstotkom napačno uvrščenih celic in najmanjšim povprečnim kvadratnim odklonom (preglednica 1).

<i>arhitektura mreže</i>	<i>čas (s)</i>	<i>r</i>	<i>nap (%)</i>	<i>mse (%)</i>
57:15:7	1200	0,829	18,26	2,51
57:20:7	1742	0,839	16,69	2,16
57:30:7	1563	0,837	16,77	2,29
57:50:7	1878	0,844	16,29	2,14
57:70:7	1827	0,844	16,66	2,17
57:90:7	2120	0,843	16,40	2,23
57:110:7	2766	0,845	16,54	2,21

Preglednica 1: Primerjava kakovosti delovanja mrež različnih arhitektur.

3 REZULTATI

Izbrana mreža je uvrstila ostale prostorske celice tako, da je vsaki priredila 7 vrednosti. Te so bile zaradi izbrane sigmoidne izhodne funkcije nevronov izhodnega nivoja podane v razponu od 0 do 1. Normalizirane vrednosti ustrezajo stopnji pripadanja celice posameznim krajinskim tipom. Pripadanje celice več krajinskim tipom hkrati sloni na predpostavki, da območja krajinskih tipov med seboj bolj ali manj zvezno prehajajo in torej take celice predstavljajo prostor prehajanja krajinskih tipov med seboj. Slika 12 prikazuje območja krajinskih tipov z mehkimi robovi.



Slika 12: Prostorski prikaz posameznih krajinskih tipov.

Krajinski tip 1 – hribovit svet, porasel s strnjениm gozdom – se pojavlja v zahodnem delu Trnovskega gozda, na Nanosu, Hrušici, Javornikih, pobočjih pod Snežnikom, na Velikem Snežniku, Slivnici, Racni gori, visokih in strmih predelih Goteniške gore, Veliki gori, vzhodnih pobočjih Stojne, na višjih in strmih delih Gorjancev, zelo razločno pa na karti izstopata tudi Mala gora in Kočevski rog.

Krajinski tip 2 – kmetijstvo na hribovitem in gričevnatem reliefu – se pojavlja v višjih predelih Bele krajine, predvsem v Velikem Bukovju. Pojavlja se še v Suhi krajini, na pobočjih Gorjancev in pobočjih, ki s severa zamejujejo Dolenjsko podolje.

Krajinski tip 3 – travnata pobočja in izravnani travnati vrhovi – se pojavlja na zahodnih in južnih pobočjih Nanosa, južnem robu Trnovske planote, prisojnih pobočjih zahodnega dela Snežnika nad Ilirsko Bistrico in Pivškim podoljem, na pobočjih med Postojno in Hrušico, na Menišiji, v pasu pobočij med Rakitno in Krimom, na južnem delu Goljanske planote, položnejših pobočjih Goteniške gore in območjih južno od Drašičev.

Krajinski tip 4 – kraški ravniki z manj izrazitim obrobjem – se pojavlja v Dolenjskem podolju, Ribniško-Kočevskem podolju, severnem delu Bele krajine in na severnih pobočjih Gorjancev, ki prehajajo v Novomeško kotlino. Na karti nekoliko manj izstopajo položni deli Suhe krajine, območje od Velikih Lašč do Bloške planote ter Loško polje.

Krajinski tip 5 – kraška polja in doline – se pojavlja na območjih Cerkniškega polja, Planinskega polja, Logaškega polja in kraških polj v okolini Grgarja.

Krajinski tip 6 – skromne njive se prepletajo s travnjem – se pojavlja na območjih Lokovške planote, zahodnega dela Banjšic, večjega dela Trnovskega gozda, Zadloško-Črnovske planote, Logaške planote, Rakovega Škocjana, osrednjega dela Snežnika, Goteniške doline, Poljanske doline in zakraselega dela Kočevskega roga.

Krajinski tip 7 – obsežna travnata območja in rečne doline – se pojavlja na območjih Banjšice, Črnovrške planote, Postojnske kotline, delih Bloške planote, na Babnem polju, na zahodnem delu Kočevske kotline od reki Rinži in zahodnem delu Bele krajine.

Izračunana je bila mera »stopnja prekrivanja« (angl. *confusion index* – CI), ki ob predpostavki, da se krajinski tipi v prostoru pojavljajo kot mehke množice, pomeni mero prekrivanja območij različnih krajinskih tipov (Burrough s sod., 1996). Stopnja prekrivanja je izračunana kot razlika med prvo dvema najvišjima vrednostma pripadanja posameznih prostorskih celic posameznim razredom krajinskih tipov:

$$CI_{j,i} = I \cdot (X_{j,i}^{\max 1} - X_{j,i}^{\max 2})$$

i – prostorska celica

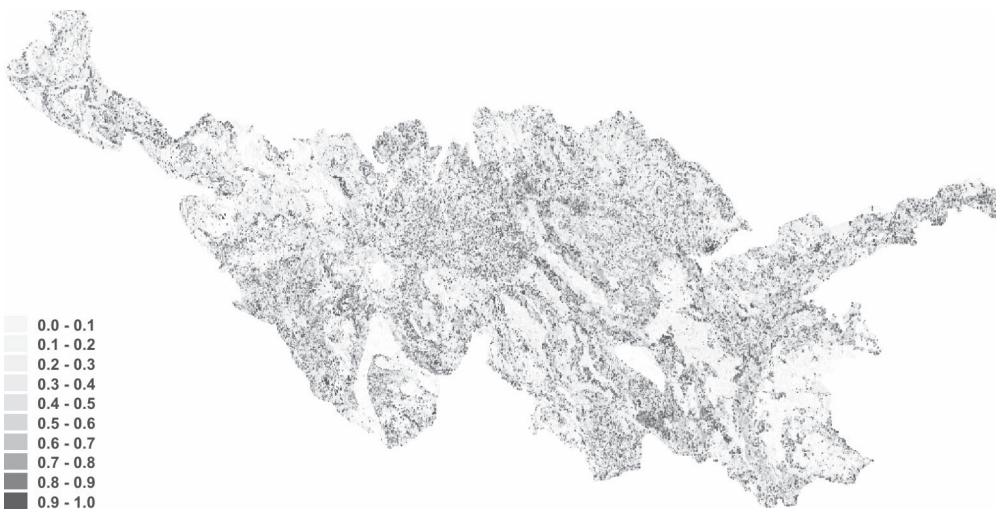
j – krajinski tip

CI – stopnja prekrivanja

$X_{j,i}^{\max 1}$ – 1. najvišje pripadanje celice kr. tipu

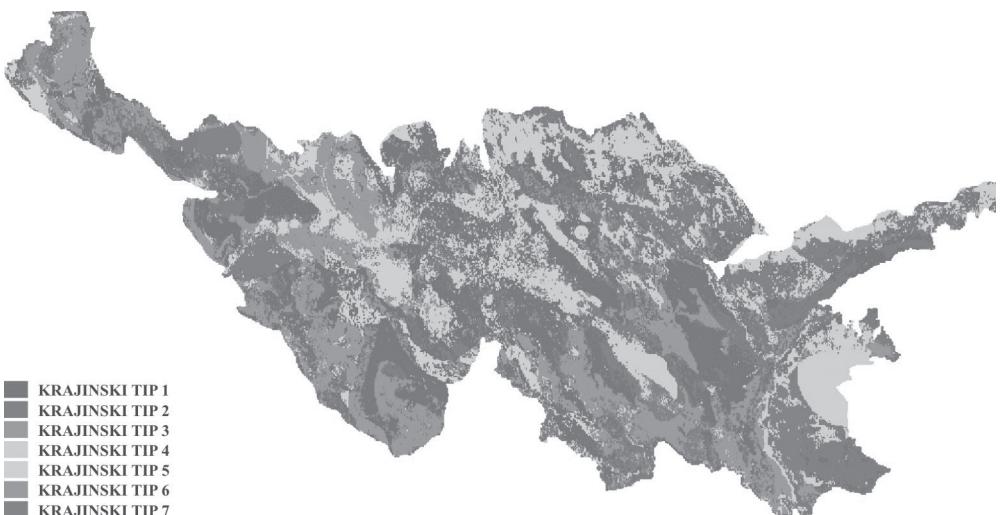
$X_{j,i}^{\max 2}$ – 2. najvišje pripadanje celice kr. tipu

Vrednosti stopnje prekrivanja so v intervalu med 0 in 1, pri čemer vrednost 0 pridobi prostorska celica, ki z gotovostjo pripada enemu od razredov krajinskih tipov, medtem ko vrednost 1 pridobi tista prostorska celica, ki z enako stopnjo pripada dvema tipološkima razredoma hkrati. Celice z visoko vrednostjo stopnje prekrivanja lahko predstavljajo območja prehajanja krajinskih tipov med seboj. Rezultat prikazuje karta prehajanja krajinskih tipov (slika 13).



Slika 13: Karta prehajanja krajinskih tipov.

Karta prehajanja prikazuje visoko stopnjo prekrivanja območij krajinskih tipov na celotnem območju krajinske enote Kraških krajin notranje Slovenije. Nedvoumno dobljena večja in sklenjena območja krajinskih tipov, ki so na karti prekrivanja označena s svetlo barvo, se pojavljajo le na območjih Snežnika, Hrušice, Kočevske kotline, Kočevskega roga, Bele krajine in Cerkniškega jezera. Jasno so razvidna kraška podolja. Stopnja prekrivanja pa je večja v območjih osrednjega dela Notranjske planote, Suhe krajine in Radohe, kjer je raznolikost krajinske morfologije dejansko opazna na krajših razdaljah. Na karti ni opaziti bolj ali manj sklenjenih linij prehajanja med krajinskimi tipi, ampak so območja prekrivanja drobno členjena. Problem zelo verjetno izhaja iz



Slika 14: Skupna karta krajinskih tipov.

značilnosti metode. V procesu uvrščanja posameznih celic v tipološke razrede vpliv stanja sosečine celic ni bil upoštevan.

Ob predpostavki, da prostorsko celico označuje le en krajinski tip, stopnja pripadanja ustreza gotovosti uvrščanja, stopnja prekrivanja pa pomeni nasprotno – stopnjo negotovosti uvrščanja. Izhodi mreže so v tem primeru preklasificirani v binarni zapis, pri čemer je celica uvrščena v razred z najvišjo vrednostjo pripadanja. Rezultat je skupna karta krajinskih tipov (slika 14).

4 ZAKLJUČEK

Prikazano raziskavo lahko obravnavamo predvsem kot enega od poskusov obravnave krajine na način, da se ne izgubi njena celovitost. V ta namen so bile uporabljene nevronске mreže predvsem zaradi njihovih sposobnosti učenja iz izkušenj, uporabe naučenega na novih primerih ter sposobnosti generalizacije. Rezultati raziskave po subjektivni oceni prikazujejo realno pojavljanje krajinskih tipov v prostoru. Nevronse mreže so se izkazale za uspešno orodje krajinske tipološke klasifikacije.

V nadalnjih raziskavah bi bilo treba z drugimi metodami preveriti tipološki sistem krajin, ki je pomenil osnovno izhodišče raziskave. Ponovno bi bilo treba preveriti tudi izbor fizičnih dejavnikov prostora, na podlagi katerih je bilo opredeljeno pojavljanje krajinskih tipov v prostoru, preveriti uporabnost tudi drugih učnih algoritmov in drugih tipov nevronskih mrež, predvsem pa v raziskavo na ustrezenu način vključiti značilnost delov prostora, tj. prostorsko ovisnost oz. prostorsko avtokorelacijo.

Poglavitna težava uporabe nevronskih mrež je vsekakor princip njihovega delovanja kot črna skrinjica. Odkrita in naučena pravila krajinske klasifikacije ostajajo vseskozi skrita v mreži. Statistična obdelava rezultatov, kot je na primer izračunana napaka uvrščanja ali vpliv posameznih vhodnih podatkov na izhod mreže, sicer črno skrinjico vsaj delno pretvarjajo v sivo. Kljub temu je argumentacija rezultatov brez transparentno prikazanih pravil, ki bi jih bilo mogoče dopolnjevati in popravljati ob upoštevanju vrste drugih kriterijev, težka in je zato njihovo sprejetje v veliki meri stvar zaupanja v tehnologijo. Vloga nevronskih mrež v krajinski tipologiji je lahko zato predvsem v podajanju novih informacij oziroma dodatnih inputov, ki olajšajo odločitev o območjih krajinskih tipov.

Literatura in viri:

- Aristoteles, prevod Kalan, V. (1999) *Metafizika*. Ljubljana: Založba ZRC SAZU.
- Antrop, M. (1997). *The Concept of Traditional Landscapes as a Base for Landscape Evaluation and Planning. The Example of Flanders Region*. *Landscape and Urban Planning*, 38, 105–117.
- Burrough, P. A., McDonnell, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press.
- Evropska krajinska konvencija. Council of Europe, Florence, 20. X. 2000, ETS No. 176.
- Forman, R. T. T., Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & Sons.
- Jarvis, C. H., Stuart, N. (1996). *The Sensitivity of a Neural Network for Classifying Remotely Sensed Imagery*. *Computers & Geosciences*, 22 (9), 959–967.
- Jug, M. (1995). *Razvrščanje krajinskih območij Slovenije na osnovi digitaliziranih prostorskih podatkov*, Ljubljana:

Biotehniška fakulteta, Oddelek za krajinsko arhitekturo.

Križanič, V. (1998). Tipološka členitev krajine s pomočjo metode razvrščanja vzorcev. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za krajinsko arhitekturo.

Kučan, A. (1998). Krajina kot nacionalni simbol. Ljubljana: Znanstveno in publicistično središče.

Lees, B.G. (1996). Neural Network Applications in the Geosciences: an introduction. Computers & Geosciences, 22 (9): 955–957.

Marušič, J. (1995). Značilni krajinski vzorci Slovenije – po projektu: Regionalna razdelitev krajinskih tipov Slovenije. Ljubljana: Urad RS za prostorsko planiranje.

Marušič, J. s sod. (1998 a). Kraške krajine notranje Slovenije – po projektu: Regionalna razdelitev krajinskih tipov Slovenije. Ljubljana: Urad RS za prostorsko planiranje.

Marušič, J., Jančič, M. (1998 b). Metodološke osnove – po projektu: Regionalna razdelitev krajinskih tipov Slovenije. Ljubljana: Urad RS za prostorsko planiranje.

*Naveh, Z. (2000). What is Holistic Landscape Ecology? A Conceptual Introduction. *Landscape and Urban Planning*, 50: 7–26.*

*Naveh, Z. (2001). Ten Major Premises for a Holistic Conception of Multifunctional Landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 57: 269–284.*

Openshaw, S., Openshaw, C. (1997). Artificial Intelligence in Geography. Chichester: John Wiley & Sons.

*Palang, H., Mander, U., Naveh, Z. (2000). Holistic Landscape Ecology in Action. *Landscape and Urban Planning*, 50: 1–6.*

Stritar, A. (1990). Krajina, krajinski sistemi – raba in varstvo tal v Sloveniji. Ljubljana: Partizanska knjiga.

Urbanc, M. (2002). Kulturne pokrajine v Sloveniji. Ljubljana: Založba ZRC.

*Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. *Journal of Information and Control*, 8: 338–353.*

Lidija Breskvar Žaucer, univ. dipl. inž. kraj. arh.

BF – Oddelek za krajinsko arhitekturo,

Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: lidija.zaucer@bf.uni-lj.si.

redni prof. dr. Janez Marušič, univ. dipl. inž. agr.

BF – Oddelek za krajinsko arhitekturo,

Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: ivan.marusic@bf.uni-lj.si,

Prispelo v objavo: 19. april 2006

Sprejeto: 1. junij 2006