

UPOREDNI PRIKAZ METODA ZA PREDVIĐANJE PROMENE NAMENE ZEMLJIŠTA I ZEMLJIŠNOG POKRIVAČA NA PRIMERU SLIVA REKE TOPLICE DO 2100. GODINE

Jana PENDIĆ*, Marija MILIĆEVIĆ*, Nikola ĐOKIĆ*, Borislava BLAGOJEVIĆ*, Vladislava MIHAILOVIĆ**

* Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

** Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu

REZIME

Razmatranje faktora koji na nivou sliva, osim promene klime, utiču na budući vodni režim, obuhvata i promene namene zemljišta i zemljišnog pokrivača. Cilj rada je da se ispita učinak tri metode za predviđanje promene namene zemljišta i zemljišnog pokrivača, na primeru sliva reke Toplice do profila hidrološke stanice Doljevac do 2100. godine. Za predviđanje su korišćene metode iz dodatka MOLUSCE u softverskom paketu QGIS v2.18. Uključene su četiri varijante ulaznih podataka dobijene kombinovanjem digitalnog modela visina i pokazatelja: odstojanje od puta, ekspozicija i nagib terena. Dobijene vrednosti koeficijenta kapa i procentualne tačnosti sva tri modela pokazuju dobru saglasnost osmotrenih i simuliranih podataka. Rezultati simulacije promene namene zemljišta do 2100. godine, između ostalog, ukazuju na gubitak retkih na račun gustih šuma i mešovitog šumskog i obradivog zemljišta, kao i stagnaciju urbanih površina, što u budućnosti može uticati na proces formiranja oticaja na slivu.

Ključne reči: rečni sliv, namena zemljišta, zemljišni pokrivač, predviđanje promene, MOLUSCE

1. UVOD

Sistemi namene zemljišta i zemljišnog pokrivača (engl. Land Use and Land Cover - LULC) odnose se na različite klasifikacije i kategorizacije tipova zemljišnog pokrivača i namene zemljišta (skr. NZZP) koji se nalaze

na površini Zemlje [1]. Zemljišni pokrivač predstavlja različite vrste biološkog ili fizičkog pokrivača na površini zemlje, uglavnom u vezi sa prirodnim karakteristikama zemljišta, kao što su šume, livade i poljoprivredno zemljište, ali i izgrađene površine [2]. S druge strane, namenom zemljišta opisuju se svrhe korišćenja zemljišnog pokrivača pod uticajem ljudskih aktivnosti, sa naglaskom na privredne i društvene aspekte [3]. NZZP podaci važni su za praćenje stanja životne sredine, urbanističko planiranje, upravljanje prirodnim resursima i analizu promene namene zemljišta [4]. Tako se modeliranje promene NZZP smatra najboljim alatom za razumevanje i predviđanje dinamike budućeg urbanog širenja [5]. U prirodnim sistemima, promene NZZP-a zajedno sa promenama klimatskih parametara, mogle bi imati značajan uticaj na različite procese u slivu, koji bi doveli do promene režima voda, kvaliteta vode, produkcije rečnog nanosa i slično, a u konačnom do povećanog pritiska na vodne resurse [6].

Modeli predviđanja NZZP promena koriste dva različita koncepta: pristup odozgo nadole i odozdo prema gore. Pristup odozgo prema dole oslanja se na predviđanje budućih promena NZZP-a na osnovu prošlih („istorijskih“) promena NZZP-a, uglavnom korišćenjem podataka dobijenih obradom satelitskih snimaka. Pristupi odozdo prema gore zasnovani su na stvarnim procesima (npr. ankete domaćinstava) i danas postaju sve popularniji [7, 8].

Upotreba alata geografskog informacionog sistema (GIS) za analizu promena NZZP na osnovu podataka daljinske detekcije postala je široko prihvaćen pristup. Daljinska detekcija olakšava pribavljanje podataka za formulisanje dugoročnih planova i programa upravljanja zemljištem. Kombinacija modela Markovljevih lanaca i ćelijskih automata (engl. Cellular Automata – CA),

Podaci o prihvatanju članka

Primljen: 17.6.2024.

Ispravljen: -

Prihvaćen: 28.6.2024.

Kontakt: borislava.blagojevic@gaf.ni.ac.rs

pokazala se efikasnom u predviđanju promena NZZP u brojnim studijama, npr. [6, 9, 10]. Markovljevim lancima modelira se verovatnoća prelaza među NZZP kategorijama, a uloga CA je prostorno usklađivanje tih prelaza.

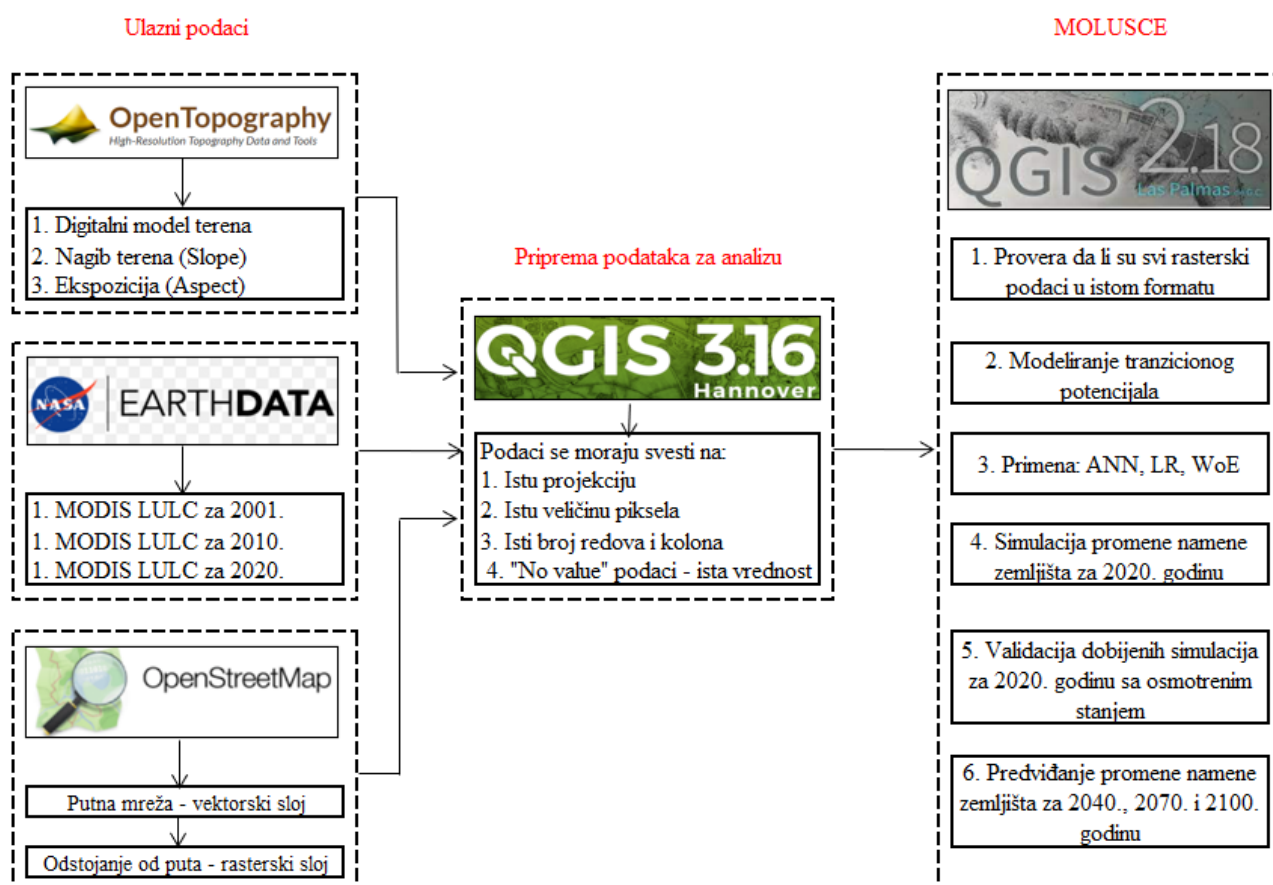
U ovom radu predviđanje NZZP promena urađeno je pomoću dodatka MOLUSCE (Modules of Land Use Change Evaluation) softverskog paketa QGIS. Postavka MOLUSCE jeste kombinacija CA i Markovljevih lanaca, pri čemu se promene NZZP mogu simulirati preko četiri modela/algoritma: veštačke neuronske mreže (ANN), logističke regresije (LR), višekriterijumske optimizacije (MCE) i težine dokaza (WoE). Korišćen je koncept predviđanja odozgo prema dole, na osnovu javno dostupnih satelitskih snimaka.

Cilj rada je ispitivanje tri metode za predviđanje promena NZZP (ANN, LR i WoE) u poluplaninskom

slivu reke Toplice do profila hidrološke stanice Doljevac. Odabrani prediktori (faktori koji utiču na promenu NZZP) su: digitalni model terena (DTM), nagib, ekspozicija i udaljenost od puta, a dobijeni su direktno ili obradom javno dostupnih izvora podataka. Sličan izbor ulaznih podataka dao je dobre rezultate u studijama sprovedenim u regionima van granica Srbije [9, 11-13].

2. METODOLOGIJA

Metodologija korišćena u radu, nedavno je primenjena za analizu NZZP promena u dva, po površini manja sliva [6], u neposrednoj blizini sliva reke Toplice. Slika 1 prikazuje detalje postupka analize promene NZZP primenjene u radu, kroz tri potceline: formiranje ulaznih podataka, predprocesiranje podataka i analizu pomoću dodatka MOLUSCE.

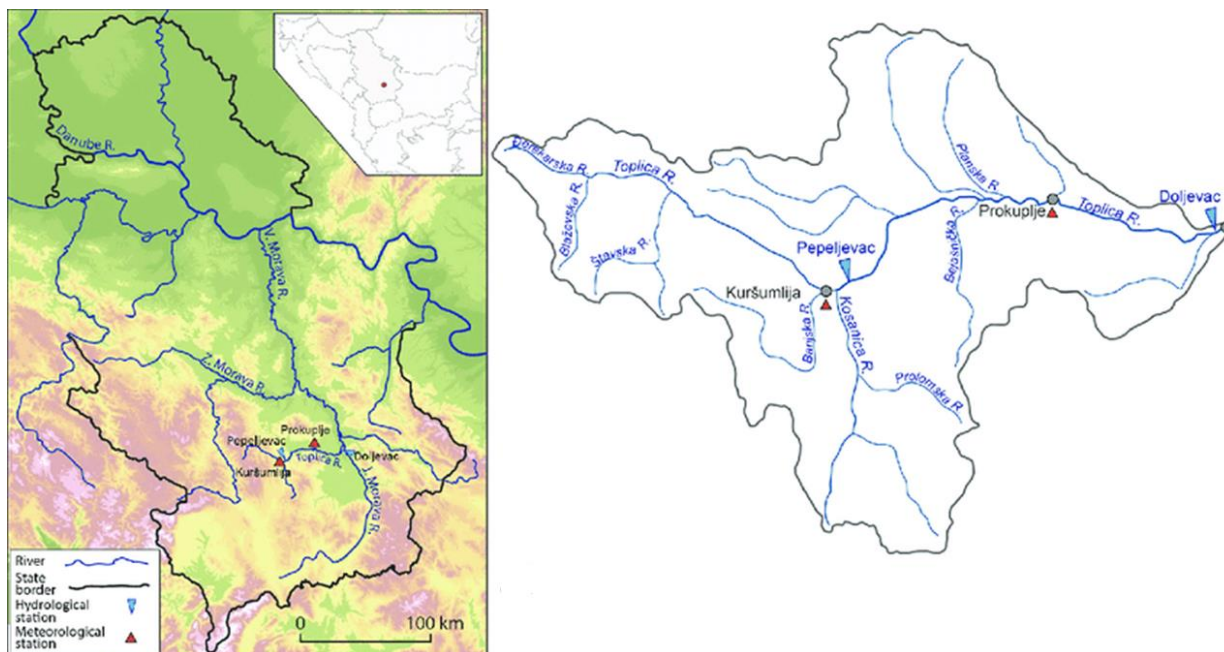


Slika 1. Ilustracija primenjene metodologije. Preuzeto iz [6]

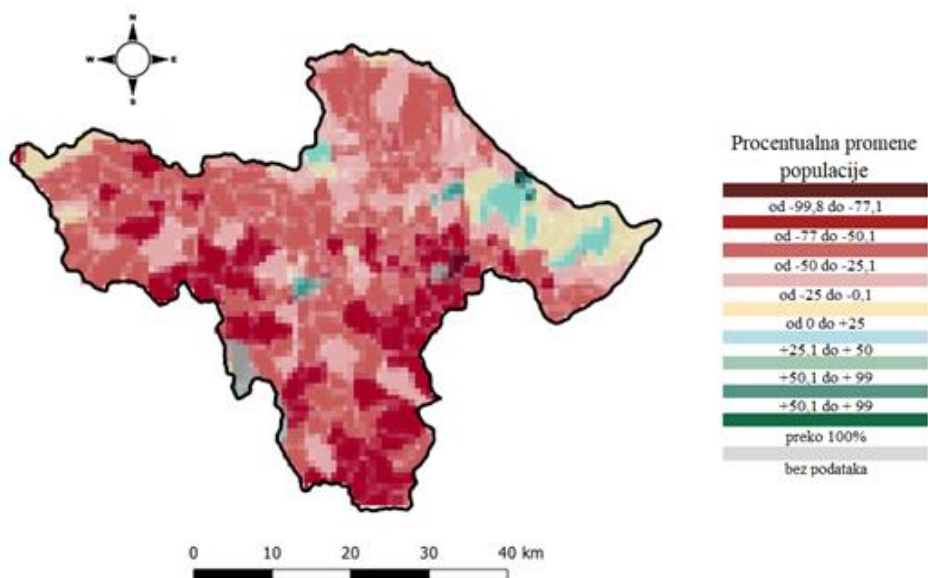
2.1 Ispitivano područje

Sliv reke Toplice nalazi se u južnom delu Srbije, u centralnom delu Balkanskog poluostrva (slika 2). Dolina reke je izdužena u smeru istok-zapad. Reljef je kompleksan: planinski, brdovit i ravničarski, dok nadmorska visina postepeno opada od zapada ka istoku.

Prosečna visina sliva je 633 m n. J. m. Površina sliva do hidrološke stanice Doljevac je 2050 km² [14]. U 2020. godini, šume različite gustine pokrivale su 4/5 površine sliva, a ostatak površine, približno istog udela, bio je pod obradivim zemljištem sa niskom travom i mestimično šumskim i obradivim zemljištem. Ukupno 1% sliva zauzimali su pašnjaci i urbane površine.



Slika 2. Geografski položaj sliva reke Toplice. Preuzeto iz [15]



Slika 3. Promena populacije na teritoriji sliva reke Toplice u periodu 1981-2011. Preuzeto iz [16]

Na slici 3 predstavljeni su podaci o promeni broja stanovnika na razmatranom području u periodu od 1981. do 2011. godine. Crvene nijanse odnose se na odliv stanovništva, dok plavo zelena paleta boja ukazuje na priliv.

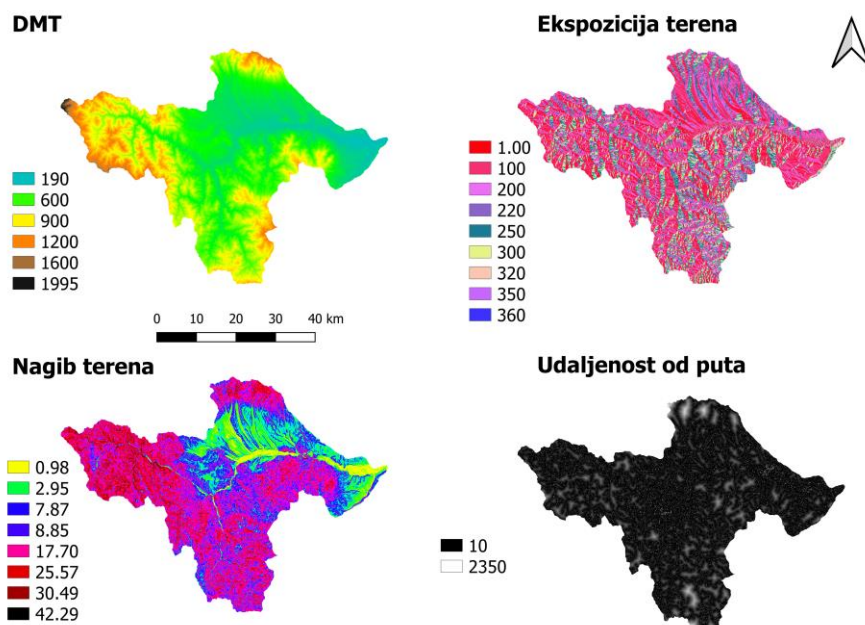
2.2 Korišćeni podaci

Predviđanje promene zemljišnog pokrivača zahteva podatke o faktorima koji utiču na promene u zemljišnom

pokrivaču. Faktori koji se odnose na ljudske delatnosti mogu biti: udaljenost od naselja, reka ili puteva, dok prirodni faktori obuhvataju npr. nadmorsku visinu, ekspoziciju i nagib terena [14]. U tabeli 1 sistematizovane su informacije o podacima korišćeni pri modeliranju promena namene i pokrivača zemljišta na slivu reke Toplice, a na slici 4 prikazane su generisane tematske karte prediktora.

Tabela 1. Informacije o podacima korišćenim za modeliranje

Naziv	Opis	Format	Izvor	Namena u modelu
MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m	NZZP za 2001. godinu	Raster	earthdata.nasa.gov	Ulazni podatak
	NZZP za 2010. godinu			Ulazni podatak
	NZZP za 2020. godinu			Validacija modela
Contitental Europe DMT	Digitalni model terena	Raster	opentopography.org	Prediktor
Aspect	Ekspozicija terena			
Slope	Nagib terena			
Roads	Putna mreža konvertovana u kartu udaljenosti od puta	Vektor u raster	openstreetmap.org	



Slika 4. Tematske karte prediktora: DMT, ekspozicija, nagib, udaljenost od puta

2.3 Kategorije namene zemljišta i zemljišnog pokrivača

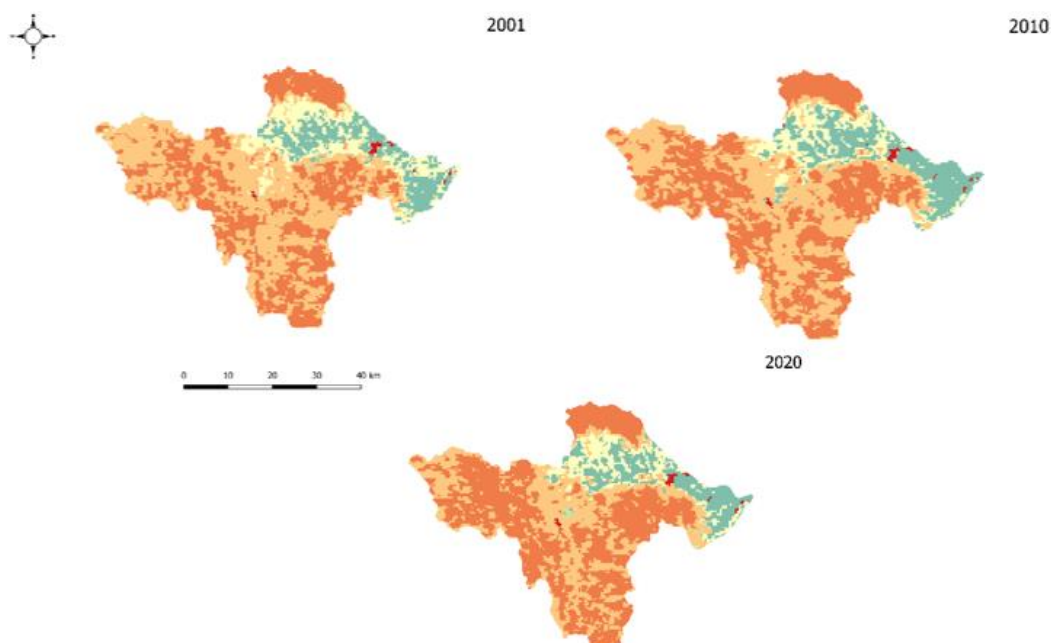
Podaci MODIS Land Cover (tabela 1) obuhvataju globalne karte zemljišnog pokrivača u godišnjim intervalima i prostornoj rezoluciji od 500 m za period od 2001. godine do danas [17]. U radu je korišćena verzija MCD12Q1 [18]. Set podataka obuhvata pet različitih šema klasifikacije pokrivenosti zemljišta,

izvedenih putem metode klasifikacije (tip: *supervised decision trees*). [18]

Kategorije namene zemljišta i zemljišnog pokrivača prisutne na slivu prikazane su u Tabeli 2. Korišćeni podaci klasifikovani su prema sistemu LCCS2 Svetske organizacije za hranu (FAO). Na slici 5 nalaze se tematske karte namene zemljišta i zemljišnog pokrivača (NZZP) za 2001, 2010 i 2020. godinu.

Tabela 2. Kategorije namene zemljišta i zemljišnog pokrivača (LCCS2) prisutne na slivu [18]

Vrednost klase (kod)	Boja	Naziv	Opis
9	crvena	Urbana i izgrađena zemljišta	Najmanje 30% površine čine nepropusne površine uključujući građevinske materijale, asfalt i vozila.
10	narandžasta	Guste šume	Pokrivenost drvećem > 60% (krošnje > 2m).
20	žuta	Retke šume	Pokrivenost drvećem 10-60% (krošnje > 2m).
25	zelenkasta	Mešovito šumsko i obradivo tlo	Mešavina niskih poljoprivrednih kultura 40-60% sa > 10% prirodnog šumskog pokrivača.
30	svetlozeleno	Pašnjaci	Dominiraju zeljaste jednogodišnje biljke (< 2m). Najmanje 10% pokrivenosti.
36	plava	Obradiva zemlja sa niskom travom	Dominiraju zeljaste jednogodišnje biljke (< 2m). Najmanje 60% pokrivenosti.



Slika 5. Tematske karte NZZP za 2001, 2010. i 2020. godinu. Prikazane boje/kategorije NZZP odgovaraju objašnjenjima koja su data u tabeli 2.

2.4 Kalibracija i validacija modela

Postupak kalibracije i modelovanja NZZP promena primenom algoritama koji su obuhvaćeni MOLUSCE dodatkom, uključuje primenu informacija o promeni NZZP-a, koje proizilaze iz satelitskih snimaka, zajedno sa prediktorima kao ulaznim podacima [19]. U okviru MOLUSCE-a dostupni su različiti pokazatelji za procenu korelacije između rastera prediktora [14], pri čemu je u ovoj studiji korišćen Pirsonov koeficijent korelacije. Poželjne su niže vrednosti koeficijenta korelacije prediktora. Kada dva prediktora pokazuju koeficijent korelacije veći od 0,7, neophodno je izabrati samo jedan zbog njihove jake međusobne veze [14].

Na osnovu klasifikovanih satelitskih snimaka – tematskih karata NZZP za početnu, 2001. i krajnju, 2010. godinu, algoritam generiše matricu verovatnoće prelaza - tranzicionu matricu, koja ilustruje odnos piksela koji prelaze iz jedne kategorije u drugu tokom vremena [9]. Drugim rečima, model računa tranzicioni potencijal za promenu, a simulator proizvodi rastere sa najverovatnijom promenom. U tom procesu, simulator traži piksele koji imaju najveću verovatnoću da zamene postojeće, pri čemu može doći do promene njihove prvobitne kategorije.

Validacija modela sprovedena je na osnovu tematskih karata za 2020. godinu. Koristeći tematske karte iz 2001. i 2010. godine, simulirane su promene za 2020. godinu. Za ocenu kvaliteta modeliranih karata korišćen je kapa koeficijent i procentualna tačnost u slučaju sva tri modela.

Kapa koeficijent (κ) je statistička mera koja se u daljinskoj detekciji koristi za procenu slaganja modeliranih i stvarnih/osmotrenih vrednosti [17]. Kreće se u granicama [-1,1], gde vrednost 1 predstavlja savršeno slaganje, 0 da slaganja nema više od onog koje bi se slučajno dobilo, a vrednost -1 ukazuje na manje slaganja od slučajnog.

Procentualna tačnost modela je jednostavna mera ukupnog slaganja koja se dobija kao odnos tačno klasifikovanih piksela i ukupnog broja piksela rasterske slike, u ovom slučaju, tematske karte NZZP.

2.5 Modeliranje budućeg stanja NZZP

Predviđanje NZZP stanja urađeno je za sledeće vremenske horizonte: 2040, 2070. i 2100. godinu.

Od tri primenjene metode za promenu NZZP, u literaturi je najprisutnija i trenutno najbolje ocenjena ANN metoda [17].

Pri modeliranju tranzicionog potencijala metodom ANN korišćene su sledeće vrednosti parametra: moment je imao vrednost 0,050, korišćeno je 10 skrivenih slojeva, 100 iteracija, stopa učenja od 0,050, a za okolinu, uzeta je vrednost 1, što označava matricu 3x3 (9 ćelija). Brzina učenja ima ključnu ulogu u određivanju brzine kojom se model prilagođava složenosti datog problema [6].

WoE je statistička metoda zasnovana na Bajesovoj verovatnoći koja funkcioniše na principima uslovnih verovatnoća za predviđanje verovatnoće da će se događaji desiti na osnovu prethodno utvrđenih informacija [20]. Ovaj model procenjuje relativni značaj različitih tačaka podataka na istraživanom području, preko parametra *Intervals* ili *Range Breaks*. U ovom istraživanju parametar *Range Breaks* podešen je na 2.

Model LR ponaša se veoma slično modelu ANN [21, 22]. Pri treniranju metodom LR korišćene su sledeće vrednosti parametara: maksimalan broj iteracija podešen je na 100 i okolina na vrednost 1px.

Na kraju, algoritam CA primenjen je da bi se stvorila celovita karta predviđanja zemljišnog pokrivača [17].

3. REZULTATI

3.1 Kalibracija i validacija modela

Korelacija između svih prediktora ispitana je preko Pirsonovog koeficijenta korelacije. Rezultat su prikazani u Tabeli 3. Kako su svi koeficijenti manji od 0,7, svi prediktori su korišćeni u daljem radu.

Tabela 3. Pirsonovi koeficijenti korelacije između prediktora

	Ekspozicija	Nagib	DMT	Udaljenost od puta
Ekspozicija	--	0,411	0,016	0,021
Nagib		--	0,597	0,222
DMT			--	0,359
Udaljenost od puta				--

U narednom koraku (kalibracija modela) određene su verovatnoće promene iz jedne u drugu NZZP klasu između početne (2001.) i krajnje godine (2010.). Rezultati proračuna su prikazani u tabeli 4.

Validacija modela urađena je na osnovu rasterskih tematskih karata NZZZP za 2020. godinu, rezolucije 30m, dobijenih svakom od metoda (slika 6).

Dobijene karte NZZZP za 2020. godinu i postojeće stanje NZZZP za 2020. godinu upoređene su tokom validacije. Kapa koeficijenti, kao i procentualna slaganja između simuliranog i stvarnog stanja površina po svakoj od razmatranih metoda prikazani su u tabeli 5.

Tabela 4. Matrica verovatnoće promene za period 2001 – 2010. Kodovi klasa prema tabeli 2

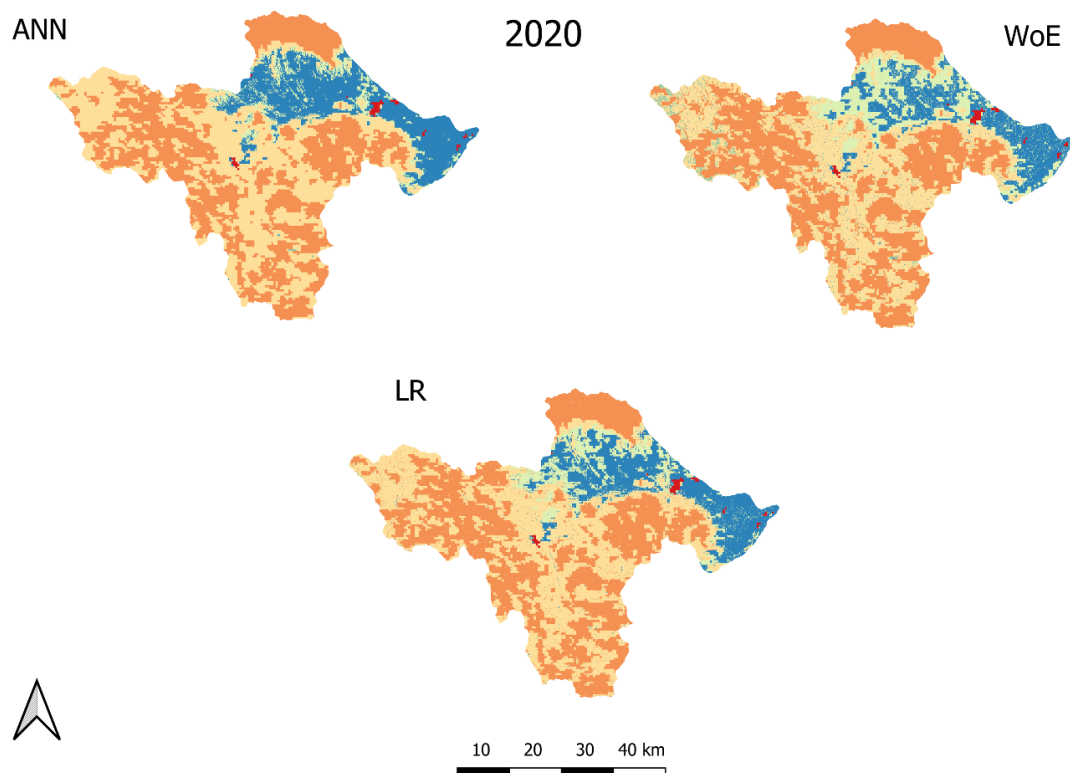
Kod NZZZP klase	9	10	20	25	36
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,885	0,114	0,000	0,000
20	0,000	0,100	0,838	0,027	0,022
25	0,000	0,000	0,150	0,474	0,004
36	0,000	0,000	0,221	0,033	0,495

Tabela 5. Rezultati validacije sve tri metode

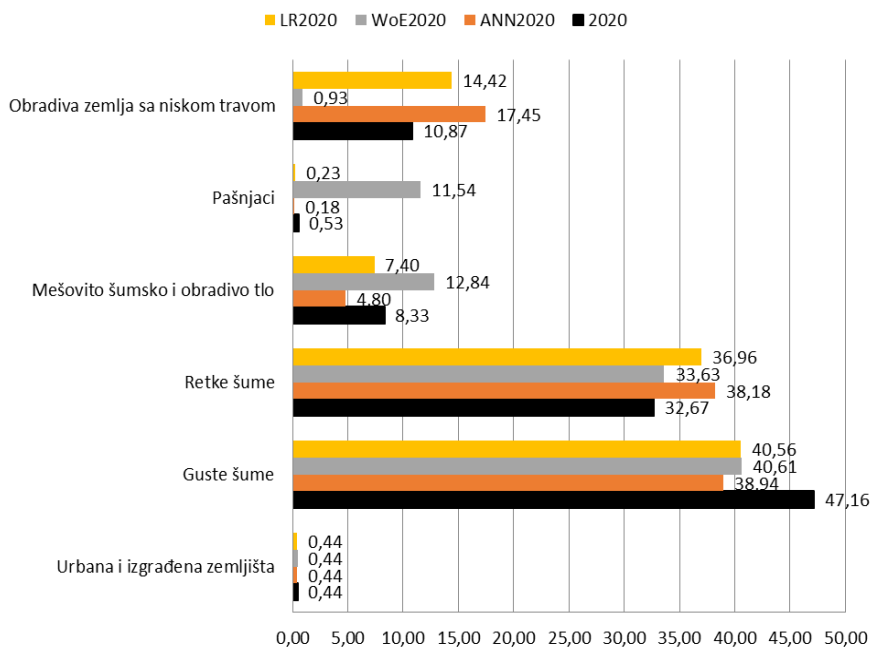
Metoda	Tačnost (%)	κ
ANN	79,66	0,72
WoE	78,11	0,70
LR	78,53	0,70

Kriterijum za prihvatanje modela je procentualna tačnost veća od 75% [6], što je ispunjeno za sve modele (tabela 5). Prema Peroviću i saradnicima [22], vrednost kapa koeficijenta preko 0,6 se smatra zadovoljavajućom, a kako su one za sve metode veće od 0,7 (tabela 5) i ovaj kriterijum je ispunjen.

Dobijena zastupljenost NZZZP klasa prema svim metodama tokom procesa validacije, kao i postojeće stanje NZZZP za 2020. godinu, prikazane su dijagramom na slici 7.



Slika 6. Tematske karte NZZZP za 2020. godinu simulirane metodom ANN, LR i WoE. Prikazane boje/kategorije NZZZP odgovaraju objašnjenjima iz tabele 2.



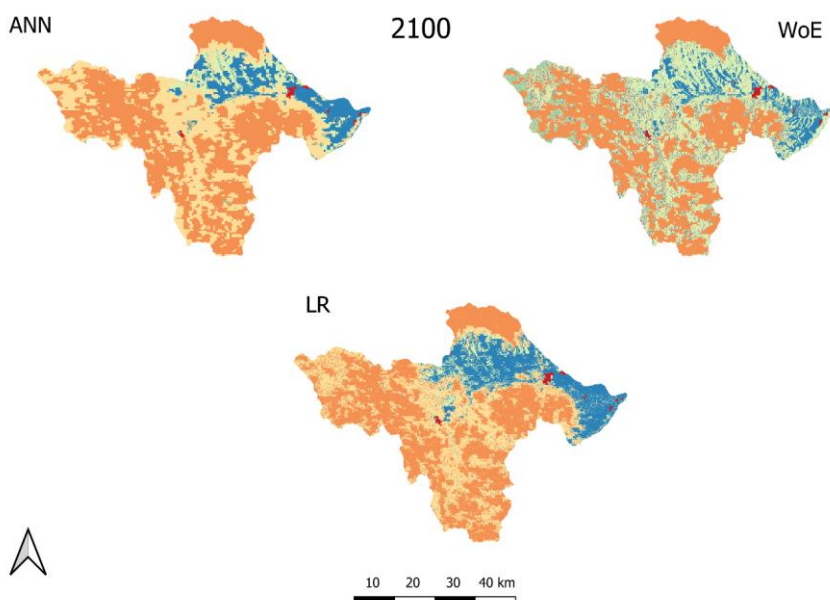
Slika 7. Procentualna zastupljenost klasa NZZP u 2020. godini.

3.2 Simulacija budućeg stanja

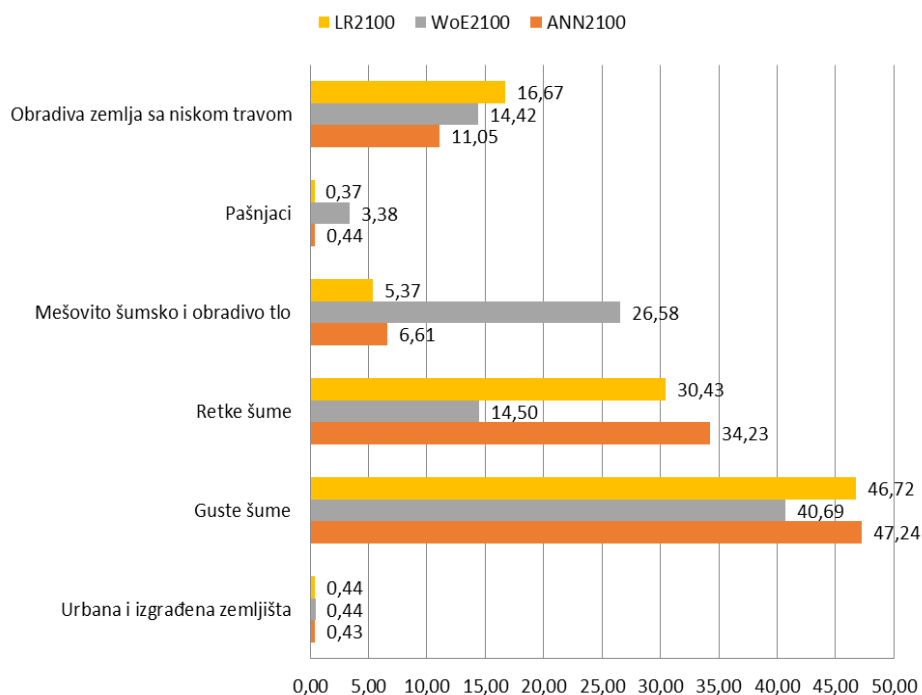
Budući da su validacijom modela dobijene zadovoljavajuće tačnosti svih primenjenih modela, simulirano je stanje zemljišnog pokrivača za 2040, 2070. i 2100. godinu. Na slici 8 prikazan je rezultat

simulacija za 2100. godinu u vidu NZZP karata prema sva četiri modela.

Odgovarajuća procentualna zastupljenost klasa NZZP na karti za 2100. godinu prikazana je na slici 9, za svaku od metoda.



Slika 8. Simulirane karte NZZP za 2100. god. Prikazane boje/kategorije NZZP odgovaraju objašnjenjima iz table 2.



Slika 9. Procentualna zastupljenost klasa NZZP u 2100. godini prema četiri razmatrane metode.

4. DISKUSIJA

4.1 Stanje u 2020. godini

Metoda ANN najčešće se koristi za modeliranje NZZP promene, tako da je bilo moguće porediti rezultate. Postignuta procentualna tačnost ANN modela (79,66 %) i vrednost koeficijenta kapa (0,72) su u skladu sa rezultatima drugih istraživača [6, 9, 14, 23]. Procentualno, najveće poklapanje između simulirane karte NZZP za 2020. godinu i MODIS-ove karte pokazao je model ANN (80%), dok su ostala dva modela pokazala poklapanje od 78,11% za model WoE odnosno 78,53% za model LR.

Na osnovu dijagrama na slici 7, moguće je zapaziti da su svi korišćeni modeli dobro predvideli pokrivenost urbanim i izgrađenim zemljištima. Svi modeli su potcenili zastupljenost gustih šuma za oko 7-8%. S druge strane, zastupljenost retkih šuma je precenjena u odnosu na realnu sliku. Modeli su ovde predvideli oko 5% veću pokrivenost od stvarne, a metoda WoE je bila najpribližnija u proceni sa razlikom od samo 1%.

Modeli su dali dosta različita predviđanja za klasu mešovitog šumskog i obradivog tla. U odnosu na

stvarno stanje, ANN je procenio za oko 3,5% manje, a WoE za 4,5% više. U predviđanju površina pod pašnjacima, koji na slivu imaju mali udeo u ukupnoj površini (0,53%), svi modeli su neznatno potcenili zastupljenost osim modela WoE koji je predvideo zastupljenost od čak 11%. U pogledu obradive zemlje sa niskom travom svi modeli su pokazali veće procenete od stvarnog stanja (10,87%), osim modela WoE koji je smanjio zastupljenost na manje od 1%.

Iako se za sve modele vrednosti kapa koeficijenta dobijene u procesu validacije nalaze u granicama koje su preporučene u literaturi, dobijene vrednosti predviđanja po NZZP klasama za 2020. godinu pokazuju da razlike između predviđanja koje modeli daju za pojedine klase NZZP mogu biti značajne. To navodi na zaključak da bi u narednim istraživanjima trebalo posvetiti dodatnu pažnju kalibraciji modela.

4.2 Simulacije budućeg stanja – promene NZZP

Imajući u vidu da u radu nisu dati rezultati za sve vremenske horizonte za koje je urađena simulacija promene NZZP, na slici 10 su prikazane procentualne zastupljenosti klasa NZZP prema razmatranim metodama u 2040, 2070. i 2100. godini.

Na osnovu svih modela na području sliva (slika 10) moguće je primetiti stagnaciju u razvoju urbanih područja u periodu 2040-2100. godina. Procentualna zastupljenost urbanih i izgrađenih zemljišta je oko 0,45%. Slična situacija u pogledu površina se pojavljuje u kategoriji pašnjaka, gde jedino WoE model odstupa u predviđanjima i do 2100. godine dostiže oko 3%, znatno više od predviđanja izvršenih ostalim modelima.

Tendencija potcenjivanja zastupljenosti gustih šuma, pojavljuje se u rezultatima svih modela u predviđanjima za naredne periode. Modeli ANN i LR postižu zastupljenost od oko 47% tek u predviđanju za 2100. godinu, dok je u stvarnosti zastupljenost gustih šuma od 47% zapažena već na karti za 2020. godinu. Budući da je između 2010. i 2020. zabeležen prirast gustih šuma od oko 8%, možda se može očekivati nastavak ove tendencije koje simulacije nisu uspele da obuhvate.

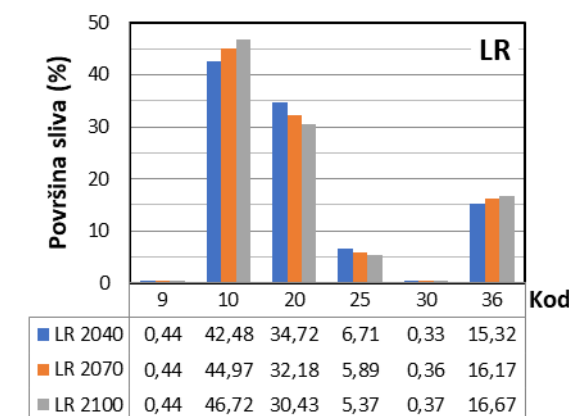
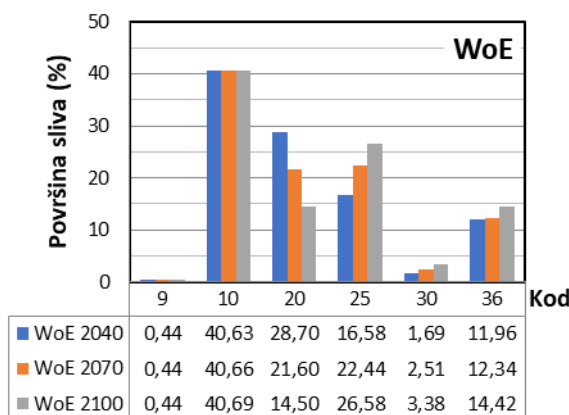
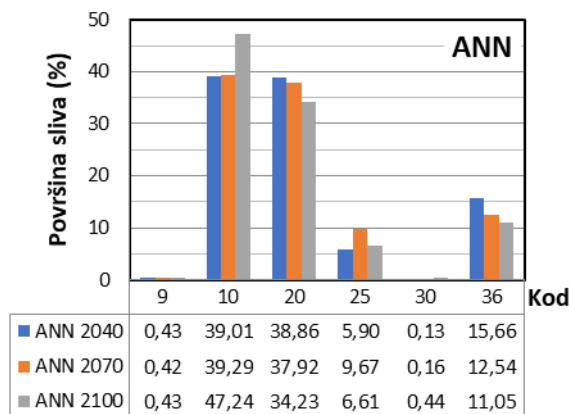
U slučaju retkih šuma svi modeli pokazuju tendenciju opadanja zastupljenosti. Model WoE koji je u simulaciji za 2020. godinu bio najpribližniji realnom stanju u pogledu površina pod retkim šumama, u narednim predviđanjima pokazuje stalnu tendenciju značajnog smanjenja ovih površina. Model WoE za 2100. godinu predviđa pokrivenost retkim šumama od samo 14,5%, naspram ostalih modela koji predviđaju pokrivenost od 30-40%.

Za mešovito šumsko i obradivo tlo modeli pokazuju različite promene. Ne samo da model WoE pokazuje izrazito veću zastupljenost ove NZZP kategorije u odnosu na druga dva modela, već jedini daje značajnu tendenciju porasta do 2100. godine.

Pokrivenost obradivim zemljištem sa niskom travom kreće se u opsegu 10-15% u posmatranim vremenskim horizontima, s tim što se u budućnosti prema modelima WoE i LR predviđa blagi porast površina, a kod ANN, opadanje.

Šetka i saradnici [24] objavili su rezultate predviđanja promena NZZP u 2035. godini u regionu donje Neretve površine 412,56 km². U istraživanju su primenili ANN model iz MOLUSCE treniran na osnovu stanja iz 1990. i 2005, a validiran za stanje iz 2020. godine. Koristili su šest NZZP klasa i sledeće prediktore: DEM, nagib padina, udaljenost od izgrađenih i vodenih površina, kao i gustinu naseljenosti. Postigli su bolje rezultate procentualne tačnosti (88.2 %) i kapa koeficijenta (0.84)

modela za 2020. godinu u odnosu na rezultate prikazane u ovom radu.



Slika 10. Simulirana procentualna zastupljenost klasa NZZP u 2040, 2070. i 2100. godini prema tri razmatrane metode.

Nešto kompleksnije istraživanje odnosa promene NZZP i erozije zemljišta u oblasti Oplenca (361 km²) prikazali su Perović i saradnici [23], u kom su simulirali stanje u 2041. godini preko dva pristupa, od kojih je jedan MOLUSCE, model ANN. Zaključili su da su rezultati oba modela zadovoljavajući i da su koristan alat za buduća istraživanja u kojima se planira sagledavanje uticaja klimatskih promena na buduća stanja NZZP i njihov zajednički uticaj na procese erozije.

Bitno je istaći da očekivane promene NZZP-a prate obrazac migracije stanovništva prikazan na slici 3, iako ovi podaci nisu korišćeni kao jedan od prediktora u modeliranju. Značajan odliv stanovništva u južnim delovima sliva prati porast gustih šuma prema svim modelima. Na najnižvodnijem delu sliva (istočni deo) registrovan je mestimični priliv stanovništva ka urbanim područjima i njihovoj okolini, dok rezultati ovog rada predviđaju da će u toj oblasti u budućnosti doći do blagog porasta obradivog zemljišta ali ne i do značajne urbanizacije.

5. ZAKLJUČAK

Sistemi zemljišnog pokrivača i namene zemljišta su vrlo složeni i teško predvidivi, a simulacioni modeli za predviđanje njihovih budućih promena i dalje se razvijaju. Tri simulaciona modela (ANN, WoE i LR) koje sadrži MOLUSCE dodatak u QGIS softverskom paketu, iskorišćeni su u ovom radu za procenu promene namene zemljišta i zemljišnog pokrivača na slivu reke Toplice, u periodu do 2100. godine. Na osnovu postojećih klasifikovanih satelitskih snimaka za 2000, 2010. i 2020. godinu, kroz proceduru kalibracije i validacije, formirani su modeli i izvršeno je predviđanje stanja NZZP u 2040, 2070. i 2100. godini.

Zaključci su sledeći:

1. Prilikom validacije posmatranih modela za 2020. godinu dobijene su visoke procentualne tačnosti 78-80% kao i vrednost kapa koeficijenta 0,70-0,72. Model sa najvećom tačnošću je ANN model. Dobijene vrednosti ukazuju na dobru tačnost svih modela, s tim što je potrebno dodatno obraditi pažnju na model WoE koji je pokazao znatna odstupanja u predikcijama u odnosu na ostale modele. Modeli LR i ANN u mnogome su slični u pogledu dobijenih rezultata, ali je potrebno naglasiti da procedura kod metode LR oduzima znatno više vremena.

2. Imajući u vidu da se ANN simulacioni model pokazao kao jedan od najefikasnijih metoda za simulaciju različitih zemljišnih pokrivača i u drugim istraživanjima, moglo bi se za ovu namenu preporučiti usvajanje metode veštačkih neuronskih mreža (ANN).
3. Sve tri razmatrane metode simulacije predvidele su stagnaciju u razvoju urbanizovanih i izgrađenih područja na slivu reke Toplice do hidrološke stanice Doljevac.
4. Opšta slika o promeni NZZP na slivu reke Toplice u budućnosti pokazuje da bi se moglo očekivati opadanje površina pod retkim šumama na račun gustih šuma (ANN, LR) i mešovitog šumskog i obradivog zemljišta (WoE), dok se u pogledu obradivog zemljišta ne mogu izvesti jedinstveni zaključci.

Prikazana analiza može biti korisna jedinicama lokalne samouprave u planiranju korišćenja raspoloživih prostornih resursa.

U budućim istraživanjima, može se sagledavati uticaj klimatskih promena na buduća stanja NZZP i njihov zajednički uticaj, između ostalog, na proces formiranja oticaja u slivu i ekstremne hidrološke pojave, poplave i suše.

IZJAVA

Rad je delom finansiran iz sredstava Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, ugovor br. 451-03-65/2024-03/200095 i 451-03-65/2024-03/200169.

LITERATURA

- [1] Gaur, S., & Singh, R.: A comprehensive review on land use/land cover (NZZP) change modeling for urban development: current status and future prospects. *Sustainability*, 15(2), 903, 2023.
- [2] Di Gregorio, A., & Jansen, L. J. (1998). Land Cover Classification System (LCCS): classification concepts and user manual. *FAO, Rome*.
- [3] McConnell, W., & Moran, E. F.: Meeting in the middle: the challenge of meso-level integration. *Land Use Policy*, 19(1), 99-101, 2000.
- [4] Wang, Y., Sun, Y., Cao, X., Wang, Y., Zhang, W., & Cheng, X.: A review of regional and Global

- scale Land Use/Land Cover (NZZP) mapping products generated from satellite remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 206, 311-334, 2023.
- [5] Gaur, S., & Singh, R. (2023). A comprehensive review on land use/land cover (NZZP) change modeling for urban development: current status and future prospects. *Sustainability*, 15(2), 903.
- [6] Đokić N., Blagojević B., i Mihailović V.: Predikcija promene namene zemljišta i zemljišnog pokrivača primenom veštačkih neuronskih mreža na primeru dva podsliva Južne Morave. 20. Savetovanje SDHI i SDH, Beograd, Srbija, 2024.
- [7] Verburg, P.H.; Overmars, K.P. Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: Exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. *Landsc. Ecol.* 2009, 24, 1167–1181
- [8] Ren, Y.; Lü, Y.; Comber, A.; Fu, B.; Harris, P.; Wu, L. Spatially explicit simulation of land use/land cover changes: Current coverage and future prospects. *Earth-Sci. Rev.* 2019, 190, 398–415.
- [9] Kamaraj, M., Rangarajan, S.: Predicting the Future Land Use and Land Cover Changes for Bhavani Basin, Tamil Nadu, India Using QGIS MOLUSCE Plugin (preprint). In Review, 2021.
- [10] Saputra, M.H., Lee, H.S.: Prediction of Land Use and Land Cover Changes for North Sumatra, Indonesia, Using an Artificial-Neural-Network-Based Cellular Automaton. *Sustainability* 11, 3024, 2019.
- [11] Alshari, E. A., & Gawali, B. W. (2022). Modeling land use change in sana'a city of Yemen with MOLUSCE. *Journal of Sensors*, 2022(1), 7419031.
- [12] Amgoth, A., Rani, H.P., Jayakumar, K.V., 2023. Exploring NZZP changes in Pakhal Lake area, Telangana, India using QGIS MOLUSCE plugin. *Spat. Inf. Res.* 31, 429–438, 2023.
- [13] Muhammad, R., Zhang, W., Abbas, Z., Guo, F., Gwiazdzinski, L.: Spatiotemporal Change Analysis and Prediction of Future Land Use and Land Cover Changes Using QGIS MOLUSCE Plugin and Remote Sensing Big Data: A Case Study of Linyi, China. *Land* 11, 419, 2022.
- [14] Iskandar, Beni & Saidah, & Kurnia, Adib & Jauhari, Ahmad & Zannah, Fathul. (2024). Modeling Land Cover Change Using MOLUSCE in Kahayan Tengah Forest Management Unit, Kalimantan Tengah. *Jurnal Sylva Lestari*. 12. 242-257. 10.23960/jsl.v12i2.865.
- [15] Milićević M. i Pendić J. (2024) Predviđanje promene namene zemljišta primenom veštačkih neuronskih mreža i metode težine dokaza. Seminarski rad iz predmeta Primena geografskih informacionih sistema u hidrotehnici. MAS. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu.
- [16] Popović M. (2011) Kosovo Agency of Statistics, 2011. <http://www.milosp.info>.
- [17] MODIS, <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/data-prod/mod12.php> Pristupljeno 08.01.2024.
- [18] User Guide to Collection 6 MODIS Land Cover (MCD12Q1 and MCD12C1) Product, Damien Sulla-Menashe and Mark A Friedl, https://lpdaac.usgs.gov/documents/101/MCD12_User_Guide_V6.pdf Pristupljeno 08.01.2024.
- [19] Buğday E, Erkan Buğday S (2019) Modelling and simulating land use/cover change using the artificial neural network from remote sensing data. *Cerne* 25:246–254.
- [20] Zeghouane, H., Allek, K. & Kesraoui, M. GIS-based weights of evidence modeling applied to mineral prospectivity mapping of Sn-W and rare metals in Laouni area, Central Hoggar, Algeria. *Arab J Geosci* 9, 373 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2188-6>
- [21] MOLUSCE Modules for Land Use Change Evaluation – Quick Help, https://github.com/nextgis/qgis_molusce/blob/master/src/molusce/doc/en/QuickHelp.pdf Pristupljeno 08.01.2024.
- [22] Vučinić M. i Knežević S. (2024) Predviđanje promene namene zemljišta primenom veštačkih neuronskih mreža i metode logističke regresije. Seminarski rad iz predmeta Primena geografskih informacionih sistema u hidrotehnici. MAS. Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu.

- [23] Perović, V., Jakšić, D., Jaramaz, D. et al. Spatio-temporal analysis of land use/land cover change and its effects on soil erosion (Case study in the Oplenac wine-producing area, Serbia). *Environ Monit Assess* 190, 675 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7025-4>
- [24] Šetka, J., Radeljak Kaufmann, P., & Valožić, L. (2023). Modelling land use and land cover changes in the Lower Neretva Region. *Hrvatski geografski glasnik*, 85(1), 41-63.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR LAND USE AND LAND COVER CHANGE PREDICTION: A CASE STUDY OF THE TOPLICA RIVER BASIN UNTIL THE YEAR 2100

by

Jana PENDIĆ, Marija MILIĆEVIĆ, Nikola ĐOKIĆ, Borislava BLAGOJEVIĆ
University of Niš, Faculty of Civil Engineering and Architecture

Vladislava MIHAILOVIĆ
University of Belgrade, Faculty of Forestry

Summary

In addition to climate change, factors affecting the future water regime at the basin level also include changes in land use and land cover. This study aims to evaluate the performance of three methods for predicting changes in land use and land cover within the Toplica River basin, up to the Doljevac hydrological station, until the year 2100. Predictions were made using the MOLUSCE plugin in the QGIS v2.18 software package. Four variants of input data were analyzed, combining the digital elevation model and indicators such as road distance, exposure, and terrain slope. The kappa

coefficient values and model accuracy percentage demonstrate a significant agreement between observed and simulated data for all analyzed models. Simulation results for land use and land cover change until the year 2100 indicate a reduction in sparse forest areas in favor of dense forests and a mosaic of forest and arable land, as well as stagnation in urban area expansion, which could impact runoff formation processes in the basin.

Key words: river basin, land use, land cover, change prediction, MOLUSCE