

# PRESOJA PROSTORSKEGA STRATIFICIRANJA ZA VZORČNO OCENJEVANJE GOZDNIH ZEMLJIŠČ

## EVALUATING SPATIAL STRATIFICATION FOR SAMPLING FOREST COVER DATA

David HLADNIK<sup>1</sup>

(1) Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, david.hladnik@bf.uni-lj.si

### IZVLEČEK

Za vzorčno ocenjevanje rabe gozdnih zemljišč in pokrovnosti ter njunih sprememb na Slovenskem predlagamo stratificiranje prostorskih podatkov na podlagi tipologije gozdnih rastišč. Na podlagi karte rabe zemljišč in tipologije gozdnih rastišč smo ocenili prostorska merila variabilnosti za krajinske kazalce in jih primerjali s stratificiranjem po statističnih regijah. Ker gozd po površini prevladuje v 10 od 12 statističnih regij, te ne predstavljajo izhodišča za oblikovanje stratumov, s katerimi bi pojasnjevali razlike v variabilnosti deležev rabe zemljišč. S statističnimi regijami smo pojasnili 21 % skupne variance za ocenjevanje deležev kmetijske rabe in 17 % variance za delež gozda. Z razvrščanjem kilometrskih kvadratov po tipologiji gozdnih rastiščnih tipov je bil pojasnjen večji del variabilnosti kot v prostorskem merilu statističnih regij, vendar na račun velikega števila skupin oziroma 29 stratumov. Velike razlike v krajinskih kazalcih za te skupine gozdov ponazarjajo, da je prostorsko merilo za oblikovanje stratumov manjše od regionalnega.

**Ključne besede:** raba zemljišč, varianca rabe in pokrovnosti, tipologija gozdnih rastišč

### ABSTRACT

Stratification based on Slovenian forest typology has been proposed for sampling forest land-use/land-cover data and changes over time. Using land-use map and forest typology map we evaluated geographic scales of variance for landscape-level indices and compared stratification by administrative units and regions. As forest prevails in 10 out of 12 statistical regions in terms of its surface area, these regions cannot be effective stratification tool for sampling and mapping land-use. Statistical regions accounted for 21 percent of the total variance of percent agriculture and 17 percent of total variance in amount of forest. Through the classification of quadratic 1 square kilometre tiles according to the typology of forest site types, somewhat greater proportion of total variance has been explained by stratification than on the spatial scale of statistical regions, although on the account of the high number of groups (29 strata). The great differences in fragmentation indices for these forest groups illustrate that the spatial scale for the formation of strata is smaller than the regional one.

**Key words:** land-use, variance land cover, typology, forest site types

GDK 913:524.63

UDK 630\*91:630\*52

DOI 10.20315/ASetL.108.3

Prispelo / Received: 16. 10. 2015

Sprejeto / Accepted: 4. 11. 2015

### 1 UVOD

#### 1 INTRODUCTION

Površina gozdov in drugih gozdnih zemljišč, razvrščena po gozdnih tipih, ter delež te površine v celotni površini zemljišč sodita med indikatorje trajnostnega gospodarjenja z gozdovi v Evropi (MCPFE, 2003). Čeprav je na Slovenskem predpisano, da so gozdnogospodarski načrti izdelani za vse gozdove ne glede na lastništvo (Zakon o gozdovih, 1993), na podlagi podatkov v prostorskih informacijskih sistemih kmetijstva in gozdarstva v zadnjih desetletjih ni bilo mogoče oblikovati zanesljivih izhodišč za monitoring sprememb rabe zemljišč na ravni države (Hladnik in Žižek Kulovec, 2012; Nastran in Žižek Kulovec, 2014). Dosedanja prostorska informacijska sistema sta namenjena načrtovanju gospodarjenja z gozdovi in upravljanju z divjadjo (Pravil-

nik ..., 2010) ter za vzdrževanje evidence dejanske rabe in nadzora kmetijskih in gozdnih zemljišč (Pravilnik ..., 2008). Informacijski sistem o kmetijskih in gozdnih zemljiščih je namenjen zlasti gospodarjenju in načrtovanju na ravni kmetijskih gospodarstev.

Čeprav je bila na Slovenskem vzpostavljena evidenca rabe kmetijskih zemljišč, je bilo v poročilu za Kjotski protokol (MOP, 2014) predlagano oblikovanje vzorčnega ocenjevanja sprememb rabe zemljišč za poročanje v naslednjih obdobjih. Podobno kot v drugih državah (Aune-Lundberg in Strand, 2014; Stehman et al., 2003), kjer stanje in spremembe ocenjujejo v vzorčnih blokih ali kilometrskih kvadratih, naj bi z intenzivnejšim delom na vzorčnih območjih zagotovili večjo natančnost pri delu in zlasti primerljivost podatkov o rabi zemljišč v različnih časovnih obdobjih. Doslej se

je na Slovenskem metodologija določanja posameznih kategorij rab in zajema prilagajala ukrepom skupne evropske kmetijske politike, zato podatkov iz zadnjega desetletnega obdobja ni bilo mogoče neposredno uporabiti za analizo sprememb rabe zemljišč (Miličič in Udovč, 2012).

Na področju gozdarstva je bil v okolje geografskih informacijskih sistemov zajet koncept in podatkovni model, ki izhaja iz gozdnogospodarskega načrtovanja na ravni gozdnogospodarskih enot (Pravilnik ..., 2010). Zaradi koncepta načrtovanja, po katerem so gozdnogospodarski načrti obnovljeni vsakih 10 let, je bila na ravni države tako obnovljena evidenca o gozdnih zemljiščih vsako leto za desetino gozdnih zemljišč. Po določilih Pravilnika o evidenci dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč (2008) je namreč treba v fazi priprave osnutka gozdnogospodarskega načrta posameznih enot uskladiti podatke o gozdnem robu.

Neizpolnjena pričakovanja, da bo na podlagi obeh informacijskih sistemov mogoče zanesljivo spremljati tudi spremembe rabe zemljišč, posebej tudi spremembe v površini gozdov na državni ravni (Nastran in Žižek Kulovec, 2014; Hladnik in Žižek Kulovec, 2012), so deloma podobna razpravam o primernosti in učinkovitosti statističnega ocenjevanja v primerjavi s kartiranjem in ocenjevanjem na celotni analizirani površini (angleško *sampling versus wall-to-wall mapping*). Riitters et al. (2006) so opozorili, da je za pridobivanje podatkov o krčitvah gozdov in spremembah rabe zemljišč z daljinskim zaznavanjem ključno vprašanje, kakšne informacije želimo pridobiti. Za ocenjevanje stopnje ali deleža sprememb v gozdnatosti bo uporabljen pristop statističnega vzorčenja, za gospodarjenje v prostoru, kjer prihaja do krčitev, pa potrebujemo prostorske podatke, ki jih pridobimo s kartiranjem na različne načine. Na lokalni ravni s podrobnim razmejevanjem površin, na višjih ravneh tudi s prostorsko interpolacijo vzorčnih podatkov ali pa njihovo prostorsko stratifikacijo, kjer na ravni stratumov prikažemo ocene iz vzorčnih podatkov.

Za načrtovanje gospodarjenja z gozdovi je bil na Slovenskem predpisan način razvrščanja gozdov po skupinah rastišč in gospodarskih kategorijah gozdov (Pravilnik ..., 1998 in 2010). Združevanje podatkov in informacij gozdnogospodarskega načrtovanja na podlagi ekoloških in vegetacijskih razmer je bilo sprva omogočeno do regionalne ravni oziroma območnih enot Zavoda za gozdove Slovenije, po oblikovanju tipologije gozdnih rastišč Slovenije (Kutnar et al., 2012) pa so bile deloma odpravljene vsebinske in metodološke ovire za agregiranje podatkov o značilnosti gozdov na državni ravni. V celoti niso bile odpravljene, ker je v po-

datkovnem modelu gozdarskega informacijskega sistema odsek najmanjša prostorska enota, za katero so bile kartirane ali ocenjene prevladujoče gozdne združbe, iz katerih je bila oblikovana tipologija gozdnih rastišč. Podrobno kartiranje gozdnih združb je bilo opravljeno le za polovico države, pa tudi tam so bili v gozdarskem informacijskem sistemu prostorski podatki posplošeni na ravni celotnih odsekov. Na te omejitve so opozorili v prostorskem prikazu produkcijske sposobnosti gozdnih rastišč v Sloveniji (Bončina et al., 2014) in v oceni stanja ohranjenosti gozdnih habitatnih tipov Natura 2000 (Kutnar in Dakskobler, 2014). Doslej je bil na Slovenskem do regionalne ravni oziroma ravni gozdnogospodarskih območij razvit koncept gozdnogospodarskih oziroma rastiščno gojitvenih razredov, ki je upošteval in izhajal tudi iz tipologije gozdnih rastišč (Pravilnik ..., 1998, 2010). Kasneje so se pri določanju gozdnih habitatnih tipov oprli na klasifikacijo gozdov na gospodarske razrede, ki obsegajo gozdove s podobnimi rastiščnimi oziroma ekološkimi razmerami, podobno vrstno sestavo in razvojnimi značilnostmi ter podobnimi cilji (Golob, 2004).

Tipologija gozdnih rastišč je torej izhodišče za različna razvrščanja gozdov (Barbati et al., 2007) in omogoča pojasnjevanje razlik, pomembnih na primer za gospodarjenje z gozdovi, gojitveno načrtovanje, ocenjevanje produktivnosti rastišč, njihove floristične podobnosti. V sklopu pan-evropskih kazalcev trajnostnega gospodarjenja z gozdovi (MCPFE 2003) je določeno poročanje o površini in zgradbi gozdov na ravni gozdnih tipov. Sprva so bili ti gozdni tipi opredeljeni le z razvrstitvijo gozdov na listavce, iglavce in mešane gozdove, po letu 2007 pa je bilo predlagano podrobnejše razvrščanje gozdnih tipov (Barbati et al., 2007; Barbati et al., 2014).

Namen prispevka je predlagati nov pristop pri ocenjevanju sprememb površine in prostorske zgradbe gozdov na ravni države. Ker je tipologija zasnovana hierarhično in je mogoče združevati rastiščne tipe po različnih merilih ekoloških in vegetacijskih dejavnikov (Kutnar et al., 2012), smo preverili njeno primernost za ocenjevanje površine gozdov po gozdnih tipih, prostorskih vzorcih in krajinskih kazalcih, na podlagi katerih tudi sklepamo o trajnostnem gospodarjenju z gozdovi in gozdnimi zemljišči. Primernost tipologije gozdnih rastišč kot izhodišče za ocenjevanje gozdnatosti in njenih sprememb smo preverili z naslednjimi vprašanji:

- ali so prostorske enote gozdov, oblikovane na podlagi tipologije gozdnih rastišč in gozdarskega informacijskega sistema, primerne za stratificiranje podatkov na državni ravni;
- ali ocene komponent variabilnosti med stratumi

in znotraj stratumov podpirajo uporabo tipologije gozdnih rastišč za ocenjevanje gozdnosti in njenih sprememb;

- ali je stratificiranje po ekoloških dejavnikih, na katerih temelji tipologija gozdnih rastišč, bolj učinkovito od členitve Slovenije na administrativne in statistične regije v primerljivem prostorskem merilu.

Z odgovori na ta vprašanja bomo ocenili, v kakšnih prostorskih merilih so oblikovani krajinski vzorci rabe zemljišč in kakšne so možnosti za vzorčno ocenjevanje sprememb v primerjavi s podrobnim kartiranjem sprememb rabe zemljišč. V monitoringu sprememb rabe zemljišč, zlasti krčitev gozdov ali opuščanja kmetijskih zemljišč in procesov naravne sukcesije, bi bilo mogoče tako presojati o krajinskih vzorcih in procesih na ravni gozdnih rastiščnih tipov ali tudi habitatnih tipov.

## 2 MATERIALI IN METODE DELA

### 2 MATERIALS AND METHODS

#### 2.1 Karte gozdov, rabe zemljišč in prostorskih enot

##### 2.1 Forest Maps, Land-use Maps, Spatial Units

Za oblikovanje prostorskih enot gozdov in gozdnih rastišč na ravni države smo uporabili bazo podatkov o odsekih (ZGS 2012) in prostorske podatke o evidenci dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč (MKGP ..., 2015). S presekom obeh (ArcGIS) smo za prostorske podatke o odsekih privzeli najnovejšo razmejitev gozdnih robov. Tako oblikovane prostorske enote še niso primerne za ocenjevanje prostorske zgradbe gozdov, ker zaradi nedoslednosti pri razmejevanju pozidanih in sorodnih zemljišč (Lisec et al., 2013) gozdna zemljišča niso povsod enako in po enotnih merilih razčlenjena (fragmentirana) s cestnim in železniškim omrežjem. Gozdni robovi so bili zato najprej z morfološkim filtriranjem razširjeni tako, da so bile v prostorskem modelu gozdnih zemljišč odpravljene vse negozdne zaplate, cestno in železniško omrežje, ožje od 20 m.

V naslednjem koraku smo za enotno oceno o razčlenjenosti in fragmentiranosti gozdnih zemljišč na

ravni države uporabili kategorizacijo in podatke o javnem cestnem in železniškem omrežju (MI 2015, GURS 2010). Državnim cestam (glavne in regionalne ceste) in železnicam smo določili vplivno območje do 5 m od njihovih osi, avtocestam in hitrim cestam pa 10 m, kar je primerljivo z metodami za ocenjevanje fragmentiranosti prostora (Girvetz et al., 2008). V prostorskem modelu prometne infrastrukture, ki fragmentira gozdna zemljišča, nismo upoštevali lokalnih cest in javnih poti.

Fragmentiranost smo ocenjevali na podlagi najpogosteje uporabljenih kazalcev v krajinskem načrtovanju na ravni evropskih držav (EEA 2011) in po svetu (Girvetz et al., 2008; McGarigal, 2012) - tehtano povprečno velikostjo zaplat (*area-weighted mean patch size AWM*) in mrežno velikostjo zaplat (*effective mesh size  $m_{eff}$* ):

$$AWM = \sum_{j=1}^n \left( \frac{a_{ij}^2}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \quad m_{eff} = \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}^2}{A}$$

kjer je  $a$  površina posamezne zaplate  $i$  v prostorski enoti  $j$ ,  $A$  celotna površina območja.

#### 2.2 Ocena variabilnosti rabe zemljišč in prostorskih enot gozda

##### 2.2 Assessment of land-use and forest spatial units variability

Oceno o variabilnosti rabe zemljišč smo izdelali na podlagi mreže kilometrskih kvadratov, s katero smo prekrili v prejšnjem poglavju opisane karte rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč ter prostorskih enot gozdov in gozdnih rastišč na ravni države. Tako je bila oblikovana populacija, sestavljena iz  $N = 20273$  kvadratov, ki so bili izbrani, če je njihovo središče ležalo znotraj meja Slovenije. Za vsak kvadrat so bili v okolju ArcGIS izračunani podatki o površinah rabe zemljišč in gozdnih tipov ter njihovih deležih, na ravni države pa smo izračunali statistične parametre za prevladujoče rabe zemljišč na Slovenskem (preglednica 1). Ker so bili tako zbrani podatki za celotno populacijo, ponazarjajo sta-

**Preglednica 1:** Opisni statistični parametri za prevladujoče skupine zemljišč na Slovenskem leta 2015 po kilometrskih kvadratih sistematične vzorčne mreže (N=20273)

**Table 1:** Descriptive statistics (sum, population mean and variance, coefficient of variation) for the prevailing land-use/land-cover types in the systematic quadratic kilometre tiles of the Slovenian land-use map in 2015 (N=20273)

Raba in pokrovnost zemljišč	Vsota (km <sup>2</sup> )	Povprečje $\mu$ (km <sup>2</sup> )	Varianca $\sigma^2$	KV (%)
Pozidana in sorodna	1091,24	0,054	0,00954	181
Kmetijska	5933,50	0,293	0,06581	88
Gozdna	12129,94	0,598	0,09853	52
Odprta zemljišča	302,80	0,015	0,00843	615
Vodne površine	127,83	0,006	0,00087	469

tistični parametri prave vrednosti za vsakega od razredov rabe oziroma pokrovnosti zemljišč.

O morebitnih cikličnih prostorskih vzorcih rabe zemljišč ali o morebitnih razlikah med lokalnimi povprečji in variancami (Radeloff et al., 2000; Aune-Lundberg in Strand, 2014) smo presojali na podlagi semivariogramov in geostatističnega koncepta semivariance (Bivand et al., 2008). Posamezni deleži rabe zemljišč v kilometrskih kvadratih so predstavljali opazovanja, ki smo jih primerjali. Semivariogram prikazuje funkcijsko odvisnost semivariance, ki ponazarja različnost vrednosti točkovnih podatkov glede na razdaljo med njimi. Semivarianco za razdaljo  $h$  smo izračunali iz parov opazovanj znotraj posamezne razdalje:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (x_i - x_{i+h})^2$$

kjer je  $m$  število parov na razdalji  $h$  in vsak par  $i$  sestavljata opazovanji  $x_i$  in  $x_{i+h}$ .

### 2.3 Stratificiranje in analiza komponent variance

#### 2.3 Stratification and Variance Components Analysis

Z analizo komponent variance (Searle et al., 2006) smo ocenili, kakšen delež variance v rabi gozdnih zemljišč je mogoče pojasniti s stratumi, ki izvirajo iz tipologije gozdnih rastišč ter iz razdelitve Slovenije na administrativne oziroma statistične regije. Za stratifi-

ciranje po administrativnih enotah smo uporabili 3. raven razdelitve (NUTS 3) na 12 slovenskih statističnih regij (SURS 2015). Po zgledu podobnega raziskovanja (Ritters et al., 2006) je bil za administrativne regije oblikovan linearni model:

$$Y_{ij} = \mu + P_i + U_{ij}$$

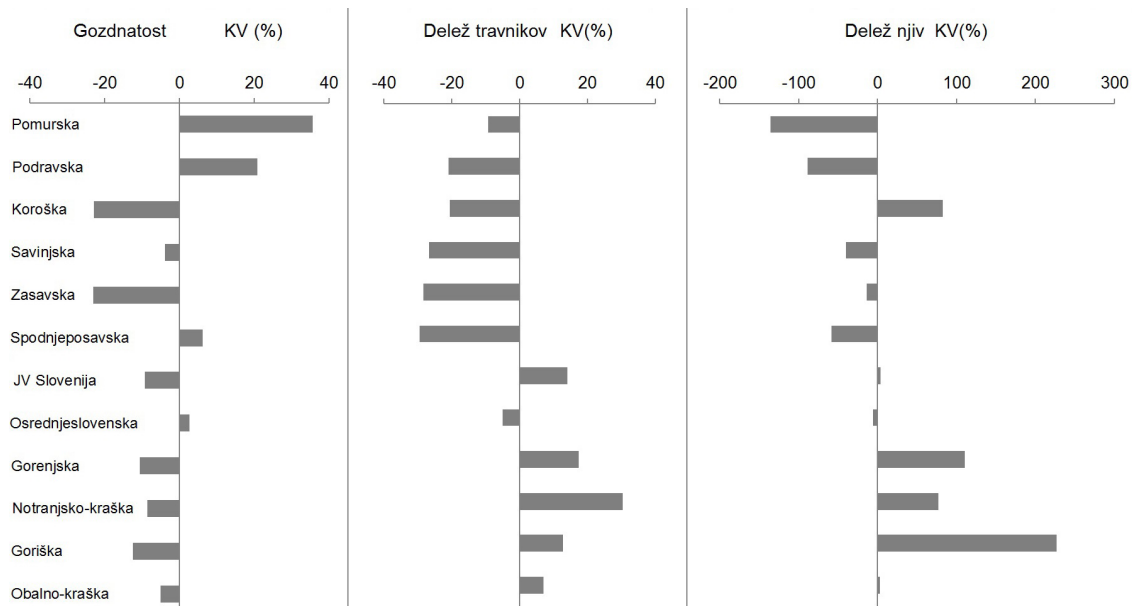
kjer je  $Y_{ij}$  vrednost za enoto  $j$  v statistični regiji  $i$ ,  $\mu$  celotna povprečna vrednost,  $P_i$  vpliv posamezne statistične regije  $i$ ,  $U_{ij}$  pa predstavlja ostanke variacije za analizirano enoto  $k$  po posameznih regijah  $i$ . V slučajnostnem modelu je  $Var(P_i) = \sigma^2_{regija}$  in  $Var(U_{ij}) = \sigma^2_{enota}$ , celotna varianca pa vsota obeh komponent:

$$\sigma^2_{celotna} = \sigma^2_{regija} + \sigma^2_{enota}$$

Delež celotne variance, ki je povezan z razdelitvijo na administrativne regije, je  $(\sigma^2_{regija} / \sigma^2_{celotna})$ . Po enakem postopku smo ocenili delež variabilnosti, ki je povezan z razdelitvijo slovenskih gozdov po tipologiji gozdnih rastišč.

Posamezne komponente variance smo izračunali na podlagi analize variance (ANOVA) z neenako velikostjo skupin. Vsote kvadratov odstopanj med skupinami (SSA) in znotraj skupin (SSE) enačimo z njihovimi pričakovanimi vrednostmi (Searle et al., 2006):

$$SSA = \left( N - \frac{\sum_i n_i^2}{N} \right) \hat{\sigma}_a^2 + (a - 1) \hat{\sigma}_e^2$$



**Slika 1:** Razlike v koeficientih variacije za površinske deleže izbranih rab zemljišč, prikazane kot odstopanja od vrednosti na ravni države po posameznih statističnih regijah Slovenije v letu 2015

**Fig. 1:** Differences in coefficients of variation for the percent of forest, meadows and arable land presented as deviation from national values for the statistical regions of Slovenia in 2015

$$SSE = (N - a) \hat{\sigma}_e^2$$

in pridobimo oceni:

$$\hat{\sigma}_e^2 = MSE$$

$$\hat{\sigma}_a^2 = \frac{MSA - MSE}{(N - \sum_i n_i^2 / N) / (a - 1)}$$

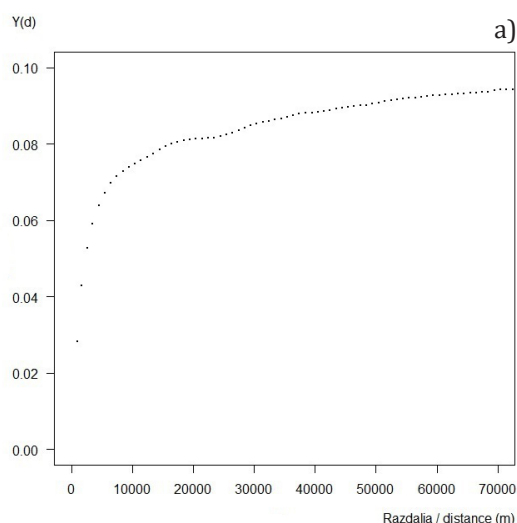
Za stratificiranje smo uporabili 2. in 3. raven tipologije gozdnih rastišč (Kutnar et al., 2012). V hierarhično zasnovani tipologiji je 29 skupin gozdnih rastiščnih tipov na prvi ravni razvrščenih v dve skupini glede na matično podlago (karbonatne in mešane karbonatno-silikatne kamnine ter silikatne kamnine), na drugi ravni pa je upoštevana razdelitev na nižinske gozdove, gričevno-podgorske, podgorsko-gorske, gorsko-zgornjegorske in zgornjegorsko-podalpinske gozdove (preglednica 3).

Ker so bile v podatkovnem modelu gozdarskega informacijskega sistema po posameznih odsekih kartirane ali ocenjene prevladujoče gozdne združbe, v prikazu krajinskih kazalcev nismo podali ocen za skupine gozdnih tipov, ki so bile doslej redko posebej prikazane (javorovje, velikojesenovje in lipovje), ali pa v preteklosti niso bile opisane kot samostojne združbe (macesnovje).

### 3 REZULTATI

#### 3 RESULTS

S kilometrskimi kvadrati smo za gozdna zemljišča, ki po tej metodi ocenjevanja obsegajo 59,8 % površine v državi, ocenili najnižjo variabilnost v deležih prevladujočih rab zemljišč in pokrovnosti (preglednica 1, sli-

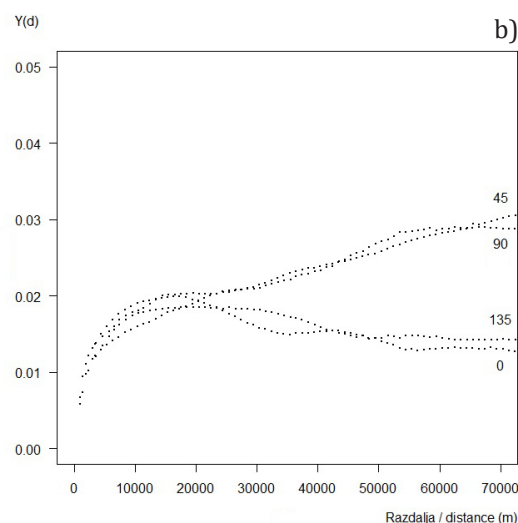


**Slika 2:** Semivariograma za deleže gozdov (a) in njiv (b) po kilometrskih kvadratih na Slovenskem leta 2015

ka 2). V Pomurski in Podravske regiji je bila ocenjena najnižja gozdnatost (31 oziroma 40 %), najvišji koeficient variacije pa ponazarjajo neenakomerno razporeditev gozdnih zemljišč v edinih slovenskih regijah, kjer za krajinsko matico lahko privzamemo kmetijska zemljišča. Za skupino kmetijskih zemljišč smo sprva ocenili koeficient variacije, primerljiv z deleži gozdnih zemljišč (preglednica 1), vendar zlasti zaradi površin travinja, ki je po slovenskih regijah in kilometrskih kvadratih razporejeno podobno kot deleži gozdnih zemljišč. Za razporeditev njivskih površin je značilna večja variabilnost na ravni države in po posameznih statističnih regijah (slika 2).

Velike razlike v koeficientih variacije za delež njivskih površin je mogoče spremljati od vzhodne Slovenije oziroma Pomurske in Podravske regije do zahodnega dela z Gorenjsko, Notranjsko-kraško in Goriško regijo. Variacijo v tej smeri ponazarja anizotropičen semivariogram za vrednosti deležev kmetijskih zemljišč po posameznih kilometrskih kvadratih (slika 2).

Na podlagi statističnih regij je bil pojasnjen najmanjši delež variabilnosti v deležih rabe zemljišč, le za površinske deleže njiv so bile statistične regije primerno prostorsko merilo za oblikovanje stratumov (preglednica 2). Največji delež variance je bil pojasnjen že z razvrstitvijo kilometrskih kvadratov v dve skupini, glede na lego središča kvadrata, ki je ležalo v gozdu ali zunaj gozdnih zemljišč. Z razvrščanjem kvadratov po tipologiji gozdnih rastiščnih tipov je bil pojasnjen večji del variabilnosti kot v prostorskem merilu statističnih regij, vendar na račun velikega števila skupin oziroma stratumov, kajti že z razdelitvijo kvadratov v skupini gozd in negozd sta bili pojasnjeni dve tretjini variabilnosti v deležih gozdnih zemljišč (preglednica



**Fig. 2:** Semivariograms for the percentage of forest lands (a) and arable lands (b) in the quadratic kilometre tiles of the Slovenian land-use map in 2015

**Preglednica 2:** Deleži celotne varince (%) za krajinske kazalce o prevladujočih rabah zemljišč v treh prostorskih zasnovah stratificiranja (razdelitev na gozdna in negozdna zemljišča, statistične regije NUTS3, tipologija gozdnih rastišč GRT)

Raba in pokrovnost zemljišč	Gozd / negozd	Regije NUTS3	Tipologija GRT - 3 raven
Pozidana in sorodna	22,1	4,4	15,4
Kmetijska	55,3	21,5	47,5
travniki	28,9	5,8	24,3
njive	31,7	39,1	24,9
Gozdna	65,7	17,0	58,0

**Table 2:** Percentage of total variance of landscape level composition indices attributable to levels in three geographic stratification schemes (forest/non-forest land, statistical regions NUTS3, forest types GRT)

2). Za ocenjevanje samo znotraj gozdnih zemljišč je bila s tipologijo oziroma 29 skupinami gozdnih rastišč pojasnjena manj kot petina variabilnosti (19,6 %).

S hierarhičnim razvrščanjem gozdnih rastišč na 9 skupin in podrobnejšim razvrščanjem v 29 skupin (preglednica 3) smo v modelu analize variance pojasnili enaka deleža variabilnosti. Najnižje vrednosti krajinskih kazalcev fragmentiranosti so bile pričakovano ocenjene za skupino nižinskih gozdov, največje razsežnosti strnjjenih gozdov pa so bile ocenjene v skupini gorsko-zgornjegorskih gozdov na karbonatnih in mešanih karbonatno silikatnih kamninah. V tej skupini so bili ocenjeni največja povprečna tehtana površina prostorskih enot (5062 ha), največja mrežna velikost prostorskih enot (689 ha) in največji delež jedrnih območij gozdov, oddaljenih več kot 300 m od gozdnih robov (41 %). Za gorsko-zgornjegorske gozdove na silikatnih kamninah so bile ocenjene večje vrednosti fragmentiranosti, proti nižjim in višjim višinskim pasovom te ocene še naraščajo.

Velike razlike v krajinskih kazalcih znotraj osnovnih 9 skupin gozdov ponazarjajo, da je prostorsko merilo, v katerem je primerno oblikovati prostorske enote stratumov, manjše od regionalnega. Te razlike so največje med skupinama bukovih in jelovo bukovih gorsko-zgornjegorskih gozdov (preglednica 3). Delež notranjega okolja je v jelovo bukovih gozdovih dvakrat večji, povprečna tehtana velikost zaplate pa štirikrat večja kot v bukovih gorsko-zgornjegorskih gozdovih. Dva do trikratne razlike v povprečni velikosti zaplat najdemo tudi v skupinah gozdov znotraj drugih višinskih pasov.

#### 4 RAZPRAVA IN SKLEPI

#### 4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

S primerjavo različnih ravni stratificiranja za deleže rabe zemljišč na Slovenskem smo pokazali znano statistično izhodišče, da je z vsakim stratificiranjem po geografskih enotah mogoče izboljšati natančnost ocenjevanja, tudi če gre le za majhne pridobitve pri katerem koli krajinskem merilu ali parametru (Ritters et al., 2006). Zaradi visoke gozdnosti na Slovenskem,

ko gozd po površini prevladuje v 10 od 12 statističnih regij, te ne pomenijo izhodišča za oblikovanje stratumov, s katerimi bi pojasnjevali razlike v variabilnosti deležev rabe zemljišč. Deleži nepojasnjene variance v ocenjevanju gozdnosti in drugih prevladujočih rab zemljišč kažejo na veliko variabilnost znotraj posameznih statističnih regij in tudi po prostorskih enotah, oblikovanih iz skupin tipologije gozdnih rastišč.

Podobno kot v veliko večjih državah (Ritters et al., 2006) tudi v Sloveniji ni mogoče pričakovati, da bi z regionalnim geografsko opredeljenim stratificiranjem enakovredno nadomestili podrobno kartiranje rabe zemljišč. Toda v zadnjih desetletjih so bili ob podrobnem razmejevanju rabe in pokrovnosti zemljišč zasnovani številni koncepti monitoringa in vzorčnega ocenjevanja krajinske zgradbe, pestrosti in njenih sprememb, ki presegajo zgolj uporabo podatkov iz evidenc o rabi zemljišč (npr. Dramstad et al., 2002; Peterseil et al., 2004; Stahl et al., 2011). Z ocenjevanjem variabilnosti v rabi zemljišč smo preverili, na katerih prostorskih merilih je primerno presoati o krajinski zgradbi in oblikovati zasnovano monitoringa rabe zemljišč, ki bo upoštevala morebitne regionalne razlike na Slovenskem. Zaradi velike variabilnosti bi po načelih statističnega ocenjevanja želeli zagotoviti dovolj velik vzorec, vendar je treba ob gostejši sistematični vzorčni mreži upoštevati omejitve zaradi pričakovane avtokorelacije (slika 2). Podobno so opozorili v statističnem modeliranju sprememb rabe zemljišč v Švici (Rutherford et al., 2008), kjer je bila ocenjena prostorska avtokorelacija pri razdaljah med vzorčnimi enotami, manjših od 1000 m. V nacionalnih gozdnih inventurah so sistematične mreže vzorčnih ploskev redkejšje (Lawrence et al., 2010), za ocenjevanje statističnih parametrov pa je tudi pri sistematičnem vzorčenju najpogosteje privzet koncept enostavnega slučajnostnega vzorčenja, po katerem morajo biti vzorčne enote med seboj neodvisne. Različnih vsebin monitoringa naravnega okolja ni mogoče povezati z enotno zasnovano sistematičnega vzorčenja, ne da bi upoštevali merila opazovanja in razlike v prostorskih značilnosti posamezne spremenljivke.

**Preglednica 3:** Kazalniki zgradbe in krajinskih vzorcev za prostorske skupine gozdnih rastiščnih tipov v Sloveniji leta 2015 (površina, tehtana povprečna velikost zaplate AWM, mrežna velikost zaplate MESH, delež površine jedrnega območja glede na razdaljo od gozdnega roba)

**Table 3:** Land-cover composition and pattern indices for groups of Forest site types in Slovenia in 2015 (area, area weighted mean patch size AWM, effective mesh size MESH, percentage of forest core area, estimated as distance from forest edge)

Skupine gozdnih rastiščnih tipov <i>Groups of Forest Site Types</i>	Površina (km <sup>2</sup> )	Zaplata AWM	Mreža MESH	Jedrna območja (%)	
				100 m	300 m
<b>Karbonatne in mešane karbonatno silikatne kamnine</b>					
I/1 Nižinski gozdovi	235,46	3,60	0,042	35,8	8,9
Vrbovje s topolom	42,89	1,69	0,004	20,1	0,4
Nižinsko črnojelševje	29,62	1,17	0,002	33,3	13,1
Dobovje, dobrovo belogabrovje in vezovje	162,95	4,11	0,033	39,0	10,3
I/2 Gričevno-podgorski gozdovi	3488,23	22,19	3,818	45,0	14,4
Gradnovo belogabrovje	527,52	8,63	0,225	45,1	16,7
Bukovje	1991,76	17,22	1,692	48,4	16,9
Toploljubni listnati gozdovi	968,95	17,84	0,853	38,1	8,1
I/3 Podgorsko-gorski gozdovi	1062,12	8,24	0,432	57,1	18,6
Osojno bukovje	262,95	3,11	0,040	59,9	20,1
Toploljubno bukovje	728,18	5,06	0,182	56,3	18,0
Gorski obrežni in orogeni listnati gozd.	5,16	0,30	0,000	15,5	8,3
Bazofilno borovje	64,90	1,70	0,005	57,0	20,4
I/4 Gorsko-zgornjegorski gozdovi	2759,11	50,62	6,889	73,1	41,1
Bukovje	1061,64	13,66	0,715	60,9	24,9
Jelovo bukovje	1667,84	58,44	4,807	80,7	51,0
Jelovje na skalovju in grušču	19,95	1,27	0,001	94,3	79,2
Smrekovje na skalovju in grušču	8,94	0,83	0,000	52,1	18,0
I/5 Zgornjegorsko-podalpinski gozdovi	565,83	17,59	0,491	54,4	23,8
Bukovje	282,65	14,22	0,198	69,3	34,9
Smrekovje	81,13	10,61	0,042	68,3	30,9
Macesnovje in ruševje	202,05	7,77	0,077	28,0	5,5
<b>Silikatne kamnine</b>					
II/1 Gričevno-podgorski gozdovi	1529,0	10,25	0,773	42,6	11,1
Gradnovo belogabrovje	374,81	4,14	0,077	38,2	10,1
Gradnovo bukovje	918,45	13,23	0,599	41,7	10,3
Kisloljubno borovje	236,14	3,12	0,036	53,2	16,1
II/2 Podgorsko-gorski gozdovi	1297,35	14,15	0,906	48,2	12,8
Bukovje	878,60	12,69	0,550	48,0	14,5
Jelovje	418,75	9,94	0,205	48,8	9,3
II/3 Gorsko-zgornjegorski gozdovi	1103,37	21,44	1,167	45,6	14,9
Bukovje	1037,79	17,35	0,888	43,9	13,8
Jelovje	4,77	0,30	0,000	49,4	8,5
Smrekovje	60,81	7,80	0,023	73,1	34,7
II/4 Zgornjegorsko-podalpinski gozdovi					
Barjansko smrekovje in ruševje	2,16	0,18	0,000	62,0	38,3
Drugotne združbe	55,89	3,07	0,008	65,6	25,1

Za ocenjevanje razlik v krajinski zgradbi je regionalno merilo pregrobo (preglednica 3), kar potrjujejo tudi raziskovanja na modelnih območjih znotraj posameznih slovenskih regij (Hladnik in Tajnikar, 2008; Pirnat in Kobler, 2012). S spremembo merila opazova-

nja odkrijemo nove prostorske vzorce, zaradi katerih je variabilnost znotraj statističnih regij visoka, stratificiranje pa manj učinkovito. Pri ocenjevanju krajinske zgradbe zato uporabimo več kazalcev, ki so prilagojeni različnim merilom opazovanja (McGarigal, 2012). In-

deksi fragmentiranosti prostora so na primer postali del presoje pri načrtovanju prometnega omrežja in regionalnem planiranju v Evropi (EEA 2011). Če jih uporabimo pri ocenjevanju prostorskih značilnosti gozdnih rastiščnih tipov (preglednica 3), jih ni mogoče neposredno primerjati z indeksi fragmentiranosti odprtega prostora. V strnjenih kompleksih gozdov, ki jih ne fragmentirajo človekovi koridorji, indeksi fragmentiranosti za prostorske skupine rastiščnih tipov ponaazarjajo zrnatost, značilnosti njihove teksture. Ta je v strnjenih gozdovih odvisna od spleta ekoloških dejavnikov, o katerih sklepamo na podlagi modelov rastlinskih združb, ki so bili že v začetkih kartiranja privzeti kot geografski model prostorske strukture rastlinske odeje (Robič, 1979). V kulturni krajini je interpretacija indeksov fragmentiranosti še zahtevnejša, ker so ob naravnih dejavnikih odločilne značilnosti človekove rabe kmetijskih zemljišč.

Tipologija gozdnih rastišč je v večini evropskih držav postala izhodišče za stratificiranje gozdnih površin v manjše ekološko bolj homogene enote, kar omogoča lažjo analizo, interpretacijo in poročanje o značilnostih gozdov, za katere zbiramo podatke, posebej tiste, ki so povezani z njihovo biotsko raznovrstnostjo (Mc Roberts et al., 2011). Na Slovenskem so bili podatki tipologije gozdnih rastišč uporabljeni tudi za stratificiranje vzorčnih ploskev v sklopu velikoprostorskega monitoringa gozdov in gozdnih ekosistemov – popis MGGE Gozdarskega inštituta Slovenije (Hladnik in Žižek Kulovec, 2014). Ocenjeno je bilo, da na ravni države z vzorčnim ocenjevanjem ne bo mogoče spremljati stanja in sprememb v gozdovih po vseh skupinah gozdnih rastišč (Hladnik in Žižek Kulovec, 2012). Podobno so opozorili za nekatere gozdne združbe, ki so bile uvrščene v gozdne habitatne tipe Natura 2000, da bo treba zanje oblikovati prilagojeno vzorčno mrežo ploskev za spremljanje stanja oziroma monitoring habitatnih tipov (Kutnar in Dakskobler, 2014). Predstavljene prostorske enote tipologije gozdnih rastišč ponujajo možnosti za zbiranje in stratificiranje podatkov o gozdovih, zlasti za pojasnjevanje razlik med posameznimi skupinami, ki so pomembne pri gospodarjenju z gozdovi in prostorskem načrtovanju.

## 5 POVZETEK

### 5 SUMMARY

Area of forests and other wooded land classified by forest types and the share of this area in total land area are indicators of sustainable forest management (MCPFE, 2003). Although our law obligates forest management plans to be made for all forests irrespective

of their ownership (Zakon ..., 1993), it has not been possible to prepare, in the last few decades, reliable starting-points for the monitoring of changes in land-use at the national level on the basis of data in the agricultural and forestry spatial information systems.

The main objective of this paper is to propose a new approach to the evaluation of the changes in area and spatial structure of forests at the national level on the basis of forest site typology. At the level of individual European countries, the typologies or forest type schemes have often been used for the varied classification of forests (Barbati et al., 2007) and interpretation of the changes significant, for example, for forest management, silviculture planning, evaluation of forest site productivity and their floristic similarities. Given that the Slovenian typology is configured hierarchically, which means that site types can be combined according to different criteria of ecological and vegetational factors (Kutnar et al., 2012), we have checked its suitability for the evaluation of land area of forests per forest types, landscape patterns and indices, on the basis of which certain conclusions regarding sustainable forest and other wooded land management can also be made. The suitability of forest site typology as a starting-point for the evaluation of forest cover and its changes has been checked with the aid of the following questions:

- are spatial units of forests, designed on the basis of forest site typology and forestry information system, suitable units for the data stratification at the national level;
- do estimates of between- and within-stratum variance components support the use of forest site typology for the evaluation of forest cover and its changes;
- is stratification by ecological factors, on which the typology of forest sites is based, superior to stratification scheme based on Slovenia's administrative and statistical regions in a comparable spatial scale.

With the answers to these questions we shall evaluate in what spatial scale the landscape patterns of land-use are configured and what are the possibilities of sample evaluation of the changes in comparison with detailed mapping of land-use changes. During monitoring of land-use changes, particularly of deforestation or abandonment of agricultural land and natural succession processes, it would thus be possible to make assessments as to landscape patterns and processes at the level of forest site types or habitat types as well.

To configure spatial units of forests and forest sites



at the national level, the database on forest compartments (ZGS 2012) and spatial data on the evidence of the actual use of agricultural and wooded land (Evidenca ..., 2015) was used. In the next step, categorization and data on the public road and railway network were used for a uniform evaluation of forest fragmentation at the national level (MI 2015, GURS 2010). Fragmentation was evaluated on the basis of the most frequently used indices in landscape planning at the level of European countries (EEA 2011) and the world (Girvetz et al., 2008; McGarigal, 2012) – area-weighted mean patch size and effective mesh size. The evaluation of land-use variability was made on the basis of kilometre squares network, with which the maps of agricultural and forest land-use were covered, as well as spatial units of forests and forest sites at the national level. The variance component analysis (Searle et al., 1992) was used to estimate the percentage of total variance in forest cover associated with strata deriving from the typology of forest sites and from the divisioning of Slovenia into administrative or statistical regions.

Using square kilometre tiles, the lowest variability in the shares of prevalent land-use/land-cover was estimated for wooded land, which according to this estimation method covers 59.8% of the surface area in the country (Table 1, Fig 2). The lowest proportion of total variance in the shares of land-use was associated with the statistical regions. They were appropriate and informative geographic scale only for the surface share of arable lands (Table 2). Owing to the high forest cover in Slovenia, where forest prevails in 10 out of 12 statistical regions, these regions cannot be taken as a background for the formation of strata, which should explain the variation in land-use shares. The within-unit variance of percent forest and other prevalent land-use indicate a great variability in statistical regions as well as in spatial units formed from the groups of typology of forest sites. Greater forest fragmentation was expectedly estimated for the group of lowland forests, whereas the lowest fragmentation indices were estimated in the group of montane-altimontane forests on carbonate and mixed carbonate-silicate rocks (Table 3).

The great differences in landscape indices within the basic 9 groups of forests illustrate that the spatial scale, in which it's appropriate to define spatial units of strata, is smaller than the regional one. Through hierarchic classification of forests sites into 9 groups and more detailed classification into 29 groups (Table 3), equal proportions of the total variance of percent forest were explained by stratification. The presented

spatial units of forest site typology enable gathering and stratification of data on forests, particularly for the explanation of the differences between individual groups, which are relevant and play a significant role in forest management and spatial planning.

## 6 VIRI

### 6 REFERENCES

- Aune-Lundberg L., Strand G-H. 2014. Comparison of variance estimation methods for use with two-dimensional systematic sampling of land use/land cover data. *Environmental Modelling & Software*, 61: 87-97.
- Barbati A., Corona P., Marchetti M. 2007. A forest typology for monitoring sustainable forest management: The case of European Forest Types. *Plant Biosystems* 141, 1: 93-103.
- Barbati A., Marchetti M., Chirici G., Corona P. 2014. European Forest Types and Forest Europe SFM indicators: Tools for monitoring progress on forest biodiversity conservation. *Forest Ecology and Management systems*, 321: 145-157.
- Bivand R.S., Pebesma E.J., Gómez-Rubio V. 2008. *Applied Spatial Data Analysis with R*. New York, Springer, 374 str.
- Bončina A., Kadunc A., Poljanec A., Dakskobler I. 2014. Prostorski prikaz produkcijske sposobnosti gozdnih rastišč v Sloveniji. *Gozdarski vestnik*, 72, 4: 183-197.
- Dramstad W.E., Fjellstad W.J., Strand G.H., Mathiesen H.F., Engan G., Stokland J.N. 2002. Development and implementation of the Norwegian monitoring programme for agricultural landscapes. *Journal of Environmental Management*, 64: 49-63.
- EEA 2011. *Landscape Fragmentation in Europe*. European Environment Agency, Report No 2, Copenhagen, 87 str.
- Girvetz E.H., Thorne J.H., Berry A.M., Jaeger J.A.G. 2008. Integration of landscape fragmentation analysis into regional planning: a statewide multiscale case study from California, USA. *Landscape and Urban Planning*, 86: 205-218.
- Golob A. 2004. Pregled habitatnih tipov gozdov v Sloveniji, ki v grobem ustrezajo merilom iz habitatnega priročnika EU in njihove značilnosti v predlaganih območjih Natura 2000. Poročilo projekta MOPE Natura 2000 za gozdne habitatne tipe. MOP, ARSO, Ljubljana, 18 str.
- GURS 2010. Zbirni kataster gospodarske javne infrastrukture – prometna infrastruktura. Geodetska uprava RS.
- Hladnik D., Tajnikar M. 2008. Gozdni habitatni tipi območij Natura 2000 v krajinski zgradbi Pohorja. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 87: 15-32.
- Hladnik D., Žižek Kulovec L. 2012. Ocenjevanje gozdnatosti v zasnovi gozdne inventure na Slovenskem. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 97: 31-42.
- Kutnar L., Veselič Ž., Dakskobler I., Robič D. 2012. Tipologija gozdnih rastišč Slovenije na podlagi ekoloških in vegetacijskih razmer za potrebe usmerjanja razvoja gozdov. *Gozdarski vestnik*, 70, 4: 195-214.
- Kutnar L., Dakskobler I. 2014. Ocena stanja ohranjenosti gozdnih habitatnih tipov (Natura 2000) in gospodarjenje z njimi. *Gozdarski vestnik*, 72, 10: 419-439.
- Lawrence M., McRoberts R.E., Tomppo E., Gschwantner T., Gabler K. 2010. Comparison of National Forest Inventories. V: Tomppo E., Gschwantner T., Lawrence M., McRoberts R.E. (ur.). *National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting*. Heidelberg, Dordrecht, London, New York, Springer: 19-32.
- Liseč A., Drobne S., Pišek J. 2013. Suitability analysis of land use records of agricultural and forest land for detecting land use change on the case of the Pomurska statistical region. *Acta geographica Slovenica*, 53, 1: 70-90.

- McGarigal K. 2012. Landscape Metrics for Categorical Map Patterns. Lecture notes.  
[http://www.umass.edu/landeco/teaching/landscape\\_ecology/schedule/chapter9\\_metrics.pdf](http://www.umass.edu/landeco/teaching/landscape_ecology/schedule/chapter9_metrics.pdf)
- McRoberts R.E., Chirici G., Winter S., Barbati A., Corona P., Marchetti M., Hauk E., Brändli U.-B., Beranova J., Rondeaux J., Sanchez C., Bertini R., Barsoum N., Alberdi Asencio I., Condéz S., Saura S., Neagu S., Cluzeau C., Hamza N. 2011. Prospects for harmonized biodiversity assessments using national forest inventory data. In: Chirici G., Winter S., McRoberts R.E. (Eds.), National Forest Inventories: Contributions to Forest Biodiversity Assessments. Springer, Heidelberg: 41–97.
- MCPFE 2003. Improved Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, Liaison Unit Vienna.
- MI 2015. Kategorizacija in podatki o javnih cestah, javna železniška infrastruktura. Ministrstvo za infrastrukturo RS. [http://www.mzi.gov.si/si/delovna\\_podrocja/ceste/drzavne\\_ceste/#c10917/zeleznice\\_in\\_zicnice/javna\\_zelezniska\\_infrastruktura](http://www.mzi.gov.si/si/delovna_podrocja/ceste/drzavne_ceste/#c10917/zeleznice_in_zicnice/javna_zelezniska_infrastruktura) (15. 10. 2015)
- MKGP 2015. Grafični podatki RABA za celo Slovenijo. Raba\_2015\_04\_30. Ministrstvo za kmetijstvo gozdarstvo in prehrano RS. <http://rkg.gov.si/GERK/>
- Radeloff V.C., Miller T.F., He H.S., Mladenoff D.J. 2000. Periodicity in spatial data and geostatistical models: autocorrelation between patches. *Ecography*, 23: 81–91.
- MOP 2014. Slovenia's national inventory report 2014. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS, ARSO.
- Miličič V., Udovč A. 2012. Uporabnost prostorskih podatkov kmetijskega sektorja za analize sprememb rabe kmetijskih zemljišč na primeru izbranega območja varovanja narave v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 56, 1: 83–104.
- Nastran M., Žižek Kulovec L. 2014. (Ne)usklajenost uradnih prostorskih evidenc pri ugotavljanju krčitve gozdov v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 58, 4: 724–745.
- Peterseil J., Wrbka T., Plutzer C., Schmitzberger I., Kiss A., Szerencsits E., Reiter K., Schneider W., Suppan F., Beissmann H. 2004. Evaluating the ecological sustainability of Austrian agricultural landscapes – the SINUS approach. *Land Use Policy*, 21, 3: 307–320.
- Pirnat J., Kobler A. 2012. Landscape changes in the Pivka area, Slovenia. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 98: 39–49.
- Pravilnik o evidenci dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Ur.l. RS, št. 122/2008.
- Pravilnik o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih. Uradni list RS, št. 5/1998.
- Pravilnik o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo. Uradni list RS, št. 91/2010.
- Ritters K.H., Wickham J.D., Wade T.G. 2006. Evaluating Ecoregions for Sampling and Mapping Land-cover Patterns. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72, 7: 781–788.
- Robič D. 1979. Gozdna fitocenozoza kot kompleksni indikator naravnih danosti v gospodarjenju s prostorom. *Gozdarski vestnik*, 37: 223–226.
- Rutherford G.N., Bebi P., Edwards P.J., Zimmermann N.E. 2008. Assessing land-use statistics to model land cover change in a mountainous landscape in the European Alps. *Ecological Modelling*, 212: 460–471.
- Searle S.R., Casella G., McCulloch C.E. 2006. Variance Components. John Wiley and Sons. Hoboken, New Jersey.
- Ståhl G., Allard A., Esseen P.-A., Glimskär A., Ringvall A., Svensson J., Sundquist S., Christensen P., Torell Å., Högström M., Lagerqvist K., Marklund L., Nilsson B., Inghe O. 2011. National inventory of landscapes in Sweden (NILS) – scope, design, and experiences from establishing a multiscale biodiversity monitoring system. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173: 579–595.
- Stehman S.V., Sohl T.L., Loveland T.R. 2003. Statistical sampling to characterize recent United States land-cover change. *Remote Sensing of Environment*, 86: 517–529.
- SURS 2015. Podatki o teritorialnih enotah po novem stanju občin in regij. Statistični urad RS. <http://www.stat.si/StatWeb/prikazinovico?id=4927&idp=14&headerbar=12> (15. 10. 2015)
- Zakon o gozdovih. Ur.l. RS, št. 30/1993.
- ZGS 2012. Prostorski podatki ODSEKI. Zavod za gozdove Slovenije.