

UDK: 71+911.5

Оригинални научни рад

<https://doi.org/10.2298/GSF1716029G>

## ПРИМЕНА МЕТРИКЕ ПРЕДЕЛА У ЕКОЛОШКОЈ И ВИЗУЕЛНОЈ ПРОЦЕНИ ПРЕДЕЛА

Сузана Гавриловић, докторанд, Универзитет у Београду – Шумарски факултет  
(suzana.d.gavrilovic@gmail.com)

др Невена Васиљевић, доцент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

др Борис Радић, доцент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

МсС Владимир Пихлер, самостални просторни планер, ЈП Завод за урбанизам Војводине

**Извод:** Предеоно-еколошки истраживачки приступ у планирању простора пружа егзактне теоријске и емпиријске доказе за праћење еколошких последица насталих природним и/или антропогеним факторима, односно променама просторних структура које су њима условљене. Предеони образац у коме су материјализоване различите вредности предела је носилац јединственог карактера предела на различитим просторним нивоима и представља перцептивни домен његових корисника. Показатељи конфигурације и композиције обрасца предела су математички алгоритми који квантификују специфичне просторне карактеристике, којим се интерпретирају предеоне функције и процеси (физички и еколошки аспект), али и форме (визуелан аспект) и значења (когнитиван аспект) предела. Метода метрике предела је нашла највећу примену у анализи еколошких просторних процеса и биодиверзитета као и утврђивању нивоа промена структуре, међутим све већу примену налази и у процени визуелног карактера предела. Циљ рада је да се на основу прегледа релевантне литературе прикажу основни трендови примене метрике предела у утврђивању еколошких и визуелних процена предела. Метод истраживања је заснован на анализи, систематизацији и класификацији публикованих радова у периоду од 2000. до 2016. године, у којима се примењује метрика предела у: (1) анализи предеоног обрасца и његових промена, (2) анализи биодиверзитета и функција станишта и (3) визуелној процени предела. Издвајањем репрезентативних параметара метрике композиције и конфигурације предела формирана је основа за даља истраживања примене метрике предела у интегралној анализи и процени еколошких и визуелних вредности предела. Савременом концептуализацијом предео се посматра холистички, а императив будућим истраживањима треба усмерити у правцу развоја интегралне анализе, вредновања и процене предела као целине за потребе планирања просторног развоја.

**Кључне речи:** предеона метрика, структура предела, еколошка процена предела, визуелна процена предела

### УВОД

Примена предеоно-еколошког концепта у планирању простора омогућила је другачији

дијалог између просторних планера и еколога, пруживши егзактне теоријске и емпиријске до-

казе за праћење еколошких последица проузрокованих променама структуре предела. Предеоно-еколошки приступ истраживању простора се заснива на анализи структуре предела (предеоног обрасца; енгл. landscape pattern), функција и процеса који се одвијају у пределу (Forman, Godron, 1986). У оквиру планирања просторног развоја антиципирају се промене постојеће структуре предела у правцу жељених међуодноса елемената одређеног предеоног обрасца који је носилац јединственог карактера предела.

Савременом концептуализацијом предела, предеони образац, односно карактер предела добија вредност која се сагледава као холистички, динамичан и перцептибилан просторни ентитет (Antrop, 2000, 2005; Vasiljević, Živković, 2009; Vasiljević, 2012; Vasiljević, Radić, 2016). Овакав приступ сагледавању вредности у простору добио је свој легитимитет у Европској конвенцији о пределу која дефинише предео као „област онако како је *види* становништво, а *карактер његова* је носилац идентитета настао акцијом и интеракцијом природних и/или културних фактора“ (Council of Europe, 2000). Предео се тумачи као површина земље која представља комплексан систем естетских (визуелних), културних, еколошких и економских система и материјализује се у карактеру предела, који се одражава на људску перцепцију и припадање (von Haaren, 2002). Развојем метода анализе и квантификацијом предеоног обрасца створили су се услови за егзактно проучавање предеоне функције и процеса (физички и еколошки аспект), али и форме (визуелан аспект), значења (когнитиван аспект) (Terkenli, 2001, Vasiljević, 2012; Vasiljević et al., 2014). Утврђивање вредности, која представља интеграцију структурних и визуелних аспеката савременог концепта предела, односно његова операционализација и квантификација представљају изазов савременог планирања просторног развоја.

Метода метрике предела је већ неколико година једна од најзаступљенија метода квантификације структуре предела и примењује се у свим фазама планирања (Leitao et al., 2006). На тај начин је омогућено директно праћење просторног развоја као и предикција последи-

ца просторних трансформација што има своју примену у процени еколошке стабилности предеоног обрасца, биодиверзитета као и у процени визуелног карактера предела (Uuemaa et al., 2009). Квантификација структуре предела и његова интерпретација се одвија у *метричком исказу композиције и конфигурације сџруктуре* који се примењује у анализи стања предела (Uuemaa et al., 2009, 2012; Vasiljević, 2012; Radić, 2014; Vasiljević et al., 2014a; Vasiljević, Radić, 2016), односно „вредности постојећег и жељеног предеоног обрасца као дела планског концепта“ (Vasiljević, Radić, 2016).

*Композиција његова* се односи на бројност, густину и величину различитих типова елемената у пределу, где обележја композиције интерпретирају карактеристике предела као што су пропорција, уједначеност, доминација и диверзитет предеоних елемената. За разлику од композиције, *конфигурација његова* представља просторни распоред предеоних елемената и бави се обликом и компактношћу предеоних елемената, растојањима између елемената, контрастом ивица, чиме се интерпретира просторна геометрија предеоног обрасца (Vasiljević, 2012).

Велики број метричких параметара како композиције, тако и конфигурације предела су развијени за категоричке податке (енгл. categorical maps) (било као векторска или растерска база података), које квантификују специфичан просторан феномен на нивоу предеоног елемента, класе предеоних елемената или на нивоу интегралног предела (McGarigal, Marks, 1995; Radić, 2014). Највећи број метричких алгоритама су интегрисани у различите софтверске пакете од којих су најзаступљенији у употреби FRAGSTATS, Patch Analyst за ArcGIS окружење, IDRISI (Uuemaa et al., 2009), SAGA и други мање познати софтвери у развоју, који су омогућили њихову ширу и оперативнију примену у пракси.

На основу прегледа досадашњих резултата истраживања који су објављени у научним часописима у периоду од 2000. до 2016. године, у овом раду су приказани трендови примене метрике предела у утврђивању еколошке и визуелне вредности предела, односно размо-

трене су могућности за њихову интегралну интерпретацију. Еколошка вредност је представљена кроз промене структуре предела које се односе и на функције станишта а омогућавају и праћење нивоа биодиверзитета. Визуелна вредност предела се односи на визуелно - перцептивне и визуелно - просторне функције захваљујући чијим вредностима предео има важну улогу у обезбеђењу јавног интереса у области културе, животне средине и доприноси испуњавању разноврсних људских потреба неопходних за здравље и благостање заједнице (Council of Europe, 2000).

Увидом у најзаступљеније параметре метрике предела којим се изражава његова еколошка и визуелна функција, формирана је основа за издвајање репрезентативних параметара за потребе интегралне процене вредности предела као дела методе израде планских докумената.

## МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Метод истраживања се заснива на анализи, систематизацији и класификацији радова публикованих у водећим међународним часописима реферисаним у бази Web of Science. На основу прегледа публикованих радова на пољу примене метрике предела у еколошким и визуелним истраживањима, систематизовани су индикатори структуре предела и параметри метрике који су затим тумачени у контексту могућности њихове примене у интегралној процени предела, односно у интегралној интерпретацији визуелне и еколошке димензије предела.

У првој фази рада, извршено је претраживање радова публикованих у периоду од 2000. до 2016. године према кључним терминима који се односе на проблематику истраживања. Као прво, прикупљени су радови који су у наслову, изводу или као кључну реч садржали термин „метрика предела“ (енг. landscape metrics) или термине који се често користе као синоними: „предеони индекси“ (енг. landscape indices), „метрика простора“ (енг. spatial metrics). Затим

је претраживање прикупљених радова вршено у комбинацији са терминима: ‘visual landscape’, ‘landscape aesthetics’, ‘scenic quality’, ‘landscape visual character’, ‘visual preference’, ‘visual perception’, ‘information function’, ‘visual assessment’, ‘biodiversity’, ‘habitat’, ‘land use’, ‘landscape change’, ‘ecological assessment’, ‘ecological process’, ‘regulating function’.

У другој фази рада, извршена је класификација прикупљених радова у три категорије: (1) предеони образац и његове промене, (2) биодиверзитет и функције станишта као и (3) визуелна процена предела, који су затим проучени у циљу формирања информационе основе, при чему нису разматрани радови који се нису експлицитно односили на примену метрике предела. Метриком обрасца предела и анализом његових промена се могу пратити главне еколошке функције и процеси, који су индикативни за биодиверзитет и од којих зависе еколошке функције станишта. Даље истраживање је затим фокусирано на библиографске јединице чији резултати показују највећу корелацију са циљем предметног истраживања, односно са могућношћу проучавања интегралне процене предела. У наредном кораку, селековано је 30 радова подељених у три наведене категорије. На тај начин је формирана информациона основа на основу које су систематизовани метрички параметри, а који су затим подељени, према McGarigal-овој подели (McGarigal, Marks, 1995), на шест главних група: метрика величине и ивице (енг. area and edge metrics), метрика облика (енг. shape metrics), метрика агрегације (енг. aggregation metrics), метрика диверзитета (енг. diversity metrics), метрика језгра (средишта) (енг. core area metrics) и метрика контраста (енг. contrast metrics). На основу анализе коришћених параметара метрике, као и резултата њихове примене, за сваку наведену категорију издвојени су најзначајнији параметри који се могу тумачити у контексту њихове примене као просторних индикатора.

Параметри метрике су означени акронимима, који су прихваћени у области предеоне екологије (Табела 1).

**Табела 1.** Коришћене ознаке и њихово појашњење

Ознака	Параметри метрике предела
NP	Број предеоних елемената
LPI	Индекс највећег предеоног елемента
PD	Просторна компактност предеоних елемената
MPS	Просечна површина предеоних елемената
PSCV	Коефицијент варијације површине предеоних елемената
PSSD	Стандардна девијација површине предеоних елемената
ED	Просторна компактност ивица предеоних елемената
MSI	Просечан индекс форме предеоних елемената
AWMSI	Просечан индекс форме пондерисан површином предеоног елемента
MPFD	Просечна фрактална вредност
AWMPFD	Просечна фрактална вредност пондерисана површином предеоног елемента
LSI	Индекс форме предела
CONTAG	Индекс преносивости (контактибилности)
IJI	Индекс упоредне разбијености (распршености)
AI	Индекс агрегације
SHDI	Шенонов индекс диверзитета
SHEI	Шенонов индекс равномерности
SIDI	Симпсонов индекс диверзитета
PROX	Индекс доступности (досега)
ENN	Еуклидова дистанца између најближих суседних предеоних елемената

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

### Предеони образац и његове промене

У категорији која се односи на предеони образац и његове промене, издвојени су радови који се односе на анализу обрасца и његових промена које су најчешће последица антропогеног утицаја, односно промена у начину коришћења земљишта. Динамични карактер предела указује на једну од његових основних особина - сталне промене које се одвијају у простору и времену (Forman, Godron, 1986; Antrop, 2005; Leitaо *et al.* 2006; Vasiljević, Radić, 2016). Трансформације простора и пренамена начина коришћења земљишта за потребе урбанизације, саобраћаја, привреде, шумарства, туризма и других активности мењају структуру предела модификујући еколошке односе и механизме функционисања. Утицаји трансформација одражавају се на биодиверзитет, енергетске токове, биогеохемијске циклусе и климатске услове на локалном и регионалном нивоу (Leitaо *et al.*, 2006), истовремено мењајући слику предела, самим тим и визуелну перцепцију и доживљај људи.

Иако се одређен број студија бави проучавањем промена структуре руралних и шумских предела (Southworth *et al.*, 2002), далеко су учесталије студије које проучавају трансформа-

ције урбаних предела, као најдраматичнијег облика неповратних просторних промена (Luck, Wu, 2002; Wu *et al.*, 2011). Велики број истраживања показује јасан тренд у повећању фрагментације предела изазване урбанизацијом (Southworth *et al.*, 2002; Luck, Wu, 2002; Weng, 2007; Aguilera *et al.*, 2011; Fan, Myint, 2013).

На основу анализе и систематизације изабраних радова, може се приметити да се у просеку примењује од 4 до 10 параметара метрике у анализи структуре предела. У одређеном броју студија је анализиран већи број параметара метрике у циљу утврђивања њихове сврсисходности (Peng *et al.*, 2010), зависности од размере, просторне и информационе резолуције и могућности интерпретације (Hercog, Lausch, 2002) или избора параметара као индикатора хетерогености структуре (Plexida *et al.*, 2013). Просторна резолуција се односи на укупну површину истраживаног подручја, а информациона резолуција на величину грануле, основне градивне јединице предела која је предмет анализе (Forman, Godron, 1986; Radić, 2014). Hercog и Lausch (2002) су у две студије случаја које су биле различите по свим критеријума (површина, размера, резолуција, полазне базе података) квантификовали 27, односно 24 параметара, где су параметри PD,

MPS, AWMPFD; MPFD, MSI, LSI, IJI, CONTAG у обе студије показали најзначајније корелације за анализу предеоног обрасца. Peng и сарадници (2010) су издвојили PSSD, PSCV, MSI, AWMPFD и CONTAG као индикаторе који квантификују већи број компоненти структуре предела у односу на друге, односно једино реагују на три независне варијабле у регресионој анализи. Plexida и сарадници (2013) су од 24 тестираних параметара утврдили да 10 показују највеће корелације за интерпретацију хетерогености предела. Сви наведени аутори, предлажу употребу мањег броја метричких параметара, а DiBari (2007) и Weng (2007) су помоћу 4 кључна параметара интерпретирали главне трендове промена урбаних образаца.

Међутим, избор параметара метрике зависи од модела и циљева истраживања. Последњих година се све учесталије користи градијент анализа (енг. gradient analysis) у комбинацији са метриком које показују значајне резултате у тумачењу урбаних еколошких процеса (Luck, Wu, 2002; Weng, 2007). Велики број студија је изведен помоћу даљинске детекције (Lausch, Hercog, 2002; Southworth *et al.*, 2002; Herold *et al.*, 2002; DiBari, 2007; Wu *et al.*, 2011; Fan, Myint, 2014; Plexida *et al.*, 2014). Fan и Myint (2014) предлажу употребу индекса просторне аутокорелације са предеоном метриком у процени фрагментације урбаних предела.

Селекцију додатно усложњава зависност параметара од размере, резолуције, базе по-

датака и типологије начина коришћења земљишта/земљишног покривача. Класификација начина коришћења земљишта укључује од 3 до 17 класа, које се издвајају различитим методама, што отежава поређење резултата, нарочито метрике на нивоу предела (Hercog, Lausch, 2002).

Метрика композиције се чешће примењује у односу на конфигурацију коју је и знатно лакше квантификовати. Најучесталије се примењује метрика из групе метрике величине и ивица (42% од укупног броја тестираних параметара у свим селектованим истраживањима), затим метрике агрегације (21%), диверзитета (19%) и облика (15.5%). Компарацијом резултата селектованих истраживања, али и на основу теоријских поставки и других прикупљених радова издвојено је 11 метричких параметара помоћу којих се могу пратити главни трендови просторно-временских промена обрасца (Табела 2).

Параметар ED се примењује знатно мање у односу на друге издвојене параметре. Међутим, веће вредности ED указују на фрагментисане и изоловане предеоне елементе који су последица антропогених утицаја (Radić, 2014). PSSD представља меру апсолутне дисперзије, а PSCV релативну дисперзију површина предеоних елемената у односу на MPS одређене класе или целокупног предела (Radić, 2014). Параметри PSSD и PSCV су деривати MPS и представљају „статистику другог реда“, сходно чему их је неопходно и тумачити у контексту вредности MPS и PD.

**Табела 2.** Метрички параметри за анализу обрасца предела и његових промена

	Метрика величине и ивице						Метрика облика		Метрика агрегације		Метрика диверзитет
	LPI	PD	MPS	PSCV	PSSD	ED	MSI	AWMPFD	CONTAG	IJI	SHDI
Lausch <i>et al.</i> , 2002		*	*				*	*	*	*	*
Luck, Wu, 2002	*	*	*	*							
Herold <i>et al.</i> , 2002		*			*	*		*	*		
Southworth <i>et al.</i> , 2002	*		*			*	*			*	
DiBari, 2007	*							*		*	
Weng, 2007		*	*								*
Peng <i>et al.</i> , 2010			*	*	*		*	*	*		*
Wu <i>et al.</i> , 2011		*				*		*			*
Aguilera <i>et al.</i> , 2011			*				*				
Plexida <i>et al.</i> , 2013		*	*	*	*		*			*	*
Fan, Myint, 2014	*	*							*		

## Биодиверзитет и функције станишта

Примена концепта квантификације образаца предела у анализи биодиверзитета и станишта је једно од најинтензивније проучених поља (Uuemaa *et al.*, 2009). Највећи проценат чине радови који проучавају биоeколошке односе структуре предела и одређене таксономске врсте флоре или фауне (детаљније видети Uuemaa *et al.*, 2009). Знатно мање су заступљена емпиријска истраживања која примењују метрику предела за анализу диверзитета више таксона и њихових међуодноса на различитим размерама или укупног биодиверзитета на неком подручју (Billeter *et al.*, 2008; Schindler *et al.*, 2013). Највећи број истраживања се односи на сисаре, затим биљке и птице, док су у мањем проценту заступљене студије о инсектима, гмизавцима, водоземцима и рибама (Uuemaa *et al.*, 2009; Uuemaa *et al.*, 2012).

Свега неколико аутора је проучавало примену метрике у процени укупног биодиверзитета (Billeter *et al.*, 2008; Ueemma *et al.*, 2009; Schindler *et al.*, 2007; Schindler *et al.*, 2013). Schindler и сарадници (2007) су предложили сет параметара за процену укупног биодиверзитета, где су се индикатори диверзитета станишта фрагментације и облика предеоних елемената на предеоним нивоу издвојили као круцијални на различитим просторним размерама. Станишта са хетерогеним абиотичким условима и варијацијама у физичкој структури имају већи биодиверзитет, а богатство (бројност) врстама је условљено фрагментацијом предела и степеном изолације станишта (мање изолована станишта су специјски богатија) (Forman, Godron, 1986). Фрагментација екосистема и матрице популације и понашања организама (Fahrig, 2002; McGarigal, Cushman, 2002).

С друге стране, резултати примене метрике предела као индикатора богатства биљним брстама, инсектима и кичмењацима показали су да облик предеоних елемената, диверзитет, удаљеност и начин агрегације предеоних елемената у односу на метрику величине и контраста ивице имају већу корелацију у моделу процене диверзитета за шест селектованих таксономских група (Schindler *et al.*, 2013).

Насупрот, Паневропска студија која је укључивала податке из седам држава у циљу процене биодиверзитета руралних предела је установила да се ниједна врста није издвојила као предиктор за остале таксономске групе (Billeter *et al.*, 2008). Квантификовани метрички параметри, осим површине природи блиских станишта и њиховог диверзитета, нису показали значајан однос у анализи повезаности станишта и предикцији богатства врстама на већим размерама (Billeter *et al.*, 2008). Иако су присутне одређене недоследности, генерално је метрика композиције предела (пропорција и диверзитет типова начина коришћења земљишта/земљишног покривача) више истражена у односу на конфигурацију структуре у праћењу и предикцији диверзитета фауне, нарочито диверзитета сисара (Uuemaa *et al.*, 2009).

За разлику од фауне, комплексност облика предеоних елемената (метрика конфигурације) се показала као значајнији индикатор степена богатства флоре (Moser *et al.*, 2002). Геометријска сложеност предела се мења променом хетерогености форме услед антропогених утицаја стварајући равне (геометризоване) ивице, које мењају токове енергије и ентропију простора одражавајући се на богатство врстама. Станишта биоморфних (неправилних) облика генерално имају већи број врста биљака (Fahrig, 2002; Moser *et al.*, 2002; Honnay *et al.*, 2003). Индекс форме предеоних елемената и фрактална вредност предеоних елемената (као и њихови деривати: просечне вредности или индекси пондерисани површином елемента) су стандардни параметри облика, док су Moser и сарадници (2002) развили нов индекс комплексности облика који показује веће корелације у предикцији диверзитета флоре. У другим категоријама, квантификација метрике изолације се ретко користи, док су PROX и ENN (Табела 3) индикатори повезаности која обезбеђује доступност ресурса круцијалних за динамику популација (метрика изолације чини 12% од укупног броја тестираних параметара у свим издвојеним истраживањима ове категорије). Негативна корелација PROX и угрожених врста указује на битне утицаје фрагментације предела за ову групу врста (Honnay *et al.*, 2003), док су инвазивне врсте у односу на аутохтоне такође осетљивије на хетерогеност структуре (Kumar *et al.*, 2006). Резултати

Kumar-a и других (2006) су показали да просторна хетерогеност може имати различите ефекте на дистрибуцију аутохтоних и инвазивних врста биљака, где су параметри ED, SIDI, IJI имали позитивну, а параметар MPS негативну корелацију за све врсте. Евидентан је пораст студија о односу инвазивних врста и структуре предела (Wania *et al.*, 2006; Kumar *et al.*, 2006). Неочекивана је ниска примена метрике контраста ивице, а коју је неопходно укључити у даљим истраживањима због добро познатог концепта ивичног ефекта и значаја контраста ивица за биодиверзитет (Forman, Godron, 1986). Из свега наведеног, може се закључити да се будућа емпиријска истраживања морају усмерити у правцу синтезе досадашњих резултата у циљу процене и мониторинга укупног биодиверзитета.

У табели 3 су приказани главни параметри метрике који су се показали релевантни за анализу богатства врстама у издвојеним радовима, а њихову апликацију у даљим студијама је могуће усмерити у правцу креирања универзалних индикатора у процени укупног биодиверзитета и станишта. Ипак, неке параметре је потребно проверити у даљим истраживањима (нпр. метрика облика у предикцији диверзитета флоре је значајан индикатор, док за фауну не показује битне корелације).

## ВИЗУЕЛНА ПРОЦЕНА ПРЕДЕЛА

У наредној категорији су издвојени радови који се односе на примену метрике предела у

визуелној процени предела. Сама тематика естетике предела је актуелна у стручној и научној области већ неколико деценија, где се интензивно развија од 70-их година прошлог века. Прве теорије се баве еволуционим факторима које дефинишу урођене преференце човека ка одређеним пределима. Непосредно се развија и другачији приступ који се сврстава у групу теорија културних преференци у којима су друштвени контекст и персонална искуства пресудни фактори у креирању естетског доживљаја (Tveit *et al.*, 2006; Vasiljević, 2012) и „естетско задовољство произилази из предела који доприноси културном идентитету и стабилности“ (Bourassa, 1988).

Приступи се разликују и у зависности од тога да ли су аутоцентрични (субјекат у центру интереса) или алоцентрични (усмерен на објекат) (Porteous, 1996). Ова подела се заснива на субјективистичкој и објективистичкој парадигми (Lothian, 1999) у којој се прва базира на пружању психолошких објашњења преференције и перцепције предела, док су у фокусу објективистичке парадигме физичке карактеристике предела на основу којих људи граде примарне реакције на простор (Tveit *et al.*, 2006; Vasiljević, 2012; Frank *et al.*, 2013). Оваква диференцијација је определила и трендове у емпиријским истраживањима заснованим на експерско- или перцептивно-оријентисаном приступу. Перцепција и преференција предела се најпре развијала у области психологије животне средине, која није узимала у обзир чињеницу да испитаници могу да комбинују различите критеријуме у оцени сцене предела, а

**Табела 3.** Метрички параметри за процену биодиверзитета и функција станишта

	Метрика величине и ивице			Метрика облика	Метрика агрегације	Метрика диверзитета		Метрика изолације	
	NP	MPS	ED	AWMSI	IJI	SHDI	SIDI	ENN	PROX
Moser <i>et al.</i> , 2002	*		*	*					
Honnay <i>et al.</i> , 2003				*		*			*
Westphal <i>et al.</i> , 2003	*							*	
Kumar <i>et al.</i> , 2006		*	*		*		*		
Wania <i>et al.</i> , 2006	*	*	*		*				
Kim, Pauleit, 2007	*	*		*		*		*	*
Schindler <i>et al.</i> , 2007	*			*	*		*	*	*
Billeter <i>et al.</i> , 2008	*								
Schindler <i>et al.</i> , 2013			*		*	*	*	*	*

студије су се заснивале на прегледу карактеристика које доводе до ниске или високе преференце предела (Daniel, Meitner, 2001; Dramstad *et al.*, 2006). Са друге стране, експертски приступ је стриктно фокусиран на структуру предела и конфигурацију његових елемената. Иако су присутне оштре разлике у схватању визуелно-естетске димензије предела од стране различитих теоријских праваца, савремени теоретичари се слажу да је неопходно сједињавање сазнања и достигнућа у јединствену парадигму (de la Fuente de Val *et al.*, 2006; Fry *et al.*, 2009). Dewey (1980) наводи да естетски доживљај не укључује одвојеност субјекта и објекта већ је холистичке природе, укључујући интеграцију фактора који у уобичајеном доживљају могу изгледати превише дифузни, посебно у контексту предела, који се састоји из великог броја елемената. Управо, комплексност предела, темпорална динамика, субјективност и индивидуалне разлике између посматрача, су само неки од фактора који отежавају формирање квантитативне и објективне процене визуелног карактера предела (Uuemaa *et al.*, 2012).

Првобитна емпиријска истраживања су базирана на коришћењу фотографија у процени преференци испитаника, које се данас комбинују са сателитским и аерофото снимцима. Оправданост примене фотографија у студијама преференци је често критикована због њихове немогућности да на адекватан начин представе динамичан и мултифункционалан карактер предела. Упркос ограничењима, фотографије су се показале као задовољавајући репрезентивне слике предела захваљујући поређењу са подацима добијеним у студијама на терену (Dramstad *et al.*, 2006). Студије у програмима мониторинга предела и квантификацији структуре се заснивају на мапама земљишног покривача, аерофото снимцима, даљинској детекцији пружајући перспективу за холистичку процену визуелног карактера предела, која у комбинацији са преференцама заснованим на фотографијама обједињују субјективни и објективни приступ (Dramstad *et al.*, 2006; Tveit *et al.*, 2006; Frank *et al.*, 2013). Холистички приступ подстакнут је увођењем аерофото снимка, илуструјући везе између теорије холизма и Гештalt теорије у перцепцији предела, а помо-

ћу којих се прате промене и холистички интерпретирају комплексни предели (Antrop, Van Eetverde, 2000). Antrop и Van Eetverde (2000) доказују да метричка квантификација сумиране ентропије највише одговара дефинисању јединице истраживања при визуелној интерпретацији сателитских података и може се користити као квантитативна карактеристика у холистичком дефинисању јединице предела. Сумирана ентропија се односи на Шенонову информациону ентропију, која се примењује као Шенонов индекс диверзитета (SHDI) у предеоној екологији и изражава различитост и пропорцију типова предеоних елемената.

Везу између предеоне анализе засноване на мапама земљишног покривача и фотографијама у процени перцепираног естетског квалитета су проучавали Dramstad и сарадници (2006) са циљем да утврде да ли се аспекти композиције предела могу користити као индикатори за процену визуелног квалитета у програмима мониторинга који користе даљинску детекцију. Позитивне корелације метрике предела засноване на мапама и резултата преференци две групе испитаника указују на неколико аспеката композиције и конфигурације (превасходно пропорција и диверзитет типова предеоних елемената) који се могу користити као параметри приликом визуелне процене. Palmer (2004) користи метрику у анализи перцепције сценске вредности предела који је претрпео знатне промене у периоду од 20 година. Он указује да се варијације у перцепцији сцене од стране испитаника могу у знатној мери објаснити просторним метричким индикаторима, а поредећи их са резултатима добијеним анкетирањем испитаника закључује да је генерално метрика композиције у односу на метрику конфигурацију ближе повезана са сценским вредностима предела. Највећи допринос из групе параметара метрике конфигурације је имао ED, који се показао као индикативан за сценске вредности и комплексност структуре. Релације између визуелних атрибута и метрике обрасца у медитеранским пределима такође потврђују да су индикатори комплексности и диверзитета структуре најзначајнији у предикцији преференције (de la Fuente de Val *et al.*, 2006). Број и типови предеоних елемената су имали највеће пози-



тивне корелације са високо ранжираним преференцама (Palmer, 2004; Dramstad *et al.*, 2006), а индекси облика, Shannon-ов индекс диверзитета и просторна компактност предеоних елемената су потенцијални индикатори диверзитета и природности предела (Tveit *et al.*, 2006; Fry *et al.*, 2009; Frank *et al.*, 2013). Генерално, ранжирани су високо отворени и хетерогени предели са присуством елемената воде (Palmer, 2004; Dramstad *et al.*, 2006; Tveit *et al.*, 2006; Uuema *et al.*, 2009, 2012; Frank *et al.*, 2013).

За разлику од студија еколошких процеса предела, један од главних изазова у анализи визуелног карактера предела је недостатак јасног оквира за оперативну и квантитативну примену визуелних индикатора. Иако метрика предела још увек не може да обједини и квантификује све аспекте визуелне димензије предела (Dramstad *et al.*, 2006), пре свега естетске критеријуме појединаца које су релативне и субјективне, постало је извесно да се визуелни карактер предела, мора везати за предеоно образац, као систем у ком се материјализују предеоно вредности (Fry *et al.*, 2009; Vasiljević, 2012). Проучавајући визуелну димензију предела кроз холистички принцип, у оквиру једне паневропске студије настао је пројекат VisualLands који је синтетизовао досадашње теоријске основе и представио један квалитативно другачији методолошки модел за процену визуелног карактера предела (Tveit *et al.*, 2006; Sang *et al.*, 2008; Fry *et al.*, 2009; Ode *et al.*, 2010, Ode *et al.*, 2011). Аутори су

дефинисали девет перцептивних (визуелних) концепата и за сваки концепт представљен је сет атрибута и потенцијалних квантитативних индикатора (Tveit *et al.*, 2006). Даља истраживања њиховог модела (Fry *et al.* 2009) показала су да визуелни индикатори имају релативно широк заједнички концептуални оквир са кључним еколошким аспектима (висок степен повезаности предеоно-еколошких и визуелних приступа) што га чини употребљивим у истраживањима различитих функција и вредности, формирајући аналитичку и полазну основу за развој нове интегративне теорије и метода које унапређују анализу, мониторинг и планирање. Након провере концептуалних оквира и анализе заједничких именитеља за визуелни и еколошки аспект предела аутори су издвојили шест кључних концепата: комплексност, кохерентност, природност, визуелни обухват, историчност и уређеност.

У табели 4 су приказани метрички параметри који показују највеће корелације у досадашњим истраживањима или интерпретирају неки од наведених концепата. Велики напор је уложен у интерпретацију комплексности предела који је у корелацији са кохерентношћу, кроз квантификацију дистрибуције елемената (метрика просторне компактности: MPS, PD, NP; метрика диверзитета: SHDI, SHEI), просторне организације обрасца (метрика агрегације: CONTAG, AI, IJI) и варијација облика и обрасца (фрактална геометрија: MPFD, индекс облика: MSI, метрика ивице: ED) (Ode *et al.*, 2010, 2011).

Табела 4. Метрички параметри за визуелну процену предела

	Метрика величине и ивице				Метрика облика		Метрика агрегације		Метрика диверзитета	
	NP	MPS	PD	ED	MSI	MPFD	CONTAG	AI	SHDI	SHEI
Antrop, Van Eetvelde, 2000	*	*			*	*				
Palmer, 2004		*	*	*						*
Fuente de Val <i>et al.</i> , 2006	*		*			*	*		*	
Dramstad <i>et al.</i> , 2006	*	*							*	
Tveit <i>et al.</i> , 2006	*	*	*	*	*		*	*	*	*
Sang <i>et al.</i> , 2008	*	*			*		*	*	*	
Fry <i>et al.</i> , 2009	*	*		*	*	*		*	*	*
Ode <i>et al.</i> , 2010	*			*	*	*	*	*	*	*
Ode <i>et al.</i> , 2011	*			*	*		*	*	*	*
Frank <i>et al.</i> , 2013			*		*				*	

## ЗАКЉУЧАК

Предеони образац је просторни систем елемената који није статична категорија већ представља динамичан ентитет који је под сталним утицајима природних и/или антропогених фактора. Индикатори динамике и еволуције предела су сагледиви на нивоу предеоног обрасца чијом анализом се утврђује стање структуре и функционисања предела, процењује се стање биодиверзитета као и његова визуелна вредности. Утицаји природних фактора као покретача промена и процеса у пределу се одвијају у знатно дужем временском периоду у односу на трансформације узроковане антропогеним активностима у простору. Антропогени утицаји се карактеришу већим интензитетом и нивоом непредвидљивости, а урбанизација као најдраматичнији облик промене структуре предела оставља неповратне последице. Активности које се односе на планирање простора и његове трансформације из постојећег у жељено (планирано) стање се манифестују променама у структури и функционисању предеоног обрасца. Ови процеси зависе од просторне размере, просторне форме и просторне дистрибуције елемената у предеоном обрасцу. Поред наведеног, предеони образац, као носилац јединственог карактера предела на регионалном и локалном нивоу сублимира различите димензије и вредности предела које представљају перцептивни домен његових корисника.

Савремена достигнућа у технологији географских информационих система омогућују да се на основу релевантних просторних пода-

така адекватно анализирају, систематизују и прикажу својства комплексних односа елементарна предела и процеса који се у њему одвијају. Примена даљинске детекције, аерофото и сателитских снимака довела је до другачијег истраживачког приступа, отварајући пут за холистичко разумевање просторних феномена. Развојем методе метрике предела створили су се услови за егзактну анализу и квантификацију предеоног обрасца, његове стабилности и промена предела, али и форме и значења предела. Принципи предеоне метрике омогућавају нумеричку и статистичку анализу предеоног обрасца, где бројни метрички параметри квантификују специфичне појаве на различитим просторним нивоима.

До сада је развијено неколико стотина метричких параметара који су нашли своју примену у различитим областима науке. Прегледом релевантне литературе, публиковане у периоду од 2000 до 2016. године, издвојени су параметри метрике предела који анализирају предеони образац и процењују различите еколошке и визуелне вредности предела. Основни трендови примене метрике предела су класификовани у три категорије: (1) предеони образац и његове промене, (2) бидиверзитет и функције станишта и (3) визуелна процена предела. Издвајањем репрезентативних параметара метрике предела, којим се интерпретира еколошка и визуелна вредност предела (NP, PD, ED, MPS, MSI, CONTAG, IJI, SHDI), створена је основа за истраживање њихове апликативности и операционализације за потребе савременог планирања просторног развоја.

## LANDSCAPE METRICS APPLICATION IN ECOLOGICAL AND VISUAL LANDSCAPE ASSESSMENT

Suzana Gavrilović, PhD student, University of Belgrade, Faculty of Forestry (suzana.d.gavrilovic@gmail.com)

PhD Nevena Vasiljević, docent, University of Belgrade, Faculty of Forestry

PhD Boris Radić, docent, University of Belgrade, Faculty of Forestry

MsC Vladimir Pihler, spatial planner, Urban and Spatial Planning Institute of Vojvodina

**Abstract:** The development of landscape-ecological approach application in spatial planning provides exact theoretical and empirical evidence for monitoring ecological consequences of natural and/or anthropogenic factors, particularly changes in spatial structures caused by them. Landscape pattern which feature diverse landscape values is the holder of the unique landscape character at different spatial levels and represents a perceptual domain for its users. Using the landscape metrics, the parameters of landscape composition and configuration are mathematical algorithms that quantify the specific spatial characteristics used for interpretation of landscape features and processes (physical and ecological aspect), as well as forms (visual aspect) and the meaning (cognitive aspect) of the landscape. Landscape metrics has been applied mostly in the ecological and biodiversity assessments as well as in the determination of the level of structural change of landscape, but more and more applied in the assessment of the visual character of the landscape. Based on a review of relevant literature, the aim of this work is to show the main trends of landscape metrics within the aspect of ecological and visual assessments. The research methodology is based on the analysis, classification and systematization of the research studies published from 2000 to 2016, where the landscape metrics is applied: (1) the analysis of landscape pattern and its changes, (2) the analysis of biodiversity and habitat function and (3) a visual landscape assessment. By selecting representative metric parameters for the landscape composition and configuration, for each category is formed the basis for further landscape metrics research and application for the integrated ecological and visual assessment of the landscape values. Contemporary conceptualization of the landscape is seen holistically, and the future research should be directed towards the development of integrated landscape assessment as a guideline for spatial development planning.

**Key words:** landscape metrics, landscape structure, landscape ecology assessment, visual landscape assesment

## INTRODUCTION

The application of landscape-ecological approach in spatial planning opened the way for a different dialogue between spatial planners and ecologists, providing the exact theoretical and empirical evidence for monitoring ecological consequences caused by changes in landscape structure. Landscape-ecological approach is based on the analysis of the landscape structure (Landscape pattern), the functions and processes in a landscape (Forman, Godron, 1986). Spatial development planning anticipates changes in the existing landscape structure in the direction of

desired interrelations between the elements of a particular landscape pattern, which is the holder of the unique landscape character.

Within contemporary landscape conceptualization, the landscape pattern, or landscape character gets value that is perceived as a holistic, dynamic and perceptible spatial entity (Antrop, 2005; Vasiljevic, Zivkovic, 2009; Vasiljevic, 2012; Vasiljevic, Radic, 2016). This approach to the perception of values in space was given its legitimacy in the European Landscape Convention, which defines the landscape as “an area, as

perceived by people, whose character is the result of the action and interaction of natural and/or human factors” (Council of Europe, 2000). The landscape is interpreted as the surface of the earth that represents a complex system of aesthetic (visual), cultural, ecological and economic systems. The value of this system is materialized in the landscape pattern, respectively landscape character, that reflects human perception and sense of belonging (von Haaren, 2002). By developing the method of analysis and the quantification of the landscape structure, conditions have been created for the exact study of functions and processes (physical and ecological aspect), but also of the form (visual aspect) and meaning (cognitive aspect) of the landscape (Terkenli, 2001, Васиљевић, 2012; Vasiljević *et al.*, 2014). The determination of the value, which represents the integration of structural and visual aspects of the contemporary landscape concept, ie its operationalization and quantification, is the challenge of contemporary planning of spatial development.

Landscape metrics method is for several years one of the most represented methods of quantifying the structure of the landscape and is implemented in all stages of spatial planning (Leitao *et al.* 2006). This allows direct monitoring of spatial development as well as the prediction of spatial transformation which has its application in assessing ecological stability of the landscape pattern, the biodiversity, as well as the visual character assessment (Uuemaa *et al.*, 2009). Quantification of the landscape structure and its interpretation is performed in the *metric formation of the composition and configuration of the structure* and represent methodology for landscape analysis (Uuemaa *et al.*, 2009, 2012; Vasiljevic, 2012; Radic, 2014; Vasiljevic *et al.*, 2014; Vasiljevic, Radic, 2016), or “the value of the current and the desired landscape pattern as integral part of the spatial planning concept” (Vasiljevic, Radic, 2016).

*Landscape composition* is related to the volume, density and size of different landscape types, where the composition characteristics are medium for the interpretation of landscape features such as the proportion, the uniformity, the dominance and diversity of landscape elements. In contrast to the composition, the *landscape configuration* represents the spatial distribution

of landscape elements, and it reflects the shape and compactness of landscape elements, distances between elements and edge contrasts. It interprets the spatial geometry of the landscape elements (Vasiljevic, 2012).

A large number of metric parameters for landscape composition, as well as configuration have been developed for the categorical maps (either as a vector or raster data), which quantifies a specific spatial phenomenon at the level of the landscape element, class of landscape elements or at the level of the integral landscape (McGarigal, Marks, 1995; Radic, 2014). The largest number of metric algorithms are integrated into the various software packages, of which the most common in use are FRAGSTATS, Patch Analyst ArcGIS, IDRISI (Uuemaa *et al.*, 2009), SAGA and other less well-known software packages in development, which enable their broader and operational application in practice.

Based on a review of relevant research studies, published from 2000 to 2016, this paper shows the trends of landscape metrics application in determining the ecological and visual value, or consider the possibilities for their integral interpretation. The ecological value is represented by changes in the landscape structure that relate to the habitat functions and enable the monitoring of the level of biodiversity. The visual landscape value refers to visual - perceptive and visual - spatial functions, thanks to (ili neki dr termin due to, by favour of) those values the landscape plays an important role in ensuring the public interest in the field of culture, the environment and contributes to meeting the various human needs necessary for the health and wellbeing of the human community (Živković, Vasiljević, 2013).

An examination of the most common landscape metric parameters which express its environmental and visual function, there is a possibility to extract representative parameters in the integrated value assessment of the landscape, as part of the method for the development of spatial plans.

## MATERIALS AND METHODS

Our method is based on analysis, systematization and classification of papers published in lead-

ing international journals referred to in the Web of Science. Based on a review of published papers in the field of landscape metrics application in the ecological and visual research, the landscape structure and metrics indicators were systemized, which are then described in the context of their application possibility in an integrated landscape assessment or in the integrated interpretation of the visual and ecological dimensions of the landscape.

In the first phase, the search of papers published in the period from 2000 to 2016 had been carried out, according to key terms relating to the issue of research. Primarily, the works that contained the term “landscape metrics” in the title, abstract or as a keyword were collected or terms that are often used as synonyms: “landscape indices”, “spatial metrics”. Afterwards, the research of collected works had been carried out in combination with the terms, “visual landscape”, “landscape aesthetics”, “scenic quality”, “landscape visual character”, “visual preference”, “visual perception”, “information function”, “visual assessment”, “biodiversity”, “habitats”, “land use”, landscape change”.

In the second stage of the operation, the works were clasified in three categories: (1) landscape pattern and its change, (2) the biodiversity and habitat functions and (3) visual landscape assessment, which are then analyzed in order to form the database, while the works that have not been explicitly referred to the application of the landscape metrics was not considered. Landscape metrics and the analysis of its modification can monitor major ecological functions and processes, that are indicative for biodiversity and that depend on the biological function of the habitat. Further research had been focused on the bibliographic units which results illustrate the highest correlation with the purpose of the research topic - the possibility of studying the integral landscape assessment. In the next step, there were 30 works selected and divided in three categories. That’s how the database had been formed on which basis the metric parameters were systematized, which are then divided, according to McGarigal division (McGarigal, Marks, 1995), to six main groups: area and edge metrics, shape metrics, aggregation metrics, diversity metrics, core area metrics and contrast metrics. Based on the analysis of used metric pa-

rameters, as well as the results of their application, for each indicated category the most important parameters which can be interpreted in the context of their application as spatial indicators have been extracted.

Metric parameters are indicated by acronyms, which are formalized in the field of landscape ecology (Table 1).

**Table 1.** Used acronyms and their explanation:

Acronym	Metric parameter
NP	Number of patches
LPI	Largest Patch Index
PD	Patch density
MPS	Mean Patch Size
PSCV	Patch Size Coefficient of Variance
PSSD	Patch Size Standard Deviation
ED	Edge Density
MSI	Mean Shape Index
AWMSI	Area-Weighted Mean Patch Shape Index
MPFD	Mean Patch FractalDimension
AWMPFD	Area-Weighted Mean Patch Fractal Dimension
LSI	Landscape Shape Index
CONTAG	Contagion Index
IJI	Interpersion and juxtaposition Index
AI	Aggregation Index
SHDI	Shannon’s Diversity Index
SHEI	Shannon’s evenness Index
SIDI	Simpson’s Diversity Index
PROX	Proximity Index
ENN	Euclidean nearest neighbour distance

## RESULTS AND DISCUSSION

### Landscape pattern and its changes

In the category related to the landscape pattern and its changes, the selected articles are related to the analysis of the pattern and its changes that are often the result of anthropogenic influence - changes caused by the modifications of land use. The landscape character dynamic indicates one of its basic properties - continuous modifications that occur in time and space (For-

man, Godron 1986; Antrop, 2005; Leitao *et al.* 2006; Vasiljevic, Radic, 2016). Spatial transformation and land use change for urbanization, transportation, industry, forestry, tourism and other activities are changing the structure of the landscape modifying ecological relations and functioning mechanisms. The transformations impact biodiversity, energy flow, biogeochemical cycles and climate conditions at local and regional level (Leitao *et al.*, 2006), simultaneously changing the landscape image, and therefore visual perception and experience of people.

Although a number of studies have researched rural and forest landscape structure changes (Southworth *et al.*, 2002), they are far more frequent studies which research issues of urban landscape transformations, as the most dramatic forms of irreversible spatial change (Luck, Wu, 2002; Wu *et al.*, 2011). Many studies show a clear trend of landscape fragmentation increase caused by urbanization processes (Southworth *et al.*, 2002; Luck, Wu, 2002; Weng, 2007; Aguilera *et al.*, 2011; Fan, Myint, 2013).

Based on the analysis and systematization of selected entries, it can be observed that, on average, 4 to 10 metric parameters are applied in the landscape structure analysis. In a number of studies, greater number of metric parameters have been analyzed in order to determine their possible application or the purpose (Peng *et al.*, 2010), depending on the scale, the spatial and information resolution and interpretation possibilities (Herzog, Lausch, 2002) or the selection of parameters as an structure heterogeneity indicators (Plexida *et al.*, 2013). Spatial resolution refers to the total study area, and the information resolution refers to the size of the "granules", the basic building units of the landscape which is the subject of analysis (Forman, Godron 1986; Radic, 2014). Herzog and Lausch (2002) quantified 27 and 24 parameters in two case studies, which were different on all criteria (area, size, resolution, a starting database), where the parameters PD, MPS, AWMPFD; MPFD, MSI, LSI, IJI, CONTAG in both studies showed the most significant correlation for the analysis of the landscape pattern. Peng *et al.* (2010) have identified PSSD, PSCV, MSI, AWMPFD and CONTAG as indicators that quantify the larger number of landscape structure components in comparison to the oth-

ers, or only react to the three independent variables in a regression analysis. Plexida *et al.* (2013) determined that 10 out of 24 tested parameters indicate the highest correlation for the interpretation of the landscape heterogeneity. All the above mentioned authors, proposes the use of a smaller number of metric parameters, and DiBari (2007) and Weng (2007) interpreted the main trends of urban pattern changes by using 4 key parameters.

However, the choice of metric parameters depends on the model and the research objectives. In recent years, there is an increasing trend of applying the gradient analysis combined with metrics that show significant results in the interpretation of urban ecological processes (Luck, Wu 2002; Weng, 2007). A number of studies was performed by means of remote sensing (Lauscha Herzog, 2002, Southworth *et al.*, 2002; Herold *et al.*, 2002; DiBari, 2007; Wu *et al.*, 2011; Fan, Myint, 2014; Plexida *et al.*, 2014). Fan and Myint (2014) suggest the use of an index of spatial autocorrelation with landscape metrics in assessing the fragmentation of urban landscapes.

The parameters dependence on the situation, resolutions, database and typology of land use / land cover makes the selection more complex. Land use classification includes 3 to 17 classes, which are classified by various methods, and which results makes complex to compare, especially at the level of the landscape metrics (Herzog, Lausch, 2002).

Composition metrics is more frequently used as compared to a configuration that is significantly easier to quantify. The most commonly applied metric is from the group of area and edge metrics (42% of the total parameters tested in all selected studies), then the aggregation metrics (21%), diversity metrics (19%) and shape metrics (15.5%). By comparing the results of the selected studies, as well as on the basis of theoretical assumptions and other collected studies, it has been selected 11 metric parameters which can be used to monitor landscape pattern modification trends (Table 2).

Parameter ED applies much less compared to other selected parameters. However, higher ED values indicate on fragmented and isolated landscape elements that are the result of anthropo-

**Table 2.** Metric parameters for the landscape pattern analysis and its changes

	Area and Edge metrics					Shape metrics			Aggregation metrics		Diversity metrics
	LPI	PD	MPS	PSCV	PSSD	ED	MSI	AWMPFD	CONTAG	IJI	SHDI
Lausch <i>et al.</i> , 2002		*	*				*	*	*	*	*
Luck, Wu, 2002	*	*	*	*							
Herold <i>et al.</i> , 2002		*			*	*		*	*		
Southworth <i>et al.</i> , 2002	*		*			*	*			*	
DiBari, 2007	*							*		*	
Weng, 2007		*	*								*
Peng <i>et al.</i> , 2010			*	*	*		*	*	*		*
Wu <i>et al.</i> , 2011		*				*		*			*
Aguilera <i>et al.</i> , 2011			*				*				
Plexida <i>et al.</i> , 2013		*	*	*	*		*			*	*
Fan, Myint, 2014	*	*							*		

genic impacts (Radic, 2014). PSSD is a indicator of the absolute dispersion and PSCV of the relative dispersion of the landscape elements, compared to the MPS of the particular class or of the entire landscape (Radic, 2014). Parameters PSSD and PSCV are generated from MPS and are “second-order statistics”, as such and in the context of the value of MPS and PD, it is necessary to interpret them.

**Biodiversity and habitat functions**

Application of the quantitation concept in the landscape patterns analysis related to biodiversity and habitat is one of the most intensively studied fields (Uuemaa *et al.*, 2009). The highest percentage of studies research biological relations of the landscape structure and particular flora or fauna taxa (for more details see Uuemaa *et al.*, 2009). A smaller number of empirical research apply landscape metrics for the analysis of diversity of taxa and their interrelation on different scales or general biodiversity in an area (Billeter *et al.*, 2008; Schindler, *et al.*, 2013). Most research refers to mammals, plants and birds, while a small percentage of studies are referred to insects, reptiles, amphibians and fish (Uuemaa *et al.*, 2009; Uuemaa *et al.*, 2012).

Only a few authors have studied the application of the metrics in the biodiversity assessment (Billeter *et al.*, 2008; Ueemma *et al.*, 2009;

Schindler, *et al.*, 2007, Schindler *et al.*, 2013). Schindler *et al* (2007) proposed a set of parameters for the assessment of biodiversity, wherein the indicators to the habitat diversity and fragmentation of landscape elements on the landscape level came as crucial at different spatial scales. Habitats with heterogeneous abiotic conditions and variations in the physical structure have larger biodiversity, and the number of types is subject to landscape fragmentation and the degree of isolation of the habitat (Forman, Godron, 1986). Ecosystem and landscape matrix fragmentation serve as spatial indicators for the population and the organisms behavior (Fahrig 2002; McGarigal, Cushman, 2002).

On the other hand, results in the application of landscape metrics as an indicator of a diversity of types of plants, insects and vertebrate, showed that the shape of landscape elements, diversity, the distance and the form of aggregation of landscape elements, in relation to the area metrics and edge contrast, are more correlated in the diversity assessment model for the six selected taxa (Schindler *et al.*, 2013). In contrast, Pan-European study that included data from seven countries to assess biodiversity of rural areas has concluded that no species is recognized as a predictor for other taxonomic groups (Billeter *et al.*, 2008). Quantified metric parameters (except for the areas of semi-natural habitats and their diversity) did not show significance in the analysis of the correlation of the habitat and the prediction

of a diversity of types on a larger scale (Billeter *et al.*, 2008). Although there are some inconsistencies, generally landscape composition metrics (proportions and diversity of land use types / land cover) is investigated more in relation to the structure configuration in the monitoring and prediction of the diversity of fauna, in particular mammal diversity (Uuemaa *et al.*, 2009).

In contrast to the fauna, the shape complexity of landscape elements (configuration metrics) is proved to be a significant indicator of the degree of flora elements richness (Moser *et al.*, 2002). The geometric complexity of the landscape is modified by changing the heterogeneity of shapes due to anthropogenic influences, creating a flat (geometrical) edge, which alter the flow of energy, spatial entropy and reflects the richness of species. Habitats biomorphic (irregular) shape generally have a greater number of plant species (Fahrig, 2002; Moser *et al.*, 2002; Honnay *et al.*, 2003). The shape index of landscape elements and fractal dimension index (as well as derivatives: Mean and Area-Weighted Mean) are the default shape parameters, while Moser *et al.* (2002) developed a new index of the complexity of the shapes which displays a higher correlation in the prediction of flora diversity. In the other categories, the quantification of the isolation metrics is rarely used, while the PROX and ENN (Table 3) connection indicators which enables the availability of resources, both crucial to the dynamics of populations (12% metric isolation of the total number of tested parameters in all selected studies in this category). A negative correlation of

PROX and endangered species suggests substantial impacts of landscape fragmentation for this group of species (Honnay *et al.*, 2003), while the invasive species compared to the native are also more sensitive to the heterogeneity of the structure (Kumar *et al.*, 2006). Results Kumar *et al.* (2006) showed that spatial heterogeneity can have different effects on the distribution of indigenous and invasive species of plants, where the parameters of the ED, SIDI, IJI had a positive, and MPS negative correlation for all species. There is evident increase in number of studies on correlation of invasive species and landscape structure (Wani *et al.*, 2006; Kumar *et al.*, 2006). It has been surprisingly low application of edge contrast metrics, which is necessary to include in the further research due to the well-known concept of the edge effect and the significance of the edge contrast for biodiversity (Forman, Godron, 1986). It can be concluded that future empirical research should be directed towards the synthesis of the results in order to assess and monitor the overall biodiversity.

Table 3 shows the main metric parameters which proved to be relevant to analyze the abundance of species in the selected works. Their application in further studies is possible to direct towards the creation of universal indicators in biodiversity and habitat assessment. However, some parameters need to be checked in further research (eg. shape metrics in diversity prediction of flora is an important indicator, while the fauna shows no significant correlation).

**Table 3.** Metric parameters for biodiversity and habitat functions

	Area and Edge metrics			Shape metrics	Aggregation metrics	Diversity metrics		Isolation metrics	
	NP	MPS	ED	AWMSI	IJI	SHDI	SIDI	ENN	PROX
Moser <i>et al.</i> , 2002	*		*	*					
Honnay <i>et al.</i> , 2003				*		*			*
Westphal <i>et al.</i> , 2003	*							*	
Kumar <i>et al.</i> , 2006		*	*		*		*		
Wania <i>et al.</i> , 2006	*	*	*		*				
Kim, Pauleit, 2007	*	*		*		*		*	*
Schindler <i>et al.</i> , 2007	*			*	*		*	*	*
Billeter <i>et al.</i> , 2008	*								
Schindler <i>et al.</i> , 2013			*		*	*	*	*	*



## Visual landscape assessment

In the following category has been selected studies related to the use of the landscape metrics in the landscape visual assessments. The landscape aesthetics is present in professional and scientific context for several decades. It has been intensively developed since the 70s of the last century. The initial theories are concerned with the evolutionary factors that define human inborn preferences to certain landscapes. Along to that preferences, different approach developed which was classified within the group of cultural theory preferences where a social context and the personal experiences are the key factors in the creation of aesthetic experience (Tveit *et al.*, 2006; Vasiljevic, 2012) and "aesthetic pleasure is derived from the landscape which contributes to cultural identity and stability" (Bourassa, 1988).

Approaches are different on the basis of dependence on the subject of interest (autocentric) or the basis of direction to an object (allocentric) (Porteous, 1996). This division is based on the subjective and objective paradigms (Lothian, 1999) in which the first is based on the provision of psychological explanation preferences and perception of the landscape, while the focus of objectivist paradigm is physical landscape characteristics on which people build the primary reaction to the space (Tveit *et al.*, 2006; Vasiljevic, 2012; Frank *et al.*, 2013). Such differentiation has identified trends in empirical research based on expert- or perceptual-oriented approach. Landscape perception and preference is first developed in the field of environmental psychology, which did not take into account the fact that respondents can combine different criteria to assess the landscapes scene, and studies were based on a review of the characteristics that lead to low or high landscape preference (Daniel, Meitner, 2001, Dramstad *et al.*, 2006). On the other hand, the expert approach is strictly focused on the structure of the landscape and the configuration of its elements. Although there are strict variations in the perception of landscape visual-dimensions by different theoretical approaches, modern theorists agree that it is necessary to incorporate the knowledge in a unified paradigm (de la Fuente de Waal *et al.*, 2006; Fry *et al.*,

2009). Dewey (1980) states that the aesthetic impression does not involve the separation of the subject and the object, but it is already holistic in nature, including the integration of the factors that in the normal experience may look too diffused, particularly in the context of the landscape, which consists of a large number of elements. The complexity of the landscape, the temporal dynamics, subjectivity and the individual differences between the observer, are some of the factors which hinder the formation of a quantitative and objective of the visual landscape character assessment (Uuemaa *et al.*, 2012).

The initial empirical research based on the use of photography in the respondent assessment of preferences, which are now combined with satellite and aerial images and data. Validation of photos in preference studies are often criticized for their inability to adequately play a dynamic and multi-functional character of the landscape. Despite the limitations, the photos proved to be a satisfactory representative of actual images of landscapes due to comparison with the data obtained in the field studies (Dramstad *et al.*, 2006). Studies in the landscape monitoring programs and structure quantification based on the land cover maps, aerial images, remote sensing and providing a perspective of a holistic assessment of the visual landscape character, which in combination with a preferences based on the photographs combine objective and subjective approach (Dramstad *et al.*, 2006; Tveit *et al.*, 2006; Frank *et al.*, 2013). A holistic approach was enhanced by the introduction of aerial images, illustrating the connection between the theory of holism and Gestalt theory in the perception of the landscape, and to help meet the modifications and holistic interpretation of complex landscapes (Antrop, Van Eetverde, 2000). Antrop and Van Eetverde (2000) prove that the metric quantification of summarized entropy is most appropriate to definition of research units in the visual interpretation of satellite data and can be used as a quantitative characteristic of the holistic definition of landscape units. Summarized entropy is relates to Shannon information entropy, which is used as the Shannon's diversity index (ShDI) in landscape ecology and expresses diversity and the proportion of types of landscape elements.

The link between landscape analysis based on land cover maps and photographs within the perceived aesthetic quality assessment were studied by Dramstad *et al* (2006) in order to determine whether aspects of the landscape composition can be used as indicators for assessing the visual quality of the remote sensing monitoring programs. Positive correlation of landscape metrics based on the maps and the result of preferences of two groups of respondents, have indicated some aspects of the composition and configuration (preferably the proportion of landscape elements diversity types) that can be used as parameters for the visual assessment. Palmer (2004) uses the metrics in analyzing the perception of the landscape scenic values which suffered significant changes over a period of 20 years. He indicates that variations in the perception of the scene by a respondent may (to a large extent) explain the spatial metric indicators, and comparing them with the results obtained in the survey, concludes that the composition metrics in relation to the configuration metrics is more associated with the scenic landscape values. The largest contribution from the configuration metrics group parameters had ED, which proved to be indicative for the scenic value and the complexity of the structure. The relations between the visual attributes and pattern metrics in the Mediterranean regions also confirm that the indicators of the complexity and diversity of the structure are the most important for the prediction of preferences (de la Fuente de Waal *et al.*, 2006). The number and types of landscape elements, had the highest positive correlation with the high-ranked preferences (Palmer, 2004; Dramstad *et al.*, 2006), and the shape index, Shannon's diversity index and the spatial compactness of landscape elements are potential indicators of the diversity and landscape "naturalness" (Tveit *et al.*, 2006; Fry *et al.*, 2009; Frank *et al.*, 2013). Generally, highly open and heterogeneous landscapes were ranked with the presence of water elements (Palmer, 2004; Dramstad *et al.*, 2006; Tveit *et al.*, 2006; Uuemaa *et al.*, 2009, 2012; Frank *et al.*, 2013).

Unlike the studies related to landscapes ecological processes, one of the main challenges in the analysis of the visual character of the landscape is the lack of a clear framework for the operational and quantitative application of visual

indicators. Although landscape metrics is still unable to unite and quantifies all aspects of the visual dimension of the landscape (Dramstad *et al.*, 2006), aesthetic criteria of individuals which are relative and subjective, it became clear that the visual character of the landscape should be linked to landscape pattern as a system in which landscape values are materialized (Fry *et al.*, 2009; Vasiljevic, 2012).

Within the framework of a pan-European study, the project Visual Lands originated by studying the visual dimension to the landscape through a holistic principle. The project synthesized the previous theoretical basis and introduced a qualitatively different methodological model for the visual landscape character assessment (Tveit *et al.*, 2006; Sang *et al.*, 2008; Fry *et al.*, 2009; Ode *et al.*, 2010, Ode *et al.*, 2011). The authors define nine perceptual (visual) concepts and each concept is represented by a set of attributes and potential quantitative indicators (Tveit *et al.*, 2006). Further studies of their model (Fry *et al.* 2009) have shown that the visual indicators have a relatively wide common conceptual framework with a key ecological aspects (high degree of correlation between landscape-ecological and visual approaches), which makes it usable in the studies of different functions and the values, and which form an analytical and the starting point for the development of new integrative theory and methods that improve the analysis, monitoring and planning. After checking the conceptual framework and analysis of common denominator for the visual and environmental aspect of landscape, authors have identified six key concepts: complexity, coherence, naturalness, visual scale, historicity and stewardship.

Table 4 shows metric parameters which demonstrate the highest correlation in the previous studies, or interpret some of the following concepts. A great effort was devoted to the interpretation of the complexity of the landscape which is correlated to coherence, the distribution elements quantification (spatial compactness metrics: the MPS, PD, NP; diversity metrics: SHDI, SHEI), the spatial organization of the pattern (aggregation metrics: CONTAG, AI, IJI), variations in shape and pattern (fractal geometry: MPFD, shape index: MSI, metrics edge: ED) (Ode *et al.*, 2010, 2011).

**Table 4.** Metric parameters for visual landscape assessment

	Area and Edge metrics				Shape metrics		Aggregation metrics		Diversity metrics	
	NP	MPS	PD	ED	MSI	MPFD	CONTAG	AI	SHDI	SHEI
Antrop, Van Eetvelde, 2000	*	*			*	*				
Palmer, 2004		*	*	*						*
Fuente de Val <i>et al.</i> , 2006	*		*			*	*		*	
Dramstad <i>et al.</i> , 2006	*	*							*	
Tveit <i>et al.</i> , 2006	*	*	*	*	*		*	*	*	*
Sang <i>et al.</i> , 2008	*	*			*		*	*	*	
Fry <i>et al.</i> , 2009	*	*		*	*	*		*	*	*
Ode <i>et al.</i> , 2010	*			*	*	*	*	*	*	*
Ode <i>et al.</i> , 2011	*			*	*		*	*	*	*
Frank <i>et al.</i> , 2013			*		*				*	

## CONCLUSION

Landscape pattern a spatial system of elements which is not a static category, but it is a dynamic entity that is under constant influence of natural and / or human factors. Indicators of the dynamics and evolution of landscapes are observable at the level of the landscape pattern, those analysis determines the state of the structure and functioning of the landscape, estimates the state of biodiversity, as well as its visual value. The influence of natural factors as drivers of change and processes in landscape take much longer period compared to the transformations caused by anthropogenic activities. Anthropogenic impacts are characterized by greater intensity and level of unpredictability, while urbanization as a most dramatic form of landscape structure change leaves irreversible consequences. Activities related to the processes of spatial planning, and its transformations from the existing to the desired (planned) condition has been manifested by changing the structure and functioning of the landscape pattern. This processes depend on the spatial scale, spatial forms and spatial distribution of the elements in the landscape pattern. In addition, landscape pattern, as the holder of the unique landscape character at the regional and local level sublimates different dimensions and landscape values representing the perceptive domain of its users.

Contemporary advances in technology, geographic information systems enable us to system-

ize and express complex properties of the relations between landscape elements and processes that take place in it. Application of remote sensing, aerial and satellite images led to a different research approach, paving the way for a holistic understanding of physical phenomena. By development the method of landscape metrics, conditions have been created for the exact analysis and quantification of the landscape pattern, its stability and changes, but also of the form and meaning. Principles of landscape metrics enable numerical and statistical analysis of the landscape pattern, wherein the various metric parameters quantify a specific phenomenon on different spatial levels.

So far several hundred metric parameters have been developed and have found their application in various scientific fields. By reviewing relevant literature published from 2000 to 2016, there were selected parameters for landscape metrics that analyze landscape pattern and assess various ecological and visual values of the landscape. The main trends of landscape metrics were classified into three categories: (1) landscape pattern and its changes, (2) biodiversity and habitat functions and (3) visual landscape assessment. By selecting landscape metric parameters which interprets the ecological and visual landscape values (NP, PD, ED, MPS, MSI, CONTAG, IJI, SHDI), it has been created the basis for researching their applicability and operationalization for the purposes of contemporary planning of spatial development.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Antrop M. (2000): *Background concepts for integrated landscape, Agriculture, Ecosystems and Environment*, 77, 17-28
- Antrop M. (2005): *Why landscapes of the past are important for the future?* Landscape and Urban Planning, 70 (1-2), 21–34
- Antrop M., Van Eetvelde V. (2000): *Holistic aspects of suburban landscapes: visual image interpretation and landscape metrics*, Landscape and Urban Planning 50 (1-3), 43-58
- Aguilera F., Valenzuela L., Botequilha-Leitão A. (2011): *Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitan area*, Landscape and Urban Planning 99(3-4), 226-238
- Billeter R., Liira J., Bailey D., Bugter R., Arens P., Augenstein I., Aviron S., Baudry J., Bukacek R., Burel F., Cerny M., De Blust G., De Cock R., Diekötter T., Dietz H., Dirksen J., Dormann C., Durka W., Frenzel M., Hamersky R., Hendrickx F., Herzog F., Klotz S., Koolstra B., Lausch A., Le Coeur D., Maelfait J. P., Opdam P., Roubalova M., Schermann A., Schermann N., Schmidt T., Schweiger O., Smulders, M. Speelmans M.J.M., Simova P., Verboom J., Van Wingerden W.K.R.E., Zobel M., Edwards P.J. (2008): *Indicators for Biodiversity in Agricultural Landscapes: A Pan-European Study*, Journal of Applied Ecology 45(1), 141-150
- Botequilha Leitão A., Miller J., Ahern J., McGarigal K. (2006): *Measuring landscapes: A planner's handbook*. Island Press, Washington
- Bourassa S. (1988): *Toward a theory of landscape aesthetics*, Landscape and Urban Planning 15(3-4), 241-252.
- Council of Europe (2000) European Landscape Convention and Explanatory Report: T-LAND. 2000. Document by the Secretary General established by the General Directorate of Education, Culture, Sport and Youth, and Environment, Strasbourg
- Daniel T., Meitner M. (2001): *Representational validity of landscape visualizations: The effects of graphical realism on perceived scenic beauty of forest vistas*, Journal of Environmental Psychology 21, 61-72.
- Dewey J. (1980): *Art as Experience*, Berkley Publishing Group, New York; II edition [I edition 1934]
- de la Fuente de Val G., Atauri J.A., de Lucio J.V. (2006): *Relationship between landscape visual attributes and spatial pattern indices: A test study in Mediterranean-climate landscapes*, Landscape and Urban Planning 77 (4), 393-407
- DiBari J. (2007): *Evaluation of five landscape-level metrics for measuring the effects of urbanization on landscape structure: the case of Tucson, Arizona, USA*, Landscape and Urban Planning 79 (3-4), 308-313.
- Dramstad W.E., Tveit S., Fjellstad W.J., Fry G. (2006): *Relationships between visual landscape preferences and map-based indicators of landscape structure*, Landscape and Urban Planning 78 (4), 465–474
- Fan C., Myint S. (2014): *A comparison of spatial autocorrelation indices and landscape metrics in measuring urban landscape fragmentation*, Landscape and Urban Planning 121, 117-128
- Fahrig, L. (2002): *Effects of habitat fragmentation on the extinction threshold: a synthesis*, Ecological Applications 12, 346–53
- Forman R., Godron M. (1986): *Landscape Ecology*, John Wiley and Sons, New York
- Frank S., Fürst C., Koschke L., Witt A., Makeschin F. (2013): *Assessment of landscape aesthetics—Validation of a landscape metrics-based assessment by visual estimation of the scenic beauty*, Ecological Indicators 32, 222-231
- Fry G., Tveit S., Velarde M.D. (2009): *The ecology of visual landscapes: Exploring the conceptual common ground of visual and ecological landscape indicators*, Ecological Indicators 9, 933-947
- Herold M., Scepán J., Clarke K. (2002): *The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses*, Environment and Planning A 34 (8), 1443-1458
- Honnay O., Piessens K., Van Landuyt W., Hermy M., Gulinck H. (2003): *Satellite based land use and landscape complexity indices as predictors for regional plant species diversity*, Landscape and Urban planning 63(4), 241-250
- Kim K., Pauleit S. (2007): *Landscape character, biodiversity and land use planning: The case of Kwangju City Region, South Korea*, Land Use Policy 24(1), 264-274

- Kumar S., Stohlgren T. J., Chong G. W. (2006): *Spatial Heterogeneity Influences Native and Nonnative Plant Species Richness*, Ecology 87(12), 3186-3199
- Lausch A., Herzog F. (2002): *Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability*, Ecological Indicators 2(1-2), 3-15
- Lothian A. (1999): *Landscape and the philosophy of aesthetics: is landscape quality inherent in the landscape or in the eye of the beholder?* Landscape and Urban Planning 44, 177-198
- Luck M., Wu J. (2002): *A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA*, Landscape Ecology 17(4), 327-339
- McGarigal, K., Cushman, S.A. (2002): *Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects*, Ecological Applications 12, 335-345
- McGarigal K., Marks B.J. (1995): *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station
- Moser D., Zechmeister H., Plutzer C., Sauberer N., Wr̀bka T., Grabherr G. (2002): *Landscape patch shape complexity as an effective measure for plant species richness in rural landscapes*, Landscape Ecology 17, 657-669
- Ode Å., Hagerhall C., Sang N. (2010): *Analysing Visual Landscape Complexity: Theory and Application*, Landscape Research 35, 111-131
- Ode Å., Miller D. (2011): *Analysing the relationship between indicators of landscape complexity and preference*, Environment and Planning. B: Planning and Design 38, 24-40
- Palmer J. (2004): *Using spatial metrics to predict scenic perception in a changing landscape: Dennis*, Massachusetts, Landscape and Urban Planning 77 (2-3), 201-218
- Peng J., Wang Y., Zhang Y., Wu J., Li W., Li Y. (2010): *Evaluating the effectiveness of landscape metrics in quantifying spatial patterns*, Ecological Indicators 10(2), 217-223
- Plexida S., Sfougaris A., Ipsikoudis I., Papanastasis V. (2013): *Selecting landscape metrics as indicators of spatial heterogeneity—A comparison among Greek landscapes*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 26, 26-35
- Porteous J.D., (1996): *Environmental Aesthetics: Ideas, politics and planning*, Routledge, London
- Radić B. (2014): *Erozija kao faktor degradacije predela u skijaškim centrima Srbije, doktorska disertacija*. Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd
- Sang N., Miller D., Ode A. (2008): *Landscape metrics and visual topology in the analysis of landscape preference*, Environment and Planning 35 (3), 504-520
- Schindler S., von Wehrden H., Poirazidis K., Wr̀bka T., Kati V. (2013): *Multiscale performance of landscape metrics as indicators of species richness of plants, insects and vertebrates*, Ecological Indicators 31, 41-48
- Schindler S., Poirazidis K., Wr̀bka T. (2007): *Towards a core set of landscape metrics for biodiversity assessments: A case study from Dadia National Park, Greece*, Ecological Indicators 8(5), 502-514
- Southworth J., Nagendra H., Tucker C. (2002): *Fragmentation of a Landscape: Incorporating landscape metrics into satellite analyses*, Landscape Research 27(3), 253-269
- Terkenli T., (2001): *Towards a theory of the landscape: the Aegean landscape as a cultural-image*. Landscape and Urban Planning 57, 197-208
- Tveit, M., Fry, O., Fry, G. (2006): *Key concepts in a framework for analysing visual landscape character*. Landscape Research 31, 229-256
- Uuemaa E., Antrop M., Roosaare J., Marja R., Mander Ü. (2009): *Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research*, Living Rev. Landscape Research 3, 1-28
- Uuemaa E., Mander Ü., Marja R. (2012): *Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: A review*, Ecological Indicators 28, 100-106
- Vasiljević N. (2009): *Evropski koncept karakterizacije predela - veza sa planiranjem prostora. Slovenački i hrvatski model, stanje u Srbiji, Zbornik radova " Planska i normativna zaštita prostora i životne sredine "*, APPS, Beograd, Vol V, str. 407- 420

- Vasiljević N. (2012): *Planiranje predela kao instrument prostornog razvoja Srbije, doktorska disertacija*. Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd.
- Vasiljević N., Gavrilović S., Šljukić B. (2014): *Karakter predela Mladenovca: očuvanje vrednosti primenom principa umrežavanja*, Glasnik Geografskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Beograd, 91 -210
- Vasiljević N., Radić B., Gavrilović S. (2014a): *Landscape character metrics: a new methodological approach to landscape planning, The Third Romanian - Bulgarian - Hungarian - Serbian - Conference: Geographical research and Cross - Border Cooperation within the Lower Basin of the Danube*, Abstract book, Srebrno jezero (Veliko Gradište), 69 - 70
- Vasiljević N., Radić B. (2016): *Kulturni predeo: od zaštićene vrednosti do planskog koncepta*, Glasnik Šumarskog Fakulteta, Šumarski fakultet Univeziteta u Beogradu, Beograd, 257-278 <https://doi.org/10.2298/GS-F1614257V>
- Vasiljević N., Živković J. (2009): *A New Approach To Landscape In The Spatial Development Strategy Of Serbia – A Step Toward Implementation Of European Landscape Convention*, Zbornik radova "Regional Development, Spatial Planning And Strategic Governance", IAUS, Beograd, 197- 216
- von Haaren C. (2002): *Landscape planning facing the challenge of the development of cultural landscapes*. Landscape and Urban Planning 60, 73-80
- Wania A., Kuhn I., Klotz S. (2006): *Plant richness patterns in agricultural and urban landscapes in Central Germany—spatial gradients of species richness*, Landscape and Urban planning 75(1-2), 97-110
- Weng Y. (2007): *Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization*, Landscape and Urban Planning 81(4), 341-353
- Westphal M., Field S.A., Tyre A.J., Paton D., Possingham H.P. (2003): *Effects of Landscape Pattern on Bird Species Distribution in the Mt. Lofty Ranges*, South Australia, Landscape ecology 18(4), 413-426
- Wu J., Darrel G., Buyantuyev A., Redman C. (2011): *Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: The case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States*, Ecological Complexity 8(1), 1-8
- Živković, J., Vasiljević N. (2013): *Predeo kao konceptualni okvir održive arhitekture i urbanog dizajna u: Ana Nikezić, ur., Predeo igre: Košutnjak – Principi arhitektonskog projektovanja u svetlu klimatskih promena* (Beograd: Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, 26-41

