

Jović B., Tripković M., Čučaković A. 2011. *Geometrical correlation of cultural landscape pattern and Prunus domestica L. species leaf*. Bulletin of the Faculty of Forestry 104: 29-40.

Биљана Јовић
Милош Трипковић
Александар Чуцаковић

UDK: 514-7:[911.53+581.45
Оригинални научни рад
DOI: 10.2298/GSF1104029J

ГЕОМЕТРИЈСКА КОРЕЛАЦИЈА ОБРАЗАЦА КУЛТУРНОГ ПРЕДЕЛА И ЛИСТА ВРСТЕ *PRUNUS DOMESTICA L.*

Извод: Овај рад даје полазне основе за детаљнија истраживања у области геометријских структура бионичких форми различитих биљних врста и њихову примену у домену планирања предела. Циљ ове врсте истраживања је да прошири знања која повезују област планирања предела са дубљим разумевањем различитих геометријских односа присутних у постојећим природним облицима. Пресликавањем геометријских односа са модела из природе успоставља се корелација између структура у природи и структура које су присутне у пределу. Фокус овог рада је искључиво на геометрији природних облика. У циљу сагледавања сличности и вршења компаративне анализе геометрије листа *Prunus domestica L.* и геометрије културног предела централне Србије коришћен је Воронои дијаграм. Добијени Воронои дијаграм показује сличност на основу затворених поља, Воронои ћелија, које по форми одговарају нерватури листа *Prunus domestica L.* Геометријска интерпретација постојећих образаца културног предела може се компаративном анализом довести у везу са геометријском структуром најчешће гајене воћарско-дрвенасте врсте.

Кључне речи: геометријски образац, бионика, предео

GEOMETRIC CORRELATION OF CULTURAL LANDSCAPE PATTERNS AND *PRUNUS DOMESTICA L.* SPECIES LEAF

Abstract: This paper provides the basics for more detailed research on the structures of bionic forms of different plant species and their application in the domain of landscape planning. The aim of this type of research is to expand knowledge of landscape planning with a deeper understanding of different geometric relations

мр Биљана Јовић, асистент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд
(e-mail: biljana.jovic@sfb.bg.ac.rs)

Милош Трипковић, апсолвент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд
др Александар Чуцаковић, ванредни професор, Универзитет у Београду - Грађевински факултет, Београд

present in the existing natural forms. The correlation between structures in nature and structures that are present in contemporary landscape architecture could be established by the congruence with the geometric models from landscape. This paper is focused solely on the geometry of natural forms. The Voronoi diagram was used in order to examine the similarities and to perform a comparative analysis of the *Prunus domestica* L. leaf geometry and the geometry of cultural landscapes of Central Serbia. The resulting Voronoi diagram shows the similarity based on closed fields, Voronoi cells, which correspond to the nervation of *Prunus domestica* L. leaf by form. Using the comparative analysis, the geometric interpretation of cultural landscape examples could be linked to the geometric structure of the most frequent fruit tree species.

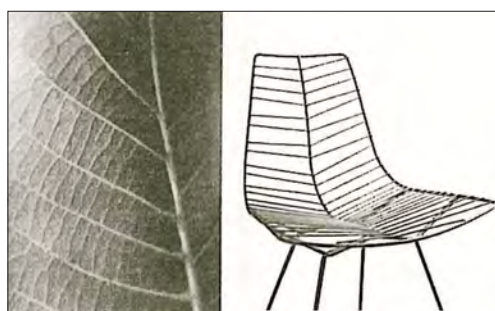
Key words: geometrical pattern, bionics, landscape

1. УВОД

Бионика као научна дисциплина се бави техничком применом начела конструисања, процеса и развоја биолошких система. Суштина бионичког приступа је у проучавању принципа организације и функционисања живих система и практична примена тог знања у актуелним задацима савремене технике, преузимањем решења које је природа обезбедила живим организмима.

Природна решења су по правилу најекономичнија, најинтелигентнија и најближа идеалним и то је инжењерима, пред којима су веома сложени задаци, дало идеју да их позајме, или прекопирају (слика 1).

Први корак ка обједињавању, односно интеграцији научних дисциплина, и то на основу сличности принципа управљања живим и неживим елементима, начинила је кибернетика, а корак даље управо прави бионика (McCulloch, 1959). Она, наиме, обједињује, пореди и приближава конструктивна техничка решења према већ образлованим живим организмима; она сажима сазнања из ботанике и електронике, неурофизиологије и кибернетике, биохемије и механике, па се



Слика 1. Примена нерватуре листа у дизајну и конструкцијама

Figure 1. Application of leaf nervation in design and constructions

у старијој литератури може наћи и под називом биотехника или, евентуално, примењена биофизика, али се све чешће у континенталним европским земљама назива бионика, у Америци биогноза, а у Аустралији биомиметика (George, 2011).

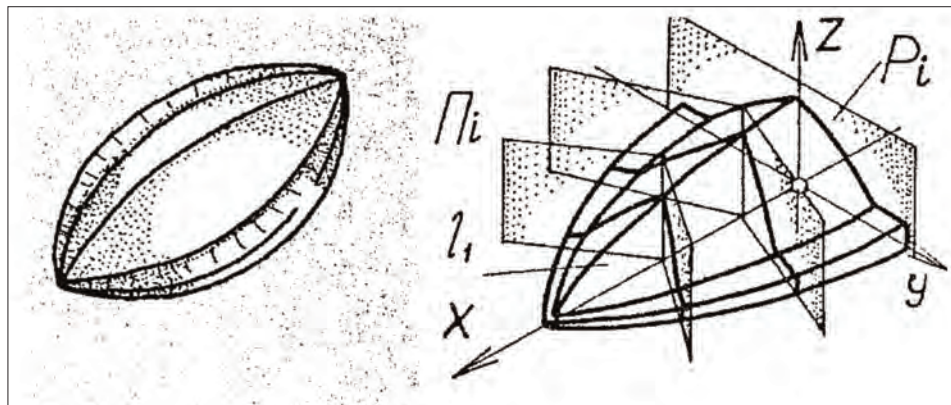
У почетку је, у научној јавности посматрана као огранак кибернетике, међутим, један од родоначелника бионике, професор Техничког универзитета у Масачусетсу, Ворен

Мек Калок (Warren McCulloch, 1898-1969. год.) препознаје и наглашава значај овог подручја истраживања. Он је дефинише као самосталну научну дисциплину, чији је задатак изучавање техничких решења која су присутна у природи, при решавању разноврсних проблема, као и примену аналогних решења у инжењерској техници (Maturana *et al.*, 1959).

Један од првих радова на ову тему била је 1917. године објављена књига „О расту и облику“ енглеског зоолога Дарсија Венворта Томпсона (D’Arcy Wentworth Thompson, 1860-1948. год.), која је у себи носила за оно време смелу поруку да је органски свет исто толико „геометријски“ (слика 2) као и неорганички. Томпсон је претпоставио да геометријски модели, односно обрасци према којима живи организми функционишу заиста постоје (Thompson, 1917). Енигма геометријске природе биолошких система посебно је упадљива у свету биљака; геометрија и теорија бројева које овде владају поштоване су тако доследно да се практично мора одбацити теза о „пукој коинциденцији“. Симетрични распоред латица цвета, поредак и облик семена биљних врста, листова, грана и слично, заиста указује на прикривени геометријски принцип. Није могуће једноставно записати неки закон сличан Њутновом који би објаснио живот, нити извести „Томпсонову једначину“ за живи организам. Упркос томе, не могу се порећи извесна геометријска правила, а принципи који иза њих стоје могли би да осветле свет живих бића на начине и из углова који превазилазе традиционалну биологију.

1.1. Принципи бионичког приступа

Живи свет на нашој планети је до те мере разнолик, са међусобно нимало сличним начинима функционисања, да би упознавање конструкција и принципа дејстава сваког појединачног биолошког система захтевало свеобухватно знање



Слика 2. Геометрија грађе *Bacillariophyta*
Figure 2. Geometry of *Bacillariophyta*

(Marshall, Lozeva, 2009). С друге стране, савремена наука је својим све даљим напретком довела до све ужег опсега проучавања у оквиру уско специјализованих научних дисциплина. Иако се на тај начин сазнања неминовно продубљују и научна достигнућа све више усавршавају, ипак се постепено изгубила суштинска веза са идејом која лежи у самој основи развитка бионике.

Практична реализација бионичког приступа одвија се на три нивоа, па се може рећи да постоје три приступа у оквиру бионике: биолошки, геометријски и технички. Биолошка бионика користи сазнања из ботанике, зоологије и медицине за издвајање оних начела и принципа функционисања посматраног живог организма, који могу успоставити суштинску везу са техничким проблемом који се пред инжењерима налази. Потом се приступа геометријској обради тог биолошког садржаја, тзв. биолошком моделирању, при чему геометријски модели верно пресликавају процесе са живих организама који су за дати проблем од посебног значаја. Коначно, техничка бионика има задатак да обезбеди практично примењиву и технички остварљиву реализацију одговарајућег геометријског модела. Смисао и циљ бионике је да препозна и повеже одговарајућа аналогна ограничења која су била постављена пред природу са ограничењима која се постављају пред савремену технологију.

Мора се приметити извесна сличност између позиције коју заузима природа при „пројектовању“ биолошких решења за своје живе прототипе и актуелног инжењерског гледишта. Биолошки системи се могу посматрати и у својој статичној форми, коришћењем геометрије као средства за анализу.

Геометрија је универзални аналогни модел који описује и симулира односе у структури великих система као што су простор и природа односно просторне структуре као подсистеми (Nestorović, Čučaković, Jović, 2008). Аналогија у геометрији и природи је образац аналитичког поступка који тежи да успостави односе корелације и/или кореспонденције између два или више примера, а затим изведе закључке, принципе и правила која се могу примењивати у општим случајевима. Универзални структурни феномени који постоје у наизглед различитим појавама, теже да идејно, систематски и суштински обједине те феномене и објасне их логиком једног система.

Издавају се односно апстрахују слична правила (законитости) обликовања на различитим ступњевима апстраховања основног облика али са јасноћом структурне везе. Бакминстер Фулер (Richard Buckminster Fuller, 1895-1983. год.), амерички архитекта, дизајнер и проналазач, свесно је користио логику геометријских и биолошких аналогија, јасне геометријске системе, њихова механичка и конструкцијска својства.

Геометријска анализа се у овом раду фокусира на компаративну анализу геометријског обрасца културног предела Шумадије и геометрије мозаичне структуре листа *Prunus domestica* L.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

2.1. Културни предео

Културни предео је подручје препознатљивог изгледа са значајним природним, биолошко-еколошким, естетским и културно-историјским вредностима, које се током времена развијало као резултат интеракције природе, природних потенцијала подручја и традиционалног начина живота локалног становништва (Louges *et al.*, 2008).

Предела се састоје од мозаика предеоних елемената који креирају геометријски образац: приватна, јавна и, у многим земљама, обичајна или заједничка својина (слика 10). Шумадијски предео је мозаичне структуре, сачињен од различитих предеоних елемената, у форми парчади, коридора и матрице. Парчад се појављују као заступљеније форме у односу на линеарне предеоне елементе.

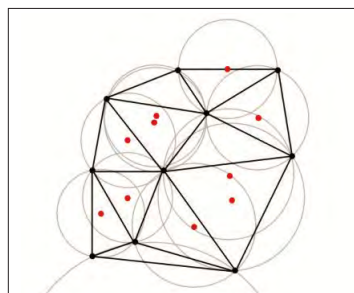
2.2. *Prunus domestica* L.

Prunus domestica L. је врста подручја Републике Србије, а у Шумадији се налази као најчешћа гајена воћарска дрвенаста врста. *Prunus domestica* L. је дивља врста од које је настало преко две хиљаде сорти које се гаје на 95% површина у Европи, а код нас је сорта „Пожегача“ настала од ње и једна је од четири водеће сорте (Nenadović-Mratinović *et al.*, 2007). Као најзаступљенија врста, представља неизоставни део културног предела, и прати га кроз његов развој и промене током времена, под утицајем антропогених фактора. Лисна плоча ове врсте садржи нерватуру која креира мозаичну мрежу (слика 11).

2.3 Воронои дијаграм

У циљу сагледавања сличности и вршења компаративне анализе геометрије листа *Prunus domestica* L. и геометрије културног предела централне Србије коришћен је Воронои дијаграм (руски математичар Георги Воронои, 1868-1908. год.).

Воронои дијаграм (слика 3) је геометријска структура која даје графички приказ о међусобној удаљености скупа тачака или објеката. За низ тачака у равни, Воронои дијаграм приказује подручја којима је поједина тачка најближа. При посматрању групације просторних целина или објеката, раван се дели тако што се свакој тачки додељује најближа просторна целина. Тачке, чија најближа просторна целина није јединствена,



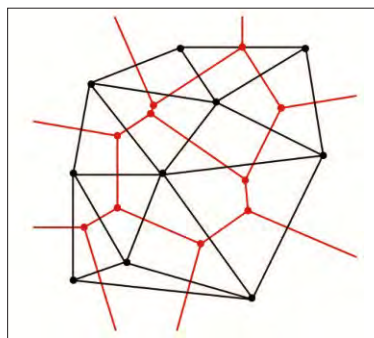
Слика 3. Воронои дијаграм
Figure 3. Voronoi diagram

формирају Воронои дијаграм, тј. тачке на Воронои дијаграму се налазе на једнаком растојању од две или више просторних целина (Sabin, Jones, 2008).

Воронои дијаграм се добија спајањем средишта описаних кружница троуглова, односно састоји се од симетрала страница троуглова Делонеове триангулације.

2.4. Делонеова триангулација

Делонеова триангулација скупа тачака се представља кроз скуп ивица које задовољавају услов „празног круга“: за сваку ивицу може се нацртати кружница која садржи крајње тачке те ивице, и ниједну другу тачку (Gjurganić, 2007). Делонеова триангулација је дуална структура Воронои дијаграму, где под дуалном подразумевамо могућност линијског повезивања два темена Воронои дијаграма уколико Воронои полигони садрже једну заједничку ивицу. Описани круг у процесу Делонеове триангулације назива се Делонеов круг (слика 4).



Слика 4. Делонеова триангулација са центрима Делонеових кружница

Figure 4. Delaunay triangulation with centers of the circumcircles

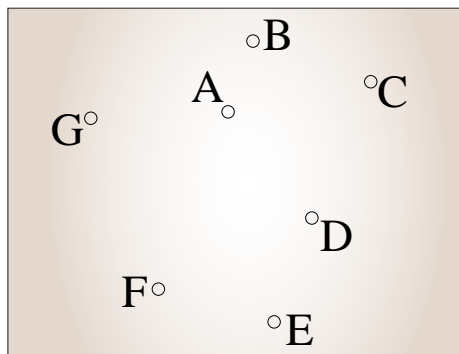
2.5. 3D Делонеова триангулација

При геометријском описивању тродимензионалних просторних структура могуће је користити Воронои дијаграм, тј. његову дуалну структуру Делонеову триангулацију. У дводимензионалном простору ова структура је одређена дељењем равни у троуглове, док у тродимензионалном простору Делонеова триангулација прераста у Делонеову тетраедризацију; сваки троугао постаје тетраедар који задовољава правило празне описане сфере. Делонеова тетраедризација је јединствена за скуп тачака, осим када постоје дегенерисани случајеви у скупу (ако се пет или више тачака налазе на сфери). У овим случајевима, мора се послужити произвољним избором унутар свих понуђених решења.

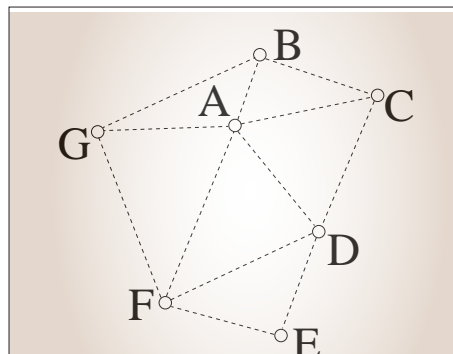
2.6. Мапирање Делонеове триангулације и Воронои дијаграма

Приликом израде Воронои дијаграма коришћена је мануелна метода која је у даљем тексту поступно изложена. Воронои дијаграм је универзални геометријски алат којим се могу описати форме од бактерија до космичких измаглица. Воронои дијаграм се мануелном методом може извести у пет корака:

- потребно је обележити полазне, „задате“ тачке - карактеристичне тачке одређене слике (слика 5);



Слика 5. Карактеристичне тачке
Figure 5. Input sites



Слика 6. Исцртавање ивица Делонеове триангулације

Figure 6. Drawing edges of Delauney triangulation

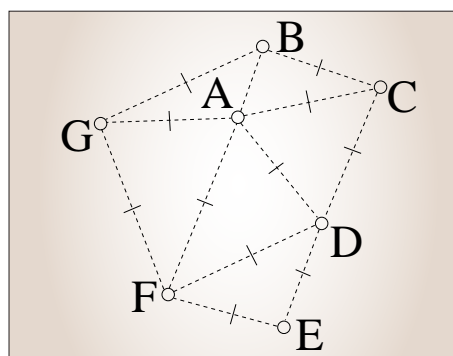
– међусобно спајање тачака са најближом суседном, при чему се две или више спојница не смеју сећи. Овај сегмент методе се назива Делонеова триангулација. При исцртавању ивица Делонеове триангулације, постоји неколико начина провере тачности. Могу се повезати све тачке међусобно, а затим редуковати оне ивице које по својој дужини имају већу вредност. Други начин провере је да се око троуглова (одабране три тачке) опишу кружнице

(Делонеове кружнице) и уколико се унутар кружнице налази било која од тачака, осим три темена троугла, потребно је формирати нови троугао. Најефикаснији начин јесте одбацивање дужих спојница које се пресецају, док не остане по једна најкраћа спојница које спаја две тачке (слика 6);

– одређивање половине сваке дужи, односно ивице, Делонеове триангулације (слика 7);

– уцртавање нормале на свакој дужи (ивици) Делонеове триангулације на месту половљења, при чему, уз прецизно цртање, по три нормале се спајају у једној тачки која је уједно и центар описане кружнице датог троугла (слика 8);

– уцртавање линија Воронои дијаграма које се поклапају са нормалама дужи (ивица) Делонеове триангулације. Исцртане линије Воронои дијаграма



Слика 7. Половљење ивица триангуларне мреже

Figure 7. Positioning bisectors points

формирају затворена поља (ћелије), чија су темена центри описаних кружница око теме на троуглова Делонеове триангуларне мреже. Унутар Воронои ћелије је „задата“ тачка (теме триангуларне мреже), која се налази на најкраћим растојањима од ивица полигона Воронои дијаграма (слика 9).

2.7. Примена

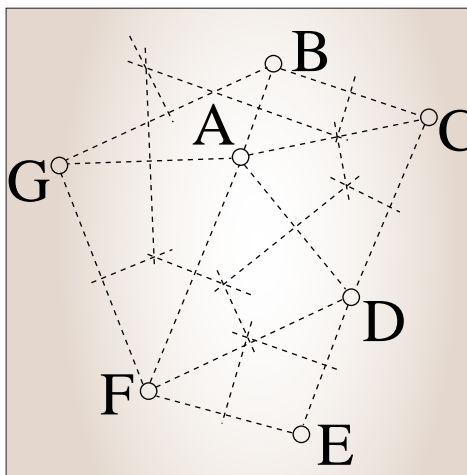
Вороноијев дијаграм има широку примену у различитим доменима: у урбанизму се користи за дефинисање положаја важних објеката, приликом изградње великих постројења се помоћу ове методе проналази идеална локација, у биологији се примењује при одређивању површине земљишта коју користе одређене биљне врсте, итд.

3. РЕЗУЛТАТИ

У резултатима су представљени графички прикази анализираниог материјала помоћу Воронои дијаграма и Делонеове триангулације (слика 10, 11).

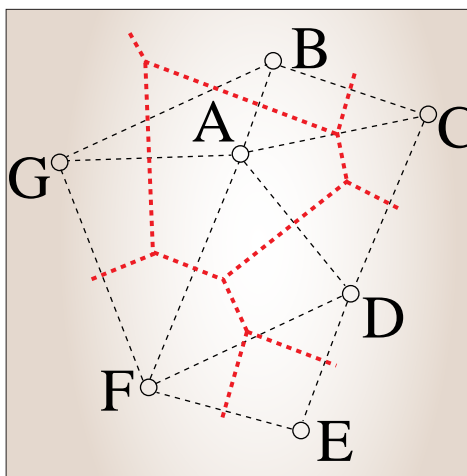
4. ДИСКУСИЈА

Овај рад посматра геометрију листа *Prunus domestica* L. и упућује на могућност имплементације геометрије морфолошких елемената ове најчешће гајене воћарске дрвенасте врсте на геометрију културног предела. Мозаична структура предела, сачињена из различитих предеоних елемената чини геометријски образац који се може анализирати и поредити са нерватуром лисне плоче ове биљне врсте (слика 10, 11). Развојем Делонеове триангуларне мреже почетне мозаичне структуре су доведене у исту раван тако да је могуће њихово даље анализирање. Добијени Воронои дијаграм



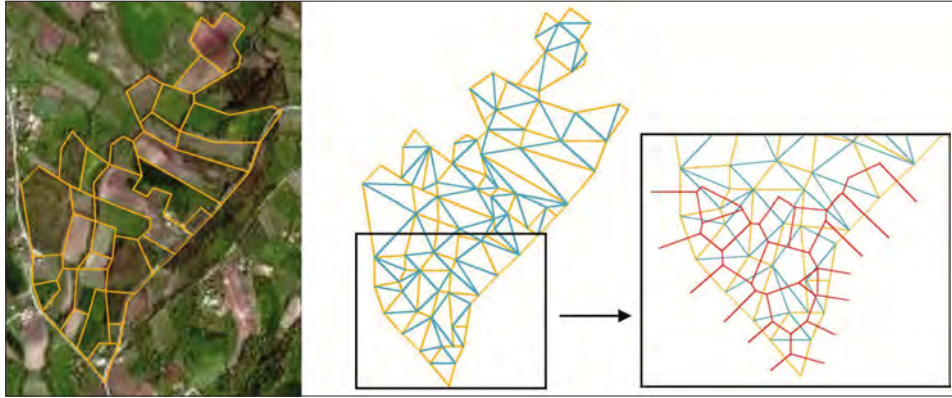
Слика 8. Постављање нормала у тачкама половљења

Figure 8. Drawing perpendicular bisectors



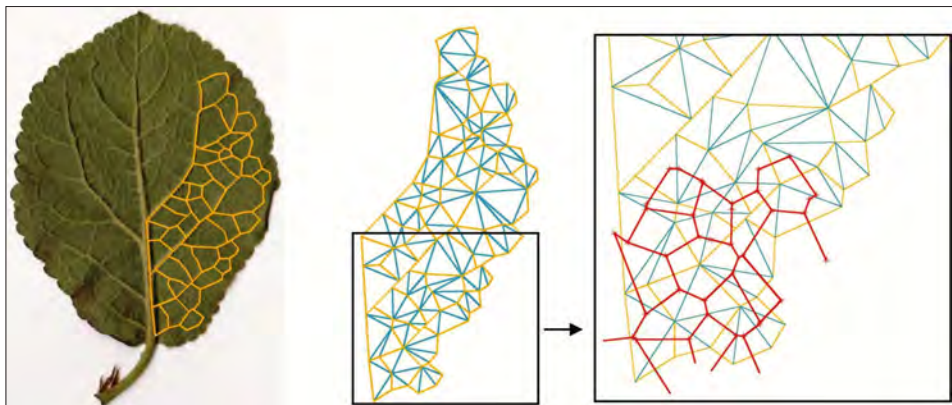
Слика 9. Исцртавање Воронои дијаграма

Figure 9. Drawing Voronoi diagram



Слика 10. Културни предео централне Србије са мозаиком својине, приказ извршене Делонеове триангулације и Воронои дијаграм

Figure 10. Cultural Landscapes of Central Serbia with a mosaic of ownership, performed Delaunay triangulation and Voronoi diagram



Слика 11. Лист *Prunus domestica* L. са приказаном мозаичном нерватуром листа, приказ извршене Делонеове триангулације и Воронои дијаграм

Figure 11. *Prunus domestica* L. leaf with mosaic nervation, performed Delaunay triangulation and Voronoi diagram

показује сличност на основу затворених поља, Воронои ћелија, које по форми одговарају нерватури листа *Prunus domestica* L. Геометријски образац је даље посматран у складу са принципом Воронои дијаграма да задати простор дели тако да свака Воронои ћелија представља оптимално ограничен простор мозаичне структуре предела. Применом овог геометријског обрасца наведене биљне врсте на геометрију ширег подручја предлаже се заштита слике традиционалног културног предела. Резултат истраживања упућује ка даљем проучавању функционисања предела и листа *Prunus domestica* L. и успостављању могућих корелација.

5. ЗАКЉУЧАК

Сврха овог рада је да истражи геометријску корелацију просторних структура културног предела и предеоних елемената из којих је структура сачињена. Вороној дијаграм показује сличност Вороној ћелија по форми одговарајућој нерватури листа *Prunus domestica* L. Мозаична структура предела, сачињена из различитих предеоних елемената чини геометријски образац. Истраживањем се, такође, предлаже да у домену планирања предела геометрију решења одређених просторних проблема можемо тражити у истом просторном скупу, односно указује се на подударност и узајамност елемената из којих је одређено подручје састављено. Токови даљих истраживања се могу усмерити ка успостављању већег броја корелација између геометрије предела и мањих просторних јединица, организације простора и проналажења геометријских образаца бионичких форми које се могу применити у циљу унапређења функционисања предела.

ЛИТЕРАТУРА

- George A. (2011): *Advances in Biomimetics*, InTech, Rijeka
- Gjuranić Ž. (2007): *Modeliranje terena pomoću Delaunayjeve triangulacije*, Zagreb
- Jović B., Tripković M. (2011): *Geometry of Bionic Forms-Applications in Landscape Architecture*, Applied Geometry and Graphics, The Interdepartmental Collection of Proceedings, Issue № 88, ISSN 0131-579X, Kiev (132-137)
- Loures L., Vargues P., Horta D. (2008): *Landscape Aesthetic and Visual Analysis Facing the Challenge of Development of Sustainable Landscapes - A Case Study of the Post-Industrial Area to the Left Margin of the Arade River*, Int. J. of Design & Nature & Ecodynamics 1, Vol. 3, Southamton (65-74)
- Marshall A., Lozeva S. (2009): *Questioning the Theory and Practice of Biomimicry*, Int. J. of Design & Nature & Ecodynamics 1, Vol. 4, Southamton (1-10)
- Maturana H.K., Lettvin J.Y., McCulloch W.S., Pitts W.H. (1959): *What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain* In: Proc. of the I.R.E. Vol. 47, Cambridge (11)
- McCulloch W.S. (1959): *Natural Fit*, Chicago Literary Club, Chicago
- Mihailenko V.E., Kašenko O.V. (2011): *Osnovi BIODIZAINU*, „Karavela“, Kiiiv
- Nenadović-Mratinović E., Milatović D., Đurović D., Jovičić Z. (2007): *Morfološke osobine rodnih grančica sorti šljive (Prunus domestica L)*, Journal of Pomology, Čačak
- Nestorović M., Čučaković A., Jović B. (2008): *Geometrijska korelacija naboranih prostornih struktura u funkciji bionike*, 24th national and 1st international scientific conference, moNGeometrija 2008, Proceedings, Vrnjačka Banja
- Sabin J.E., Jones P.L. (2008): *Nonlinear Systems Biology & Design: Surface Design*, „Acadia 2008: Silicon+Skin, Biological Processes & Computation“ (ed. A. Kudless), University of Pennsylvania, Philadelphia (54-65)
- Thompson D'A. W. (1917): *On Growth and Form*, Cambridge University Press, London

Biljana Jović
Miloš Tripković
Aleksandar Čučaković

**GEOMETRIC CORRELATION OF CULTURAL LANDSCAPE PAT-
TERNS AND *PRUNUS DOMESTICA* L. SPECIES LEAF**

Summary

This paper researches the application of geometry of bionic forms in landscape architecture. The aspects and results of this research established the correlation between the geometry of the landscape and the geometry of *Prunus domestica* leaf. The scientific methods used in the work are Voronoi diagram and Delaunay triangulation. The process of manual creation of these dual methods is shown in detail because of the wide application of these methods in the area of spatial structures. Delaunay triangulation and Voronoi diagram are applied in the analysis of the geometry of cultural landscapes and the geometry of *Prunus domestica* leaf. The research suggests that geometrical solutions of specific spatial problems should be sought in the same physical assembly in the landscape architecture domain, therefore points to the congruence and the mutuality of the elements from which an area is composed.