

ПРИМЕНА ФРАКТАЛНЕ ГЕОМЕТРИЈЕ У КОНТЕКСТУ УРБАНОГ РАЗВОЈА И РАСТА**APPLICATION OF FRACTAL GEOMETRY IN THE CONTEXT OF URBAN DEVELOPMENT AND GROWTH**

Реља Ковач, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област - АРХИТЕКТУРА

Кратак садржај – *Тема истраживања огледа се у истраживању урбаних матрица методом фракталне геометрије, помоћу које се могу упоредити различити нивои и различити типови насеља.*

Кључне речи: *Идентитет грађене средине, урбане матрице, фрактална геометрија, фрактална димензија.*

Abstract – *The topic of this paper is reflected in the research of urban matrices using the method of fractal geometry, that can be used to compare different levels and types of settlements.*

Keywords: *The identity of built environment, urban matrices, fractal geometry, fractal dimension.*

1. УВОД

Процес глобализације доводи до општег изједначавања окружења, те се поставља питање како омогућити јединственост и препознатљивост одређеног простора, стварајући идеју о простору који прати идентитет града, а истовремено одговара савременим потребама друштва, даје нови концепт трансформације урбаних простора и побољшава квалитет живота човека 21. века.

1.1. Област истраживања

Квалитет урбаних простора, њихова јединственост и препознатљивост може се сагледати кроз мање сегменте, односно кроз урбане матрице. Термин урбана матрица има значење градског оквира, на коме, или из кога град расте или се трансформише и она је основа сваког града. Урбане матрице су хомогене морфолошке целине. Оне су међусобно компактне и представљају мање или више независне целине. У урбанистичкој пракси најчешће долази до комбиновања више различитих типова урбаних матрица. Различитост више типова урбаних матрица је последица урбаног развоја градова кроз дужи временски период. Квалитет урбаних матрица постиже се вођењем рачуна о аутентичним урбаним елементима постојећих матрица, а њиховим зналачким спојем наглашавају се њихове вредности, формирајући адекватне урбане просторе.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Марко Јовановић, доцент.

1.2. Тема истраживања

Тема истраживања огледа се у истраживању урбаних матрица методом фракталне геометрије, помоћу које се могу упоредити различити нивои и различити типови насеља.

1.3. Стање у области

Фрактална теорија даје објашњење сложености која настаје у форми и структури система чије међусобно деловање локалних фактора генерише уређење целине. Фрактална геометрија се описује као „геометрија поретка кроз више размера, геометрија организоване сложености“. Градови као већина реалних система показују бесконачну сложеност и та чињеница мора променити концепте урбаног планирања [1]. Стога, како би се најбоље разумело стање у области, прво ће се истражити подручје фрактала и релевантних појмова за разумевање истих, након чега ће се гледати њихова примена у урбаном контексту.

1.3.1. О фракталима

Фрактали су сложене геометријске форме, неравни и неправилни облици које карактеришу хијерархичност и самосличност, односно, одлика да могу да се поделе на делове од којих је сваки умањена копија целине. Показало се, међутим, да њиховој слојеној представи одговарају једноставне инструкције – алгоритми, чијим се понављањем фрактали генеришу од почетних облика. Фрактали имају три важна својства, самосличност, фракталну димензију и настајање кроз итерацију. Међу најпознатије примере математичких фрактала спадају и тепих Сјерпинског и Кохова крива.

1.3.1.1. Фрактална геометрија

Фрактална геометрија се први пут применила у проучавању природних облика и феномена. Једноставне формуле или сасвим једноставна правила, понављањем у итеративним процесима доводе до сложене фракталне геометрије. Основни параметар за посматрање разних природних облика и феномена, па и урбаних процеса кроз фракталну геометрију представља фрактална димензија. Значење појма фракталне димензије је суштинско за разумевање фракталне теорије и њене примене.

1.3.1.2. Фрактална димензија

Димензија је мера која испуњава простор неког објекта. Дакле, димензија је апстрактна, али ипак и тачно мерило у којој мери објекат заузима простор. За фракталну димензију може се рећи да је онај број који мери колико „добро“ неки објекат испуњава простор у

ком се налази. Људски ум је навикнут на целобројну еуклидску димензију, али Менделброт открива да већина објеката у природи не показује димензију која је цео број [2]. Фрактална димензија је најзначајнија особина фрактала. Она представља битан показатељ карактера урбаних структура, којим се одређује степен неправилности и сложености. Њоме је могуће пратити и одредити урбане трансформације у различитим временским пресецима.

1.3.2. Примена фракталне геометрије у процесу урбаног развоја и раста

Као што је већ напоменуто, фрактална геометрија је своју прву примену имала у проучавању природних облика и феномена, али су каснија истраживања показала да и урбане форме могу да се посматрају као фракталне структуре. Анализом њиховог раста и развоја могуће је у наизглед хаотичним појавама уочити одређене правилности. Фрактална геометрија представља средство за анализу сложене морфолошке структуре градова. Уз помоћ фракталне геометрије могуће је одредити степен неправилности, сложености и хијерархичности урбаних структура, као и степен урбаних трансформација у различитим временским оквирима.

1.3.2.1. Методе за мерење фракталне димензије у урбаном подручју

Фрактална димензија показује степен трансформације урбаних подручја кроз време. Вредности фракталне димензије (D) су од значаја да се упореде карактеристике одређеног урбаног подручја које указују на интензитет урбаног раста у одређеном временском периоду. Она може да се измери помоћу рачунарских софтвера, међу којима се издваја софтвер „Фракталајз“. Најчешћа метода за израчунавање фракталне димензије је „бокс-каунтинг“ метода. Ова метода заснива се на анализи структуре урбаног подручја. Сам облик испитиваног подручја интерпретиран је тако да је његов облик покривен мрежом квадрата величине (I) и броја квадрата (N), чији се однос изражава се каоу једначини (1)

$$N = \frac{L}{I} D \quad (1)$$

где је (D) фрактална димензија и (L) укупна величина мреже. Фрактална димензија (D) изражена је на основу логаритамске трансформације $N = (L / I)^D$ која има облик $\log N = a - D \log I$, где је (a) константа која се користи као основа за линеарну функцију. Фрактална димензија која описује расподелу елемената у простору може имати вредности између 0 и 2. Ако је фрактална димензија једнака 2, то значи да је матрица униформна, док 0 одговара граничном случају у коме урбану матрицу чини једна тачка, тј. изоловани објекат. Фрактална димензија $D < 1$ одговара матрици која се састоји од одвојених, неповезаних елемената. Фрактална димензија $D > 1$ указује на фрактално повезане елементе који формирају мање или веће групе. Што је D ближе 2, више је елемената повезаних међусобно који припадају једном великом кластеру. Коефицијент корелације је мера степена поклапања рачунске са теоријском кривом (рачунска крива представља бинарну апроксимацију урбане границе, док је теоријска крива онаква каква је и на цртежу). Што је

вредност коефицијента корелације приближнија 1, то јасније приказује фракталну структуру, а вредности $r < 1$ приказују ниво одступања од фракталне структуре. За вредности овог коефицијента изнад 0.990, поклапање се проглашава задовољавајућим и поступак је меродаван.

1.4. Проблем истраживања

Фрактална димензија је показатељ природне сложености урбаних простора. Фрактална димензија сама не може бити довољна за урбану класификацију. С тога, проблемски задатак огледа се у процесу анализе форме урбаних матрица и у процесу дефинисања смерница за урбани развој које би планерима биле од велике важности. Анализе урбаних матрица и урбаног развоја, касније могу бити примењене код праћења просторно планске документације различитог нивоа у сврху припреме за израду наредних планских докумената, за доношење препорука, извештаја, смерница. Сугерисањем да град треба посматрати као сложене системе и уочавањем недостатака традиционалних концепата планирања урбаних система, потребно је представити нови концепт планирања чији би циљеви представљали јасна упутства како се фрактална димензија може применити као критеријум за идентификацију и класификацију урбаних матрица.

1.5. Циљ истраживања

Циљ истраживања јесте да се применом анализе базиране на теорији сложености и фракталној геометрији, у комбинацији са рачунарским програмима и алатима, представи модел сагледавања урбаних матрица при процесу планирања и управљања грађеном средином. Током истраживања потребно је увидети начин на који урбане матрице комуницирају са својом околином како би се генерисала правила будућег развоја на принципима постојећег стања.

1.6. Критеријум истраживања

Критеријум истраживања заснива се на анализи фракталности урбаних структура градова у нашем окружењу са аспекта утврђивања у којој мери они поседују фракталне особине и утврђивања начина примене фракталне анализе на њихов будући развој. Фракталност урбаних структура испитиваће се преко фракталне димензије (D) и коефицијента корелације (r) уз помоћ којих је могуће увидети карактеристике одређеног урбаног подручја.

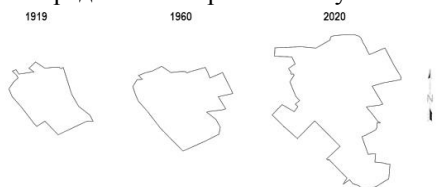
2. Методе истраживања

За потребе истраживања користиће се софтвер „Фракталајз“ који користи принцип бинарне рачунарске логике. Основне улазне податке представљају бинарне мапе подручја у tiff формату, односно мапе у растер формату на којима се графички диференцирају изграђена и неизграђена подручја, где се прва означавају црном, а друга белом бојом. Одабрано подручје за анализу је грађевински реон града Суботице, који последњих деценија има тенденцију раста периферних, неурбанизованих подручја. Сложеност, односно фракталност урбаних подручја у моделу новог концепта планирања примениће се на два начина. Први - фракталном анализом урбаних граница одређују се фракталне димензије које показују сложеност форме урбаног подручја и по том принципу одређују начин на који би град могао да се развија. Издвајањем урбане границе у различитим временским оквирима

могуће је предвиђање раста одређене урбане средине. Друго - мерење фракталне димензије урбаних матрица ће се користити да би се измерила промена физичке структуре, посредством малих или великих интервенција, које имају директан или индиректан морфолошки утицај на урбане матрице. Фрактална класификација, зонирање по вредности фракталне димензије, може помоћи планерима да прецизније идентификују границе зона где неке од интервенција могу бити спроведене у циљу очувања урбаних карактеристика и/или сложености подручја.

2.1. Фрактална анализа урбаних граница и урбаног раста

Поступак истраживања заснива се на првобитном издвајању граница градског подручја града Суботице у различитим временским оквирима. Потом се користи бокс каунтинг метода за израчунавање фракталне димензије у софтверу Фракталајз. Током периода од 1948. до 2022. године, услед великог пораста становништва, границе урбане структуре су се драстично промениле и град је морао да се прошири. Представљене су мапе (Слика 1) на којој су приказане границе, односно контуре грађевинског реона Суботице у 1919, 1960. и 2020. години, са нумеричким вредностима приказаним у табели 1.



Слика 1. Границе грађевинског реона Суботице

ГОДИНА	ФРАКТАЛНА ДИМЕНЗИЈА	КОЕФ. КОРЕЛАЦИЈЕ	ПОКЛАПАЊЕ КРИВИХ
1919.	1,230	0,99162	ЛОШЕ
1960.	1,389	0,99098	ЛОШЕ
2020.	1,408	0,99207	ЛОШЕ

Табела 1. Вредности фракталне димензије у различитим временским оквирима

Узимајући у обзир резултате фракталне анализе, можемо закључити да је распоред изграђеног подручја био веома хомоген у 1919. години. Такође, ниска фрактална димензија границе у том периоду указује да нема интересовања или услова за квалитетно насељавање рубних подручја града. Током периода од 1919. до 2020. год. значајне промене порастом густине становништва довеле су до повећања површине грађевинског реона. Разлика фракталне димензије из периода 1919. године и 2020. године је близу 0.2. Сличност фракталне димензије се повезује са сличним поступком развоја урбаног подручја, односно сличним процесом генерисања. Фрактална димензија урбане границе вредности око 1.4 представља добру артикулацију изграђених и слободних површина. Повећање фракталне димензије уз повећање урбане границе представља процес урбаног раста без губитка квалитета живота. Испитивањем фракталне димензије у Суботици закључује се да границе градског подручја имају „простора“ да расту и ту чињеницу треба имати у виду кроз процес планирања.

2.2. Мерење фракталне димензије урбаних матрица у циљу класификације матрица

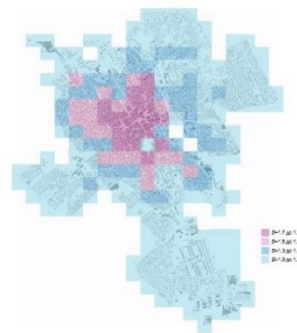
Други део истраживања односи се на мерење фракталне димензије целокупног подручја

грађевинског реона Суботице, мерење фракталне димензије урбаних матрица и на фракталну класификацију - зонирање по вредности фракталне димензије. За фракталну анализу целокупног грађевинског реона Суботице такође је одабрана бокс каунтинг метода. У табели 2 приказана је вредност фракталне димензије подручја Суботице и коефицијент корелације применом бокс каунтинг методе.

МЕТОДА	ФРАКТАЛНА ДИМЕНЗИЈА	КОЕФ. КОРЕЛАЦИЈЕ	ПОКЛАПАЊЕ КРИВИХ
box counting	1,702	0,99997	ОДЛИЧНО

Табела 2. Вредност фракталне димензије грађевинског реона Суботице

Вредност фракталне димензије износи 1.702, а вредност коефицијента корелације 0.99997 што указује да испитивано поседује фракталне особине. У склопу фракталне анализе подручја грађевинског реона Суботице, направљена је фрактална мапа (Слика 2). Посматрана површина подељена је мрежом квадрата странице 40 пиксела и за сваки од њих је одређена фрактална димензија. Да би се добио визуелни утисак о варијацији фракталних димензија у оквиру града, одређеним опсезима димензија су додељене боје.



Слика 2. Фрактална мапа грађевинског реона Суботице

Подела вредности фракталне димензије сведена је на четири опсега димензија који приказују високу или ниску фракталност урбаних матрица. Високе вредности фракталне димензије указују на гушће, хомогене матрице, док ниске вредности фракталне димензије указују на фрагментисани раст. Плански раст периферије се уочава на јужном, западном и источном делу, док се неплански раст периферије примећује на северном делу испитаног подручја. Независно да ли је периферија формирана уз планску или непланску регулативу уочавају се изразито ниске вредности фракталне димензије периферије. Даљи поступак истраживања заснива се на анализи карактеристичних урбаних матрица као и њихове упоредне анализе.

2.2.1. Карактеристичне урбане матрице различитих опсега фракталне димензије

Што је фрактала димензија урбаних матрица ближа вредности 2, то је урбана матрица хомогенија и карактерише је висок степен сложености. За анализу урбане матрице у опсегу фракталне димензије између 1.7 и 1.9 одабрана је урбана матрица историјског језгра Суботице, сл.3. За анализу урбане матрице у опсегу фракталне димензије између 1.5 и 1.7 одабрана је ортогонална урбана матрица која се налази у непосредном окружења историјског језгра Суботице, сл.4.



Слика 3. Урбана матрица Суботице – лево планиметрија, десно орто-фото снимак



Слика 4. Урбана матрица Суботице – лево планиметрија, десно орто-фото снимак

За анализу урбане матрице у опсегу фракталне димензије између 1.3 и 1.5 одабрана је радијална урбана матрица која је била подвргнута великим интервенцијама 60-тих година прошлог века, сл.5.



Слика 5. Урбана матрица Суботице – лево планиметрија, десно орто-фото снимак

За анализу урбане матрице у опсегу фракталне димензије између 1.0 и 1.3 одабрана је урбана матрица на периферном делу града уз једну од најбитнијих саобраћајница на подручју Суботице, сл.6.



Слика 6. Урбана матрица Суботице – лево планиметрија, десно орто-фото

Упоредна анализа карактеристичних урбаних матрица

Прикупљањем свих потребних података могуће је урадити упоредну анализу карактеристичних урбаних матрица (Табела 3).

	ФРАКТАЛНА ДИМЕНЗИЈА	КОЕФ. КОРЕЛАЦИЈЕ	ПОКЛАПАЊЕ КРИВИХ
1	1,794	0,99952	ОДЛИЧНО
2	1,611	0,99800	ДОБРО
3	1,496	0,99835	ДОБРО
4	1,121	0,98505	ЛОШЕ

Табела 3. Упоредна анализа вредности фракталне димензије урбаних матрица

Урбане матрице креиране на неком простору кроз деловање истих процеса, показују сличност у просторној организацији. То се управо уочава и на примеру првог и другог случаја, где се примећује сличност просторне организације и слична фрактална димензија. Вредности фракталне димензије прва два случаја указују на компактност зона и да је подручје уједначене сложености. Међутим, урбане матрице првог и трећег случаја се додирују, али су њихове фракталне димензије веома различите, што указује да долази до разједињавања урбане структуре. Испитујући морфологију европских градова

Frankhauser закључује да: градски центри имају фракталну димензију између 1,8 и 1,95; правилне матрице без јавних простора од 1,8 до 1,99; неправилне матрице или оне чији је раст мање контролисан од 1,64 до 1,85 [3]. Пример 1 представља анализу градског центра Суботице са фракталном димензијом 1.794 чиме се увиђа врло мало одступање од фракталне димензије европских градских центара. Пример 2 представља правилне матрице без јавних простора и његова фрактална димензије је 1.611, што указује на веће одступање од правилних матрица европских градова. Неправилне матрице чији је раст мање контролисан на подручју Суботице налазе се на периферном делу града и њихов опсег фракталне димензије је од 1.0 до 1.3 што указује на велико одступање од неправилних матрица европских градова.

2.3. Резултати истраживања

Табеларно су представљени резултати истраживања на основу којих су донети закључци о карактеристикама појединих типова урбаних матрица. Фракталном класификацијом модел истраживања у процесу планирања указао је на потенцијал фракталне анализе када су у питању могућности нових решења за добијање прогноза ширења урбане границе, спречавања фрагментације урбаних матрица и мерења евентуалне промене физичке сложености настале услед мањих или већих интервенција.

3. ЗАКЉУЧАК

Имајући у виду добијене резултате, може се закључити да је фрактална анализа полазиште за даље истраживање у процесу планирања урбаних структура. Конкретне вредности упоредне анализе могу се користити у будућим реконструкцијама планских и спонтано формираних урбаних матрица. Овим истраживањем указан је потенцијал фракталне анализе када су у питању нове могућности планирања које би биле у складу са локалним обележјима.

3.1. Будућа истраживања

Потребна су даља истраживања како би се размотриле реалне могућности примене фракталне анализе за унапређење савремених урбаних система. У даљем истраживању, на основу података добијених оваквом класификацијом урбаних матрица, потребно је предвидети где и како би град могао да се развија.

4. БИБЛИОГРАФИЈА

Попис извора:

- [1] Batty M., Longley P. (1994), A Geometry of Form and Function
- [2] Mandelbrot, B. (1983), The Fractal Geometry of Nature
- [3] Frankhauser, P. (2004), Approaching urban patterns by fractal geometry : From theory to application

Слика 1-6 – ауторске слике

Табела 1-3 – ауторске табеле

Кратка биографија:



Реља Ковач рођен је у Суботици 1997. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Архитектура (Архитектонска визуелизација и симулације) одбранио је 2022. године.