

ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију: 12.05.2016., Наставно-научно веће Природно-математичког факултета у Новом Саду</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>др Милица Павков Хрвојевић, редовни професор ПМФ у Новом Саду, ужа научна област Теоријска физика кондензоване материје, 01.01.2013 – председник</p> <p>др Миодраг Крмар, редовни професор ПМФ у Новом Саду, ужа научна област Нуклеарна физика, 21.12.2012. – ментор</p> <p>др Драгутин Михаиловић, редовни професор Пољопривредног факултета у Новом Саду, ужа научна област Метеорологија, физика и биофизика, 12.06.1995. – ментор</p> <p>др Илија Арсенић, доцент Пољопривредног факултета у Новом Саду, ужа научна област Метеорологија, физика и биофизика, 27.10.2011. - члан</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Гордан (Илија) Мимић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 28.03.1988., Центар Сарајево, Босна и Херцеговина</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Природно-математички факултет у Новом Саду, Физика – метеорологија, Мастер физичар</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2012., Физика – метеорологија и моделирање животне средине</p> <p>Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: -</p>
<p>5. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: -</p>
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
<p>Нелинеарна динамичка анализа физичких процеса у животној средини</p>

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Докторска дисертација има укупно 118 страна. Текст дисертације је изложен на 100 страна. У дисертацији је дат сажетак на српском и енглеском језику. Садржај се налази на 2 стране, литература коју чини 112 референци на 8 страна и додатак на 1 страни. Дисертација садржи 66 слика и графикана, као и 12 табела. Дисертација се састоји из два дела и укупно 7 поглавља. На почетку су представљени проблем и циљ истраживања - Увод (3 стр.). Први део се састоји из два поглавља: Модели животне средине (6 стр.) и Домен решења једначина у моделима животне средине (24 стр.). Други део се састоји из три поглавља: Информационе мере, ентропија и комплексност (19 стр.), Употреба информационих мера у анализи временских серија добијених мерењима физичких фактора животне средине (35 стр.) и Примена информационих мера у процени комплексности модела животне средине (10 стр.). На крају дисертације изложен је закључак - Закључак (3 стр.).

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Циљ истраживања је био испитивање домена применљивости једначина које описују поједине процесе у животној средини, што је показано на примеру једначине енергетског биланса на површини земљишта, као и указивање на ограничења актуелних приступа у нумеричким моделима. Са друге стране, циљ је био и квантификовање комплексности, прецизније нивоа насумичности, процеса у различитим сегментима животне средине, представљених временским серијама добијених мерењем или моделирањем, увођењем нових метода базираних на концепту Колмогоровљеве комплексности, као и добијање нових информација о животној средини из њихове просторно-временске анализе.

У првом делу дисертације кандидат је направио критички осврт на нумеричке моделе животне средине тиме што је описао опште принципе рада ових модела, њихову употребу као и ограничења. У наставку су представљени елементи теорије хаоса помоћу којих се врши нелинеарна динамичка анализа једначина које описују поједине физичке процесе у моделима животне средине. Објашњени су појмови попут бифуркационих дијаграма, атрактора и Љапуновљевих експонената, као основних индикатора хаотичног понашања неког система представљеног датим једначинама. На крају је спроведена нелинеарна динамичка анализа спрегнутог система једначина за прогнозу температуре у површинском и у дубљем слоју земљишта, који је често у употреби у шемама за параметризацију површинских процеса. Урађено је детаљно превођење спрегнутог система диференцијалних једначина у диференци облик а затим су испитивана његова решења. Показано је постојање позитивних Љапуновљевих експонената који указују на хаотично понашање решења и добро слагање са вредностима Колмогоровљеве комплексности, као индикатором нивоа насумичности у временској серији која представља еволуцију решења.

У другом делу дисертације развијена је нова методологија базирана на концепту Колмогоровљеве комплексности у виду информационих мера. Ове мере су примењене на временске серије добијене мерењем разних физичких фактора животне средине. Анализирани су подаци о концентрацији радона у пећини и утицај метеоролошких параметара на њу, подаци о протоку флуида у животној средини, пре свега река, подаци о температури ваздуха и падавинама, као основним климатолошким елементима и подаци о УВ зрачењу. На крају је урађена исцрпна анализа временских серија добијених помоћу климатских модела, испитивањем њихове комплексности и поређењем са вредностима добијеним на основу мерења. Указано је на један потенцијални правац побољшања климатских модела у смислу њихове калибрације.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

G. Mimić, D.T. Mihailović, M. Budinčević, Chaos in computing the environmental interface temperature: nonlinear dynamic and complexity analysis of solutions, *Modern Physics Letters B* Vol. 27 No. 26 (2013) DOI: 10.1142/S021798491350190X **M23**

D.T. Mihailović, E. Nikolić-Đorić, N. Drešković, **G. Mimić**, Complexity analysis of the turbulent environmental fluid flow time series, *Physica A* 395 (2014) DOI:10.1016/j.physa.2013.09.062 **M22**

D.T. Mihailović, **G. Mimić**, I. Arsenić, Climate predictions: The chaos and complexity in climate models, *Advances in Meteorology* 04/2014 (2014) DOI:10.1155/2014/878249 **M23**

D.T. Mihailović, M. Krmar, **G. Mimić**, E. Nikolić-Djorić, I. Smetanova, K. Holy, J. Zelinka, J. Omelka, A complexity analysis of ^{222}Rn concentration variations: A case study for Domica cave, Slovakia for the period June 2010-June 2011, *Radiation Physics and Chemistry* 106, 88-94 (2015) doi:10.1016/j.radphyschem.2014.06.016 **M21**

D.T. Mihailović, **G. Mimić**, E. Nikolić-Djorić, I. Arsenić, Novel measures based on the Kolmogorov complexity for use in complex system behavior studies and time series analysis, *Open Physics* 13, 1-14 (2015) DOI: 10.1515/phys-2015-0001 **M23**

D.T. Mihailović, B. Lalić, N. Drešković, **G. Mimić**, V. Djurdjević, M. Jančić, Climate change effects on crop yields in Serbia and related shifts of Köppen climate zones under the SRES-A1B and SRES-A2, *International Journal of Climatology* 35(11), 3320–3334 (2015) DOI: 10.1002/joc.4209 **M21**

D.T. Mihailović, N. Drešković, **G. Mimić**, Complexity analysis of spatial distribution of precipitation: an application to Bosnia and Herzegovina, *Atmospheric Science Letters* 16(3), 324-330 (2015) DOI:10.1002/asl2.563 **M22**

D.T. Mihailović, **G. Mimić**, N. Drešković, I. Arsenić, Kolmogorov Complexity Based Information Measures Applied to the Analysis of Different River Flow Regimes, *Entropy* 17(5), 2973-2987 (2015) DOI:10.3390/e17052973 **M22**

D.T. Mihailović, V. Kostić, **G. Mimić**, Lj. Cvetković, Stability analysis of turbulent heat exchange over the heterogeneous environmental interface in climate models, *Applied Mathematics and Computations* 265, 79-90 (2015) doi:10.1016/j.amc.2015.04.121 **M21**

G. Mimić, D.T. Mihailović, D. Kapor, Complexity analysis of the air temperature and the precipitation time series in Serbia, *Theoretical and Applied Climatology* (2015) DOI:10.1007/s00704-015-1677-6 **M22**

VII ZAKLJUČCI ODNOSNO REZULTATI ISTRAŽIVAŃA

У овој дисертацији је рађена нелинеарна динамичка анализа неких физичких процеса у животној средини. У првом делу је направљен критички осврт на моделе животне средине. Показано је да се у решењима спрегнутог система једначина за прогнозу температуре у површинском и у дубљем слоју земљишта, при одређеној вредности параметара јавља хаос. Такође, утврђено је да при анализи временских серија као добар показатељ хаотичног понашања може да се користи и Колмогоровљева комплексност, тачније њен израчунљив облик.

У другом делу дисертације уведене су нове информационе мере базиране на концепту Колмогоровљеве комплексности за испитивање нелинеарног понашања система кроз анализу временских серија, и то средња (КС), максимална (КСМ), спектар и свеукупна Колмогоровљева комплексност (ОКС). Нове мере су тестиране на временским серијама различитих физичких параметара животне средине, указујући на одређени степен насумичности физичких процеса на различитим временским и просторним размерама и околности под којима су процеси више или мање стохастични.

Испитивањем концентрације радона у пећини у Словачкој је показано да постоји изражена негативна корелација између активности ^{222}Rn и брзине ветра унутар пећине. Резултати су указали на постојање периодичне компоненте од 27.5 седмица (или приближно пола године) у обе

временске серије што истиче њихову сличну динамику на годишњем нивоу. Из дистрибуције фреквенција Колмогоровљеве комплексности концентрације радона и брзине ветра у пећини уочено је да вредности *КС* у тродневним серијама имају изражену насумичност. Резултати су показали да *ОКС* нема константне вредности на месечном нивоу, што се уочава из годишње дистрибуције. Највеће вредности *ОКС* у случају концентрације ^{222}Rn су примећене у периоду од средине септембра до средине октобра док су најмање вредности у периоду фебруар-март. У случају брзине ветра у пећини вредности *ОКС* имају максимум током периода децембар-март и понашају се супротно у односу на понашање радона.

Анализа временских серија протока река је показала да вредности информационалних мера *КС*, *КСМ* и *ОКС* за свих седам испитиваних река у Босни и Херцеговини можемо да поделимо у два интервала, први интервал одговара горњем делу тока (планински и брдски режим) док други интервал одговара доњем делу тока (равничарски режим). Високе вредности *КС* осликавају стохастичност хидролошких процеса, при чему је ова стохастичност више изражена у горњем него у доњем делу тока, што је и било очекивано. Повећањем степена људске активности и уређењем речног корита смањује се турбулентност тока а самим тим и степен насумичности у временској серији. Анализирајући утицај елемената храпавости подлоге на проток флуида показано је да употреба средње Колмогоровљеве комплексности јасније истиче раслојавање у флуиду, него интензитет турбуленције или Шенонова ентропија. У најнижем слоју тока се јављају мањи вртлози који повећавају неуређеност. У слоју мешања вредности *КС* су најмање и приближно константне, што указује на присуство већих и кохерентно организованих вртлога који смањују неуређеност тока. Изнад слоја мешања *КС* поново расте, с обзиром да се ка слободној површини пут мешања смањује и поново се формирају мањи вртлози.

Анализом просторне дистрибуције падавина у Босни и Херцеговини помоћу средње Колмогоровљеве комплексности издвојене су појединачне области у којима је стохастичност временских серија падавина већа (као на пример по ободу Панонске низије или уз ток реке Дрине) или мања (у области високих планина на југо-истоку или у брдским крајевима у централној Босни). Међутим, свеукупна Колмогоровљева комплексност много јасније показује утицај различитих географских фактора на степен насумичности временских серија месечне суме падавина и може да се користи као индекс комплексности падавина (*PCI*). *PCI* показује квантитативно да разлика у степену насумичности у просторној расподели падавина у Босни и Херцеговини потиче од различитог утицаја: 1) Јадранског мора, 2) Динарских планина и 3) Панонске низије.

На примеру временских серија података о дози УВ-Б зрачења на територији Војводине, применом средње Колмогоровљеве комплексности, установљено је да степен насумичности у серијама зависи од прозачности атмосфере. Загађеност, која се највећим делом јавља као последица људске активности, поред интензитета зрачења смањује и ниво насумичности.

Показано је да постоји промена у степену насумичности годишњих временских серија максималне температуре ваздуха (пораст) и количине падавина (опадање) у Србији, у другој половини 20. века. То значи да се мења дистрибуција ових метеоролошких елемената на годишњем нивоу. Узрок томе треба тражити у променама опште циркулације атмосфере, које су последица глобалног загревања. Трендови су израженији употребом средње Колмогоровљеве комплексности него ентропије узорка, и у случају максималне температуре ваздуха ови трендови су статистички значајни док за временске серије количине падавина нису. Такође, постоји слаба корелација у вредностима информационалних мера међу станицама у Србији, што значи да су промене претежно локалног карактера. Ове чињенице треба имати у виду при проучавању времена и климе у будућности.

Испитивање временских серија које генерише регионални климатски модел је показало да, статистички гледано, комплексност података за дугогодишњи временски период одговара осматрањима. Утврђено је да информационе мере могу да се користе при упоређивању временских серија које стварају глобални и регионални климатски модели, као један од показатеља усклађености резултата ових модела. Међутим, дистрибуција вредности у годишњим временским серијама климатских модела се не слаже са дистрибуцијом података добијених осматрањима. С обзиром да резултате климатских модела користе неки модели за процену приноса биљних култура у будућности, веома је битно да ниво комплексности временских серија предвиђања одговара стварности. Из тог разлога би требало радити калибрацију климатских модела у складу са одговарајућим нивоом комплексности, што је потенцијално један од начина за побољшање њиховог рада.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Сви резултати у дисертацији су описани текстуално и представљени графички и табеларно, а неки и изразима из формализованог математичког апарата нелинеарне динамике. Дискусија приказаних резултата је детаљна и јасно изложена. Верификација свега што је у дисертацији приложено као допринос науци обављена је од стране рецензента у међународним научним часописима у којима су резултати публиковани. Према томе, оцена приказа и тумачења резултата истраживања је позитивна.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

Дисертација је написана тако да стриктно прати образложење наведено у пријави теме. У овој дисертацији је рађена нелинеарна динамичка анализа неких физичких процеса у животној средини, при чему је урађено следеће: (1) показано да се у решењима спрегнутог система једначина за прогнозу температуре у површинском и у дубљем слоју земљишта, при одређеној вредности параметара јавља хаос, (2) утврђено да при анализи временских серија као добар показатељ хаотичног понашања може да се користи и Колмогоровљева комплексност, тачније њен израчуњив облик и (3) уведене су нове информационе мере базиране на концепту Колмогоровљеве комплексности за испитивање нелинеарног понашања система кроз анализу временских серија. Изазов покренут дубином проблема био је и главни разлог што је у дисертацији урађено и више него што је првобитно наведено у пријави. Међутим, овакав искорак је само допринео да дисертација буде више заокружена.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Дисертација садржи све битне елементе. Дакле: (1) увод који садржи јасан преглед истраживања у анализи физичких процеса у животној средини као метода нелинеарне динамичке анализе који се примењују; (2) опис модела животне средине; (3) опис и дискусију домена решења једначина у моделима животне средине; (4) разматрање и предлоге везане за информационе мере, ентропију и комплексност; (5) употребу информационих мера у анализи временских серија добијених мерењима физичких фактора животне средине; (6) примену информационих мера у процени комплексности модела животне средине и (7) закључак. Сваки од наведених делова представља једну целину са поруком које су на крају сажете и склоњене у јасном закључку. Опширна и брижљиво одабрана литература представља један јасан водич кроз област којом се кандидат бави у овој дисертацији.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Када се постави овакво питање, ма колико да изгледа формално, оно је и најтеже у намери с којом је постављено менторима и члановима Комисије. Тешко је да на ово питање може да се да потпун па и у потпуности задовољавајући одговор. Шта више и научна јавност, која има повелику инерцију, може да да одговор на ово питање. Дакле, наш одговор неће бити у форми у којој се широким описом образлаже оригиналан допринос науци од стране кандидата. Једино с чим располажемо у овом тренутку јесу објављени радови као и коментари рецензента било да су радови прихваћени или не.

У овој дисертацији обрађен је један проблем који се односи на домен решења једначина у моделима животне средине. О овом проблему постојало је свега неколико радова који су наговештавали оправданост егзистенције оваквог проблема и с тим проблемом су се углавном бавили математичари. Физичари, пак, ако од овог проблема нису бежали нису им баш и вољно

прилазили. Међутим, сада када модели животне средине све више западају у тешкоће овај проблем добија све више на актуелности. Кандидат је управо полазећи од практичног проблема, тј. решења једначине енергетског биланса (израчунавање температуре у површинском слоју у моделима животне средине), показао да при одређеним вредностима параметара у тој једначини (које се јављају при реалним условима) долази до појаве хаоса (параметарски хаос). Оригиналноост овог доприноса се састоји у томе да дубоко иде у прилог све чешћим тврдњама да је неопходно да се преиспита физичка и математичка ваљаност многих постојећих модела животне средине са идејом да се направи сасвим нова генерација тих модела.

Други допринос који се издваја у својој јасноћи јесте једна минуциозна анализа увођења нових информационих мера базираних на употреби Колмогоровљеве комплексности за испитивање нелинеарног понашања система кроз анализу временских серија, тј. средње Колмогоровљеве комплексности, максималне Колмогоровљеве комплексности, спектра Колмогоровљеве комплексности и свеукупне Колмогоровљеве комплексности. Показано је да се ова група информационих мера може применити на многе временске серије животне средине (измерене или добијене из модела) о чијем понашању се не може много рећи ако се на њих примене методе класичне математичке статистике.

Коначно, трећи допринос који се јасно издваја је примена наведеног спектра информационих мера у анализи временских серија добијених мерењима физичких фактора животне средине (концентрације радона у пећинама, протока флуида животне средине, просторне расподеле падавина, температуре ваздуха, падавина и УВ зрачења). Управо овај допринос је у рецензијама радова наилазио пре би се могло рећи на недовољно разумевања него оспоравања. Међутим, било је много више прихватања уз напомену да је истакнуто да се наведене информационе мере по први пут примењују у анализи концентрације радона у пећинама, протока флуида животне средине у лабораторијским условима, просторне расподеле падавина и УВ зрачења.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Докторска дисертација нема недостатака унутар оквира постављених темом. Постојали су сви услови да овај захтев буде и формално задовољен.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

да се докторска дисертација **Нелинеарна динамичка анализа физичких процеса у животној средини** прихвати, а кандидату **мастер физичару Гордану Мимићу** одобри одбрана.

Проф. др Милица Павков Хрвојевић, редовни професор, ПМФ Нови Сад, председник

Проф. др Миодраг Крмар, редовни професор, ПМФ Нови Сад, ментор

Проф. др Драгутин Михаиловић, редовни професор, Пољопривредни факултет Нови Сад, ментор

Доц. др Илија Арсенић, доцент, Пољопривредни факултет Нови Сад, члан
