



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО – МАТЕМАТИЧКИ
ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТАМАН ЗА ФИЗИКУ



Анализа комплексности временских серии глобалног зрачења за мерне станице на Реиниону (Француска)

- МАСТЕР РАД -

Ментор:

Драгутин Т. Михаиловић

Студент:

Сара Марковић

Нови Сад, 2017.

Апстракт

У овом раду испитивана је комплексност временских серија глобалног зрачења на тропском острву Реинион. За квантификацију комплексности коришћене су Колмогоровљева комплексност и нове величине изведене из ње: максимална Колмогоровљева комплексност и свеукупна Колмогоровљева комплексност; Шенонова ентропија, пермутациона ентропија и ентропија узорка. Ове величине су израчунате за дванаесточасовне суме глобалног зрачења за временске серије од годину дана. Просторна расподела комплексности је анализирана у односу на општу циркулацију ваздуха над острвом и поузданост прогнозе зрачења на датом месту. Закључено је да је комплексност глобалног зрачења за дванаесточасовне суме зрачења блиско повезана са режимом ветра и облачности на датом месту, као и да су величине: Колмогоровљева комплексност, максимална Колмогоровљева комплексност, ентропија узорка и пермутациона ентропија одговарајуће мере за испитивање просторне расподеле комплексности.

Садржај

1 Увод	3
2 Сунчево зрачење	4
2.1 Сунце као извор енергије	4
2.2 Спектар Сунчевог зрачења и соларна константа	5
2.3 Расподела Сунчевог зрачења на Земљиној површини у одсуству атмосфере	6
2.4 Слабљење Сунчевог зрачења у атмосфери	8
2.5 Директно зрачење	11
2.6 Дифузно зрачење	12
2.7 Глобално зрачење	13
2.8 Одбијање Сунчевог зрачења од подлоге	13
2.9 Утицај облака на зрачење	14
3 Мере комплексности система	17
3.1 Колмогоровљева комплексност	17
3.1.1 Спектар Колмогоровљеве комплексности	20
3.1.2 Свеукупна Колмогоровљева комплексност	20
3.2 Шенонова ентропија	21
3.3 Пермутациона ентропија	22
3.4 Ентропија узорка	23
4 Особине циркулације ваздуха и предвидљивост зрачења на Реиниону	26
4.1 Општа циркулација атмосфере	26
4.1.1 Особине Хадлијеве ћелије - ИТКЗ, пасати и суптропски антициклони	28
4.2 Општа циркулација ваздуха изнад Реиниона	30
4.3 Поузданост прогнозе Сунчевог зрачења за дан унапред	34
5 Опис мерења	36
5.1 Мерне станице	36
5.2 Мерни инструмент SPN1	37
6 Резултати и дискусија	39
7 Закључак	46

1 Увод

Реинион је тропско острво и као такво има велик потенцијал за коришћење Сунчеве енергије. Да би се управљало постројењима за коришћење Сунчеве енергије потребно је познавати особине пријема зрачења на датом месту и њихову просторну расподелу. На Сунчево зрачење, поред астрономских фактора, утиче и стање атмосфере. У атмосфери зрачење пролази кроз неколико процеса на које утичу елементи времена. Анализа поузданости прогнозе Сунчевог зрачења на Реиниону која је узимала у обзир процесе који утичу на зрачење испитивана је од стране Бадозе и др. [1].

У овом раду је анализирана комплексност временских серија глобалног зрачења помоћу којих може да се испита карактер понашања зрачења, што није могуће урадити применом поступака класичне математичке статистике. Коришћене мере комплексности су: Колмогоровљева комплексност и нове величине изведене из ње од стране Михаиловића и др. [2]: Колмогоровљева максимална комплексност, Колмогоровљева свеукупна комплексност; Шенонова ентропија, пермутациона ентропија и ентропија узорка. Добијене просторне расподеле комплексности затим су упоређене са резултатима које су добили Бадоза и др. [1].

У поглављу 2 је описан процес настајања Сунчевог зрачења и његовог доласка до површине Земље, а мере комплексности коришћене у овом раду описане су у поглављу 3. У поглављу 4 описани су општи временски услови на Реиниону, а поглавље 5 посвећено је опису мерних станица и њиховом окружењу. Приказ и дискусија добијених резултата дати су у поглављу 6.

2 Сунчево зрачење

У овом поглављу биће описано настајање Сунчевог зрачења и ефекти који утичу на количину зрачења које доспе до површине Земље.

2.1 Сунце као извор енергије

Сунце је гасовита сфера са полупречником $6,96 \times 10^8$ km и масом од око $1,99 \times 10^{30}$ kg. Изграђено је од два основна елемента: водоника и хелијума, а у малим количинама су присутни и неки тежи елементи попут гвожђа, силицијума, неона и угљеника. Удео водоника је око 75%, а хелијума око 25%. Температура Сунца се креће од $5\,100\,000^\circ\text{C}$ у унутрашњости до $5\,800^\circ\text{C}$ на површини. Густина се креће од 150×10^3 kg m⁻³ у центру до 10^{-4} kg m⁻³ на ободу. Услед овакве расподеле густине, око 90% масе Сунца распоређено је у првој половини полупречника.

Извор Сунчеве енергије је термонуклеарна физија, која се одиграва у дубоким слојевима Сунца, при температури од десетак милиона степени Целзијуса. Четири атома водоника се спајају у атом хелијума, притом ослобађајући велике количине енергије. Енергија ослобођена на овај начин доводи до незнатног смањивања масе Сунца за износ m_s , услед важења Ајнштајнове једначине: $E_s = m_s c^2$.

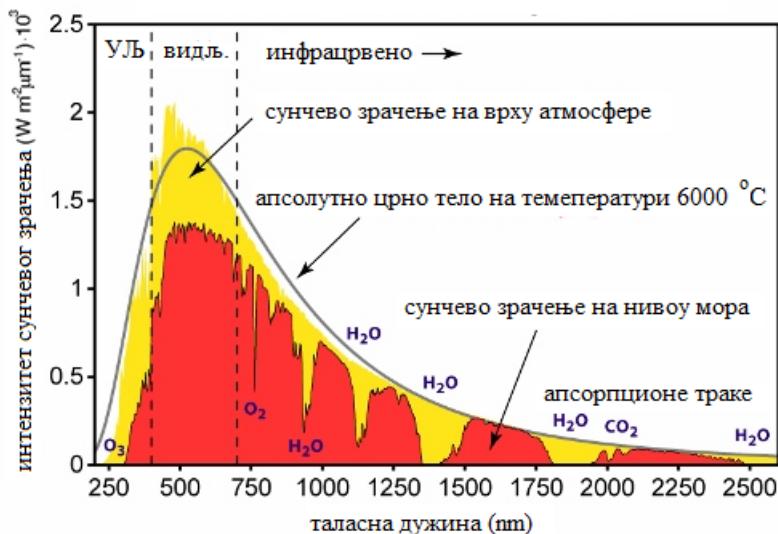
Спољашњи слојеви Сунца се сastoјe од хладнијег гаса који се налази на језгру високе температуре које их загрева и доводи до њиховог ширења и уздишања на површину Сунца. На површини гасови се хладе израчињајем и затим спуштају у ниже слојеве. Област у којој се велике количине загрејаног гаса уздижу, а хладног спуштају назива се *зона конвекције*.

Највећи део енергије који дође до Земље у облику електромагнетног зрачења настаје у видљивој области Сунца, фотосфери. Фотосфера је релативно танак слој од око 500 km, у ком се вредности температуре крећу од 4000°C у вишим слојевима до 8000°C у низким слојевима. Она је неравномерно осветљена и састоји се од тамнијих и хладнијих подручја, Сунчевих пега и светлијих и топлијих подручја, факула.

Изнад фотосфере налази се Сунчева атмосфера која се састоји од *хромосфере* и *короне*. Хромосфера се састоји од водоника и хелијума под ниским притиском и има продужетке у облику протуберанци. Изнад атмосфере налази се корона, састављена од разређених гасова који се простиру до неколико милиона километара у свемир [3].

2.2 Спектар Сунчевог зрачења и соларна константа

Спектар Сунчевог зрачења представља електромагнетно зрачење емитовано од стране Сунца које доспе на горњу границу атмосфере разложено по таласним дужинама. Соларна константа I_a представља количину Сунчевог зрачења која доспе до горње границе атмосфере на јединичну површину нормалну на правац простирања зрачења, у јединици времена. Соларна константа је дуго одређивана компликованим методолошким поступцима, а данас ју је могуће измерити. У употреби је више различитих вредности соларне константе у опсегу $1360 - 1380 \text{ W m}^{-2}$.



Слика 1 Расподела интензитета зрачења по таласним дужинама доспелог до горње границе атмосфере, до површине Земље за чисту атмосферу и спектар зрачења апсолутно црног тела на температури од 6000°C . Извор: [3]

На слици 1 приказан је стандардни модел спектра Сунчевог зрачења. Овај спектар се може поделити у три области: ултраљубичасту (од 0,01 до 0,39 μm), видљиву (од 0,40 до 0,76 μm) и инфрацрвену (од 0,76 до 4,0 μm). Од укупне енергије која доспева до горње границе атмосфере, 50% је у инфрацрвеној области, 40% у видљивој и 10% у ултраљубичастој области. Максимум интензитета зрачења се налази на таласној дужини од 0,476 μm.

Уочено је да се интензитети Сунчевог зрачења разликују у еквивалентним температурама апсолутно црног тела у зависности на то која област спектра се посматра. Стога је исправније говорити о ефективној температури Сунца која се рачуна преко флукса зрачења са Сунца [3]. Флукс зрачења је познат и износи $F_s = 6.2 \times 10^7 \text{ W m}^{-2}$. Та количина енергије мора остати непромењена на било ком растојању од Сунца. Одатле следи једнакост 1 из које може да се израчуна

соларна константа:

$$F_s(4\pi a_s^2) = I_0(4\pi d_s^2) \quad (1)$$

$$I_0 = F_s \left(\frac{a_s}{d_s}\right)^2 \quad (2)$$

где је a_s полуупречник Сунца, а d_s средње растојање Земље од Сунца.

Ако се претпостави да укупно зрачење које Земља прима може да се изрази преко зрачења које прима диск површине приближне површине круга чији полуупречник је једнак полуупречнику Земље R , и да се то зрачење равномерно распореди по површини Земље, онда се количина зрачења које доспе на јединицу површине горње границе атмосфере у јединици времена Q_a може изразити у облику једначине:

$$Q_a = \frac{I_0 \pi R^2}{4\pi R^2} = \frac{I_0}{4}. \quad (3)$$

Ако се претпостави да је Сунце апсолутно црно тело, његов флукс зрачења може се заменити са једначином:

$$F_s = \sigma T_{ef}^4. \quad (4)$$

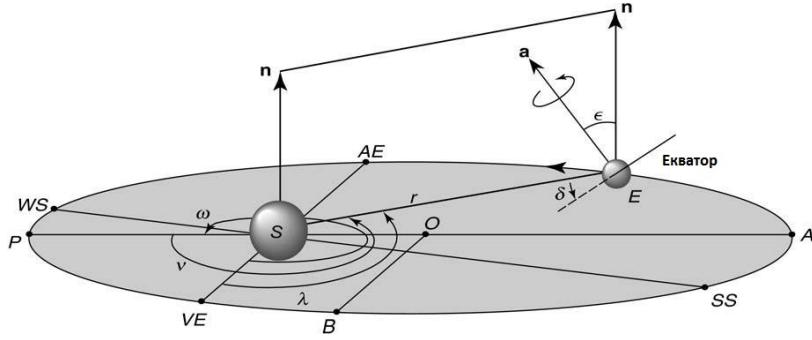
На основу претходних израза може се доћи до израза за ефективну температуру Сунца.

$$T_{ef}^4 = \frac{d_s^2 I_0}{\sigma a_s^2} \quad (5)$$

Заменом вредности константи у једначини 5 добија се приближна вредност ефективне температуре Сунца од око 5800°C

2.3 Расподела Сунчевог зрачења на Земљиној површини у одсуству атмосфере

Претпостави се да зрачење стиже до Земљине површине без слабљења и посматра се количина Сунчевог зрачења која стигне до јединице површине Земље у јединици времена. Током године Земља обиђе круг по елиптичној орбити са ексцентрицитетом од 0,01673. Са Земље, то кретање се опажа као кретање Сунца по небеском своду, по путањи званој еклиптика. Раван еклиптике са равни Земљиног екватора заклапа угао од $23^\circ 26' 24''$.

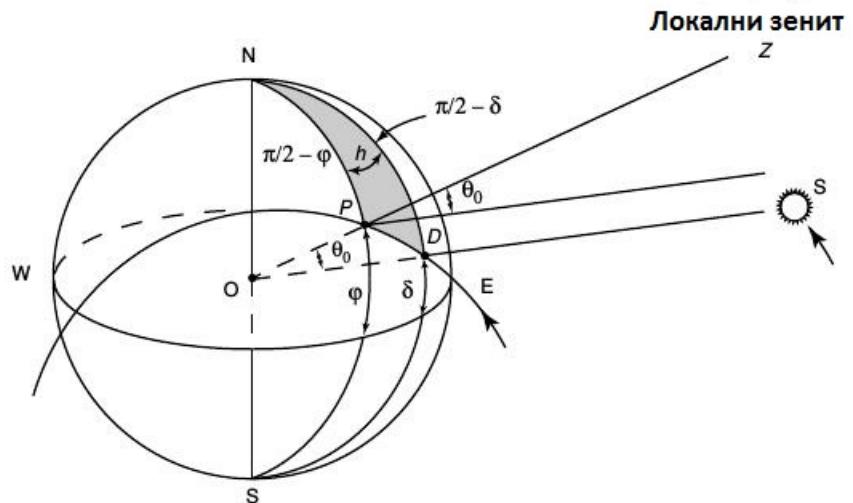


Слика 2 Геометрија система Земља-Сунце. Р означава перихел, А афел. АЕ је јесења, а ВЕ је пролећна равнодневница. WS је зимски, а SS летњи солстициј. \mathbf{n} је нормала на раван еклиптике, \mathbf{a} је паралела оси Земљине ротације. δ је угао деклинације Сунца, ϵ је угао нагиба Земљине осе, ω је угао перихела у односу на пролећну равнодневницу, ν је стварна аномалија Земље у датом тренутку, λ је стварни положај Земље. O је центар елипсе, OA је велика оса елипсе, а OB је мала полуоса елипсе. S је положај Сунца, а E је положај Земље. $ES = r$ је растојање између Земље и Сунца. Извор: [4]

Раван еклиптике пресеца екватор 21. марта, прелазећи са јужне на северну хемисферу. Гледано са Земље, раван се подиже све више да би достигла $23^{\circ}27'$ око 22. јуна, након чега креће да се спушта, пролази кроз екватор 22. септембра и достиже најнижу угаону висину на јужној хемисфери од $-23^{\circ}27'$ 22. децембра. Ове тачке представљају пролећну и јесењу равнодневницу (еквинокциј), летњу дужодневницу и зимску краткодневницу (летњи и зимски солстициј), (сл. 2). Земља је најближа Сунцу у перихелу, око 3. јануара, а најдаља у афелу, око 4. јула. Са Земље као тачке гледишта, кретање Сунца се описује зенитним углом θ_0 . То је угао под којим Сунчеви зраци доспевају на површину Земље у односу на вертикалу. Он има најмању вредност у подне, када је Сунце у зениту. Помоћу овог угла може да се израчуна количина зрачења која доспе на јединичну површину Земље у јединици времена формулом:

$$I = I_0 \left(\frac{d_s}{d_z} \right)^2 \cos \theta_0 , \quad (6)$$

где је d_z тренутно растојање Земље од Сунца, I се често у метеоролошкој пракси назива инсолација. Зависност инсолације од географске ширине φ је имплицитно уgraђена у зенитни угао θ_0 [3]. Часовни угао h је угао за који Земља мора да се заротира да би довела тачку посматрања на меридијан на ком се налази тачка која је директно испод Сунца, (сл. 3). У подне када је $h = 0$, зенитни угао се може израчунати само на основу географске ширине и деклинације Сунца δ на начин: $\cos \theta_0 = \cos(\varphi - \delta)$.



Слика 3 Веза између зенитног угла θ_0 , географске ширине φ , угла деклинације Сунца δ и часовног угла h . Тачка посматрања је P , а D је тачка која је директно испод Сунца. Извор: [4]

Путем израза 6 могу се добити информације о зрачењу које током дана дође на одређену површину интеграљењем у границама од изласка до заласка Сунца. За географску ширину $\varphi = 45^\circ$, што је отприлике географска ширина Новог Сада добија се израз:

$$I_d = \frac{\sqrt{2}}{2} I_0 \frac{r_{zo}}{r_z^2} \frac{86400}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} \sin \delta + \cos \delta \right). \quad (7)$$

На овај начин се може добити дневна сума зрачења која би доспела на површину Земље када не би било слабљења зрачења при проласку кроз атмосферу.

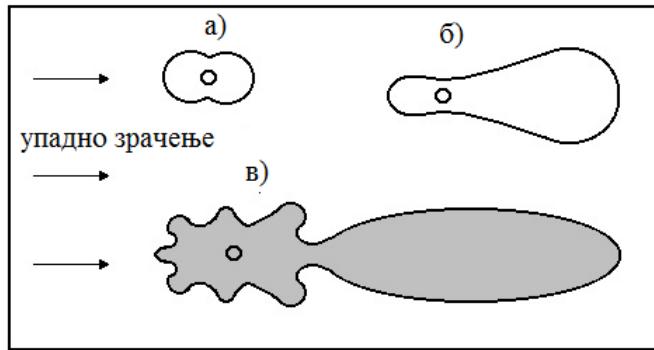
2.4 Слабљење Сунчевог зрачења у атмосфери

Електромагнетно зрачење се при проласку кроз атмосферу расејава на молекулама, аеросолима и у облацима који садрже капљице воде и ледене кристале. То узрокује многе светлосне ефекте у атмосфери. Расејање је физичка појава везана за интеракцију зрачења са честицама и одиграва се на свим таласним дужинама електромагнетног спектра. Честица која се налази на путу зрачења постаје извор зрачења које се расејава у свим правцима.

Промена смера зрачења може бити последица дифракције, рефлексије и пре-ламања или њихових комбинација. Количина и смер расејаног зрачења зависи од величине честице и таласне дужине зрачења које доспева на њу. Димензије честица у атмосфери могу бити од 10^{-10} м, за молекуле гасова, до 10^{-2} м, за веће кишне

кали и зрна града, па се расејавање на њима врши са различитим усмерењима расејаних зрака.

Мале честице расејавају зрачење подједнако напред и назад у односу на правац упадног таласа (сл. 4). Са повећањем димензија честице долази до благог помеђу просторне расподеле расејаног зрачења ка напред, да би код сасвим великих честица расејана енергија била концентрисана унапред у односу на упадни талас.



Слика 4 Примери угаоне расподеле интензитета зрачења расејаног на: а) малим, б) крупним и в) сасвим крупним честицама. Извор: [3]

Слабљење монокроматског зрачења, dI_λ услед расејања на молекулама на путу dx може бити изражено на следећи начин:

$$dI_\lambda = -k_r I_\lambda dx \quad (8)$$

где је I_λ интензитет Сунчевог зрачења на таласној дужини λ , а k_r је коефицијент расејања. Коефицијент расејања има димензије m^{-1} и изражава који део Сунчевог зрачења бива расејан од стране јединичне запремине средине кроз коју пролази. Узимајући да је почетна вредност интензитета зрачења $I_{0\lambda}$, интеграцијом се добија једначина:

$$I_\lambda = I_{0\lambda} e^{-\int k_r dx}. \quad (9)$$

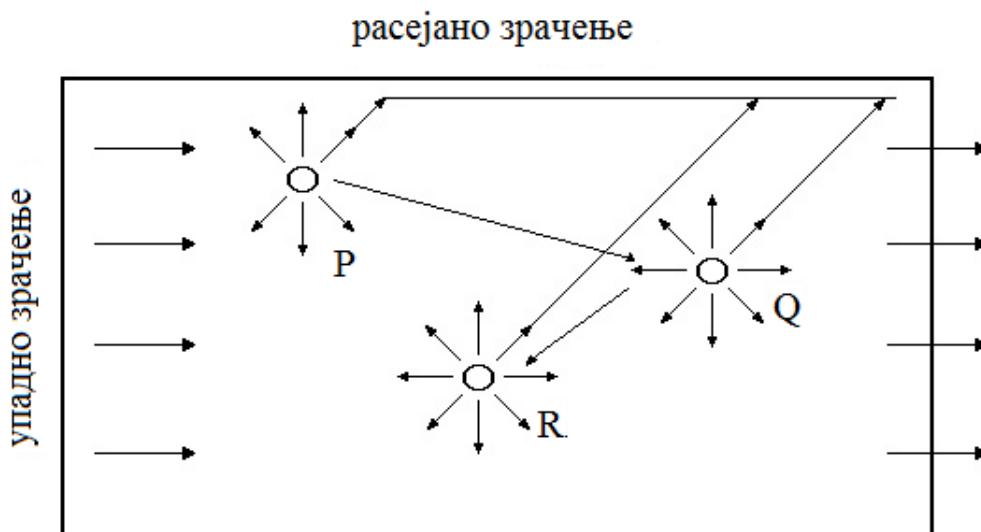
Према димензијама честица у односу на упадно зрачење, расејање се дели на Рейлијево и Мијево. Рейлијево расејање је оно при ком је таласна дужина зрачења већа од димензија честице на којој се одиграва. Рейлијев закон важи за честице чији је пречник мањи од десетине таласне дужине зрачења које се на њима расејава. Према том закону коефицијент молекуларног расејања k_r је обрнуто пропорционалан четвртом степену таласне дужине зрачења које се расејава, једначина 10. C_λ

је коефицијент који зависи од броја молекула гаса у јединици запремине и врсте гаса.

$$K_r = \frac{C_\lambda}{\lambda^4} \quad (10)$$

Код Мијевог расејања димензије честица су приближно једнаке или нешто веће од таласне дужине зрачења које се расејава.

При расејању на већем броју честица, поред долазног, расејава се и зрачење које је већ расејано на другим честицама (сл. 5). Овакво расејање се назива вишеструким расејањем и има значајну улогу у преносу зрачења кроз атмосферу, нарочито у присуству облака и аеросола.



Слика 5 Процес вишеструког расејања. Упадно зрачење се расејава на честици у тачки P, расејано зрачење затим пада на честицу у тачки Q и поново се расејава, што се понавља и за честицу у тачки R. Извор: [3]

Други разлог слабљења Сунчевог зрачења при проласку кроз атмосферу је апсорпција. Слабљење услед апсорпције се такође изражава једначином облика 9, али се уместо коефицијента расејања k_r користи коефицијент апсорпције k_a . У спектру Сунчевог зрачења при површини Земље могу се приметити бројне апсорpcione линије и траке. Неке су настале већ у Сунчевој атмосфери услед апсорпције зрачења од стране гасова. Остале су настале апсорпцијом у Земљиној атмосфери. Уочава се и нагло завршавање спектра у његовом краткоталасном делу од око 0,3μm (сл. 1). Ова појава се објашњава присуством озона, молекуларног и атомског кисеоника у вишим слојевима атмосфере, а у мањем износу и других активних

атмосферских гасова. Они апсорбују долазно зрачење, али пошто је мали интензитет долазног зрачења у овој области таласних дужина, апсорбује се само око 2% од укупног Сунчевог зрачења које долази у атмосферу. У атмосфери се релативно мала количина Сунчевог зрачења апсорбује од стране водене паре, а још мања од угљен-диоксида и то углавном у инфрацрвеном делу спектра. Аеросоли, дим и честице морске соли такође апсорбују зрачење одређених таласних дужина, али је њихов утицај променљив и понекад занемарљив [3].

Услед расејања и апсорпције зрачење слаби при проласку кроз неку материјалну средину. То слабљење може да се представи преко одређених квантитативних параметара. Претпостави се да је површина Земље равна, а атмосфера изнад ње подељена на танке слојеве којима атмосфера опада са висином. Зрачење таласне дужине λ пролази кроз атмосферу где се расејава и апсорбује. Зрачење ће на висини $x = h_a$ ослабити сагласно са једначином 9, с тим да се користи коефицијент k_λ који укључује оба процеса, расејање и апсорпцију. Ово слабљење се може изразити следећом једначином:

$$I_\lambda = I_{0\lambda} e^{-\int_{h_a}^{\infty} k_\lambda dx} = I_{0\lambda} e^{-\tau_\lambda(h_a)}. \quad (11)$$

Интеграл $\int_{h_a}^{\infty} k_\lambda dx$ представља оптичку дебљину атмосфере на висини h_a . На површини Земље је $h_a = 0$, једначина 11 постаје 12.

$$I_\lambda = I_{0\lambda} e^{-\tau_{\lambda 0}} = I_{0\lambda} p_\lambda \quad (12)$$

Величина $p_\lambda = e^{-\tau_{\lambda 0}}$ представља коефицијент прозрачности атмосфере. То је удео зрачења таласне дужине λ које доспе до површине Земље при упадном углу од 90° .

2.5 Директно зрачење

Од Сунца до горње границе атмосфере Сунчево зрачење доспева у скоро не-промењеном облику пошто се при проласку кроз безваздушни простор не јављају размотрени процеси слабљења. Ако у таквом облику доспе директно до површине Земље, назива се директно Сунчево зрачење S_d .

Директно Сунчево зрачење слаби при проласку кроз атмосферу. Спектрални састав зрачења које дође до Земље зависи од висине Сунца и прозрачности атмосфере. Прозрачност атмосфере зависи од присуства гасова и аеросола који апсорбују зрачење, као и присуства облака и појаве магле. Интензитет директног зрачења се повећава са повећањем надморске висине због смањења дебљине атмосфере кроз коју зрачење пролази. Ова промена је већа у нижим слојевима

атмосфере због већег присуства водене паре и аеросола. Из осматрања је познато да се интензитет директног зрачења на око 1 km висине увећава за $70 - 120 \text{ W m}^{-2}$, док на 4 – 5 km изнад планина већ прелази вредност од 1190 W m^{-2} . На 22 km износи 1240 W m^{-2} , да би се са даљим повећањем висине приближио вредности соларне константе, коју достиже на висини од око 50 – 60 km. Велик утицај на директно зрачење имају облаци, нпр. густ слој ниских облака може да ослаби директно зрачење у потпуности.

Када се прозрачност атмосфере не би мењала онда би крива дневног хода директног Сунчевог зрачења била симетрична у односу на стварно подне. У моменту изласка Сунца интензитет би био нула, затим би растао до максимума у подне, након чега би симетрично опадао до тренутка заласка Сунца. Прозрачност атмосфере се мења током дана пошто се мења садржај прашине, водене паре и других примеса у ваздуху, што за последицу има несиметричност дневног хода директног зрачења у односу на подне. Непосредно пре поднева се обично интензивирају узлазна ваздушна струјања која са собом носе водену пару и честице прашине и смањују прозрачност, због чега је максимум дневног хода директног зрачења у преподневним сатима. Дневни ход директног зрачења се мења у зависности од доба године тј. од дужине дана и висине Сунца. Географска ширина места такође има утицај на дневни ход директног зрачења. На низим географским ширинама максимум у дневном ходу је израженији него на вишим, јер се са приближавањем половима висина Сунца мења мање у току дана.

Годишњи ход директног Сунчевог зрачења представља се преко просечних месечних сума. Најизраженији је на половима. На екватору је амплитуда годишњег хода најмања и ход има два максимума од око 920 W m^{-2} , у време пролећне и јесење равнодневнице, и два минимума, у време летње дугодневнице и зимске краткодневнице. У средњим географским ширинама максимум се јавља у време летње дугодневнице, а минимум у време зимске краткодневнице [3].

2.6 Дифузно зрачење

Дифузно зрачење S_r доспева на површину Земље са целог небеског свода и креће се до неколико десетина W m^{-2} . Оно зависи од степена замућености атмосфере. Повећана концентрација честица у атмосфери доводи до увећања интензитета дифузног зрачења. Интензитет овог зрачења може бити значајно увећан у присуству релативно танких облака који су идеална средина за расејање Сунчевог зрачења. Пример за то јесу цируси који могу да увећају дифузно зрачење и до десет пута у односу на ведро време. Интензитет дифузног зрачења ће бити

смањен у односу на ведро време само у присуству дебелог слоја ниских облака и ако се из облака излучују падавине. На дифузно зрачење утичу висина Сунца и карактер подлоге тј. њена рефлексивност. Са повећањем висине Сунца повећава се и дифузно зрачење. Што је рефлексивност подлоге већа, већи износ зрачења се врати у атмосферу где се расејава и у облику дифузног додаје првобитно расејаном зрачењу и тако враћа на површину Земље.

Дневни и годишњи ход дифузног зрачења при ведром дану прати ход директног зрачења. У јутарњим сатима се дифузно зрачење јавља пре директног, затим почиње да расте и достиже максимум између 12 и 13 часова. Након тога се смањује и достиже нулту вредност у сумрак. Годишњи ход дифузног зрачења има максимум у јулу а минимум у јануару на северној хемисфери (на јужној хемисфери је обрнуто). Овакав ход дифузног зрачења се јавља при ведром небу или када је небо у потпуности покривено облацима. Када је облачност повећана ходови дифузног и директног зрачења могу приметно да се разликују од описаних [3].

2.7 Глобално зрачење

Глобално зрачење S_g представља суму директног и дифузног зрачења (једначина 13). Доприноси ових компоненти зависе од висине Сунца, прозрачности и облачности.

$$S_g = S_d + S_r \quad (13)$$

До изласка Сунца глобално зрачење се састоји од дифузне компоненте. Са повећањем висине Сунца удео дифузног зрачења се смањује. Облик, висина и количина облака у различитим односима доприносе повећању удела дифузног у глобалном зрачењу. Када је Сунце заклоњено густим облацима, глобално зрачење се своди на дифузно. Ако је небо делимично покривено слојем танких облака глобално зрачење може да има већу вредност од оне коју има при ведром времену. Интензитет глобалног зрачења битно зависи од географске ширине места. Са смањењем географске ширине повећавају се дневне суме глобалног зрачења, па се смањује разлика између месечних сума, тј. амплитуда годишњег хода [3].

2.8 Одбијање Сунчевог зрачења од подлоге

Када зрачење доспе на неку површину делимично бива апсорбовано, а остатак се рефлектује. Однос зрачења које се рефлектује R_a и укупног зрачења које је доспело на подлогу R_a назива се рефлексиона способност или албедо подлоге A_p и дефинише се као:

$$A_p = \frac{R_z}{S_g} . \quad (14)$$

Албедо површине Земље зависи од карактера подлоге као што су: боја, влажност и храпавост. Велик утицај на албедо има и присуство вегетације. Тамна и храпава земљишта мање одбијају зрачење него светла и мање храпава. Влажна земљишта мање одбијају зрачење него сува. Албедо природних површина се мења у току дана тако да највеће вредности има у јутарњим и вечерњим часовима, а нешто мање током дана. Овакав ход је последица зависности албеда од спектралног састава глобалног зрачења, који зависи од висине Сунца, и чињенице да је рефлексиона способност исте површине различита за различите таласне дужине. При мањој висини Сунца у саставу глобалног зрачења доминира дифузно зрачење које се знатно више рефлектује од директног зрачења.

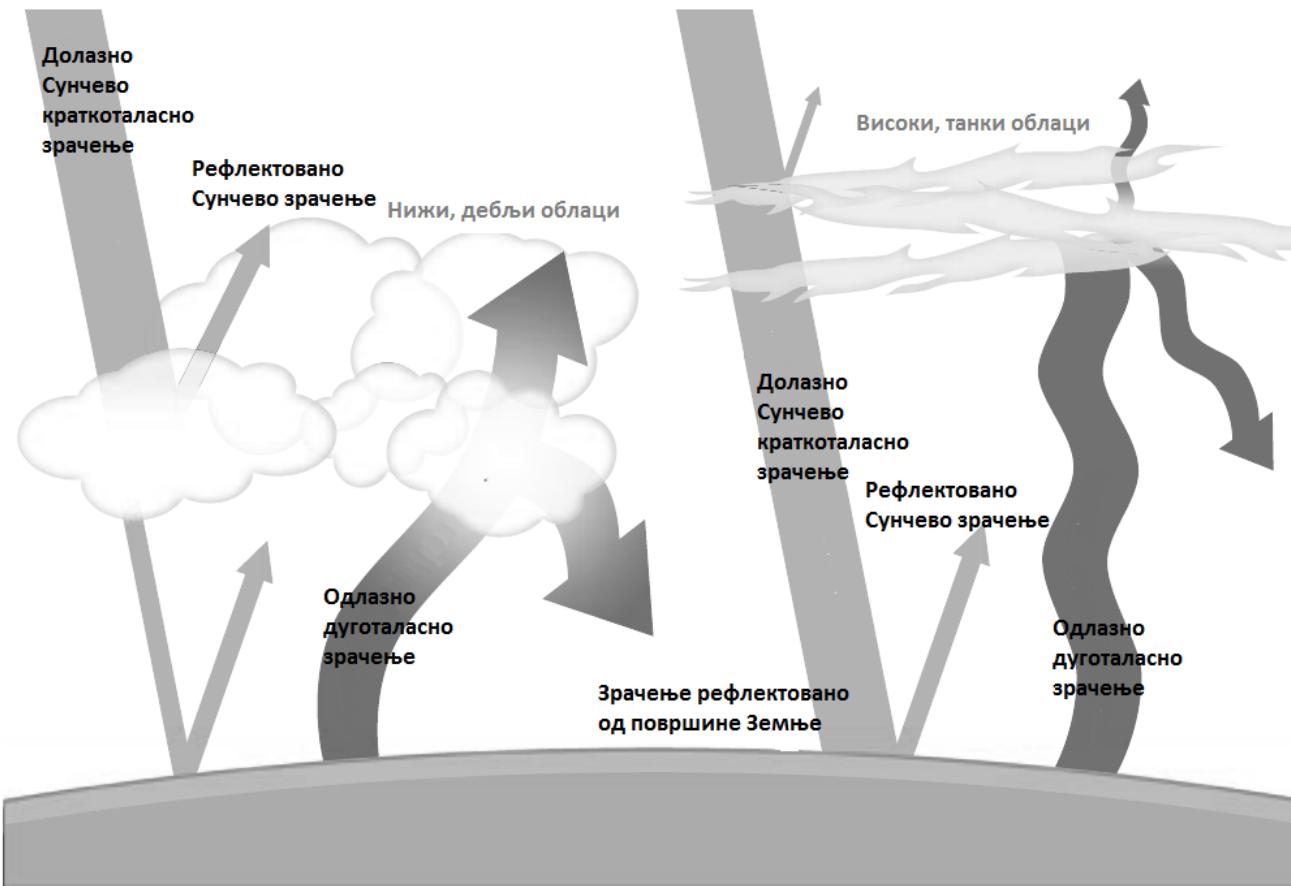
Албедо водених површина је у просеку мањи од албеда копнених. Зрачење продире много дубље у воду него у земљиште, па се у води додатно расејава и апсорбује. Међутим, албедо воденог басена повећане замућености може бити знатно већи од албеда басена испуњеног чистом водом. Просечна вредност албеда воде износи $0,08 - 0,10$ за дифузно зрачење, док за директно зрачење зависи од висине Сунца тако што се увећава при њеном смањењу. Албедо облака у просеку износи око $0,80$. На основу албеда могуће је израчунати количину краткоталасног зрачења које апсорбује подлога као $S_g(1 - A_p)$ [3].

2.9 Утицај облака на зрачење

Зрачење које дође на горњу границу атмосфере при проласку кроз њу бива расејано и, у мањем износу, апсорбовано од стране гасова и аеросола у атмосфери. Део зрачења бива рефлектован од стране површине Земље, а део са горње базе облака (који имају врло висок албедо). Рефлектовано зрачење се делом расејава и враћа на Земљу, а делом напушта атмосферу и одлази у свемир. Краткоталасно зрачење које доспе до површине и бива апсорбовано $S_g(1 - A_p)$ загрева површину на температуру T_g . Површина затим емитује зрачење према Штефан-Болцмановом закону на температури T_g . Емитовано зрачење се налази у дуготаласном делу спектра. Ово зрачење при проласку кроз атмосферу бива апсорбовано у много већој мери од краткоталасног, а главни апсорбери су атмосферски гасови као што су водена пара и угљен-диоксид. Након апсорпције ови гасови израчују део апсорбоване енергије. Овакав вид зрачења се назива противзрачење атмосфере. Противзрачење се одиграва у свим правцима, део напушта атмосферу, а део наставља да загрева атмосферу и површину Земље. Овај ефекат атмосферских гасова се назива *ефекат*

стаклене баште.

Битна особина атмосфере за енергетски биланс је присуство облака. Зависно од њихових карактеристика и висине, облаци утичу на различите начине (сл. 6). Могу да рефлектују значајан део долазног Сунчевог зрачења, тако да он не дође до површине Земље. Истовремено облаци апсорбују дуготаласно зрачење Земље тако да мањи део напушта атмосферу. Због тога се површински слој испод облака не хлади брзо, иако је долазно зрачење умањено. Колико ће ефикасно заустављати одлазеће зрачење са Земље зависи од висине облака. Облаци на већој висини емитују мање топлоте у свемир него идентични облаци на мањој висини. За утврђивање количине долазног Сунчевог зрачења која бива рефлектована назад у свемир, битнија је оптичка дебљина облака од његове висине [5].



Слика 6 Пример: Кумулуси (лево) имају значајан ефекат на смањење долазног краткоталасног зрачења и мали ефекат на одлазно, дуготаласно зрачење. Њихов укупан утицај за резултат има хлађење Земље. Цируси (десно) пропуштају велик део долазног краткоталасног зрачења и задржавају велик део дуготаласног одлазећег зрачења. Њихов укупан утицај за резултат има загревање Земље. Извор: [5]

3 Мере комплексности система

Најједноставније речено, систем се може назвати комплексним онда када се не понаша на начин који се може назвати једноставним. Једна од дефиниција речи „комплексно“ је: оно што се састоји од међусобно повезаних или испреплетених делова. Природа комплексног система се везује за његове делове, али познато је да постоје и једноставни системи који се састоје из више делова. Основна разлика између једноставних и комплексних система је у везама међу њиховим деловима. Да би се разумело понашање комплексног система потребно је разумети не само понашање његових делова, већ и начин на који они заједно формирају понашање целине. Управо због тога што не можемо описати целину без описивања сваког дела и зато што сваки део мора бити описан релацијама са осталим деловима, комплексни системи су проблематични за разумевање [6]. Систем је комплексан ако поседује следеће особине:

- самоорганизацију и јављање особина које појединачни делови система не покazuju
- нецентралну, дистрибутивну организацију са многим везама између његових делова
- тешко га је моделирати и предвидети чак и када су познати његови делови и њихове међусобне везе [7].

На количину глобалног зрачења, било да је израчуната или мерена, утичу вертикални профили притиска, густине молекула, аеросола, водене паре, озона и других гасова, геометријске и физичке особине облака, удео облака за сваки тип облака, албедо Земљине површине, дужина трајања Сунчевог сјаја и зенитни угао Сунца [4]. Пошто су многи од наведених елемената елементи времена, а самим тим су међусобно зависни на комплексан начин, можемо посматрати и глобално зрачење као комплексан систем.

Ради даљег изучавања природе комплексних система потребно је на неки начин квантifikovati њихову комплексност. Пronalажење најбољег начина за квантификацију је кључно за боље разумевање универзалних својстава тих система.

3.1 Колмогоровљева комплексност

Колмогоровљева комплексност (КС) је мера описне комплексности садржане у објекту. Колмогоровљева комплексност $K(x)$ од објекта x је дужина, у битима, најкраћег програма који, када се покрене на Универзалној Тјуринговој машини

(U), даје као излаз низ x . На основу ове идеје Лемпел и Зив су развили алгоритам (ЛЗА) који се најчешће користи при процени насумичности коначних низова као мера њихове неуређености. Колмогоровљева комплексност временске серије $\{x_i\}$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$ се рачуна путем ЛЗА. На основу почетног низа формира се нови низ $\{s_i\}$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$ који се састоји само од карактера 0 и 1 на следећи начин:

$$s(i) = \begin{cases} 0 & x_i < x_t \\ 1 & x_i \geq x_t \end{cases}. \quad (15)$$

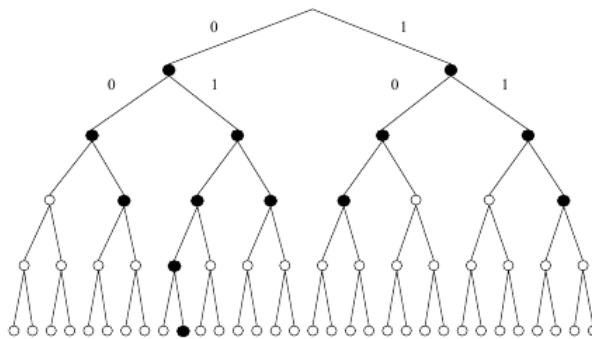
Праг x_t је вредност која треба да буде одабрана. Најчешће се користи средња вредност низа. Затим се формира бројач комплексности $c(N)$ дефинисан као минималан број различитих образца садржаних у датом низу карактера. ЛЗА дели низ на поднизове који раније нису регистровани. На тај начин формира кодове који омогућавају да се дугачки низови кодирају са малим индексима. Пример ЛЗА партиције следећег низа:

1011010010011010010011101001001100010

Партиција ће бити приказана увођењем запета сваки пут када се појави подниз који још није уочен. Резултати партиције су:

1, 0, 11, 01, 00, 10, 011, 010, 0100, 111, 01001, 001, 100, 010

Оваква партиција може бити представљена бинарним дрветом приказаним на слици 7.



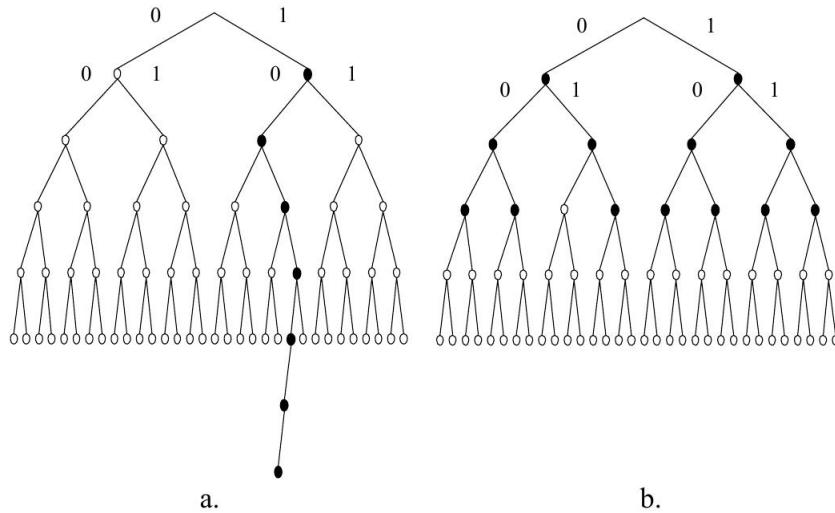
Слика 7 Бинарно дрво које представља партицију низа

1011010010011010010011101001001100010 путем ЛЗА. Извор: [9]

Црни чворови приказани на слици 7 су чворови који су садржани у ЛЗА партицији датог низа. Бели чворови су низови који нису садржани у ЛЗА партицији. Сваки чвор представља тачно једно појављивање низа, осим последњег који може

бити понављање претходно виђеног чвора. Комплексност низа је мала када је компресија низа велика, када ЛЗА партицију сачињава дугачко, раштркано дрво, док је комплексност велика када је компресија низа мала, дрво краће и са гушће попуњеним нивоима. Компресија је највећа ако су сви поднизови потомци исте гране, а највећа када су сви низови независне гране. Пример максималне и минималне компресије низа се види на слици 8 [9].

1,10,101,1011,10110,101100,1011000
1,0,10,11,01,00,100,101,110,111,000,001



Слика 8 ЛЗА партиција за а: врло компресибран низ и б: низ који није компресибран. Извор: [9]

Бројач комплексности $c(N)$ је функција дужине низа N . Вредност $c(N)$ се приближава максималној вредности $b(N)$ када се N приближава бесконачности.

$$c(N) = O(b(N)), \quad b(N) = \frac{N}{\log_2 N} \quad (16)$$

Овако добијена вредност се затим нормализује. Нормализована мера комплексности $C_k(N)$ дефинисана је следећом једначином:

$$C_k(N) = \frac{c(N)}{b(N)} = c(N) \frac{\log_2 N}{N}. \quad (17)$$

C_k представља квантификацију насумичности информација у временској серији. За периодичне или правилне временске серије C_k је 0, а за насумичне серије је 1, ако је N ово веће од неке критичне дужине, вредност C_k може бити значајно већа од 1. Показано је да се овакво рачунање комплексности може применити на низове дужине већ од 600 на даље [10].

На основу Колмогоровљеве комплексности предложене су нове величине за квантификациовање комплексности које су описане у наредним одељцима [2].

3.1.1 Спектар Колмогоровљеве комплексности

Временска серија чија се комплексност рачуна нормализује се тако да њени елементи леже у интервалу $[0, 1]$. Један од начина нормализовања серије представљен је следећом једначином:

$$x_i = 1 - \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}}. \quad (18)$$

Спектар Колмогоровљеве комплексности временске серије $\{x_i\}$ ће бити низ $\{c_i\}$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$ добијен применом ЛЗА N пута на временску серију, при чему су прагови $\{x_{t,i}\}$ сви елементи у $\{x_i\}$. Временска серија $\{x_i\}$ се преводи у N низова од 0 и 1, $\{S_i^{(k)}\}$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$, $k = 1, 2, 3, \dots, N$ који су дефинисани преко прагова $\{x_{t,k}\}$ на начин приказан изразом:

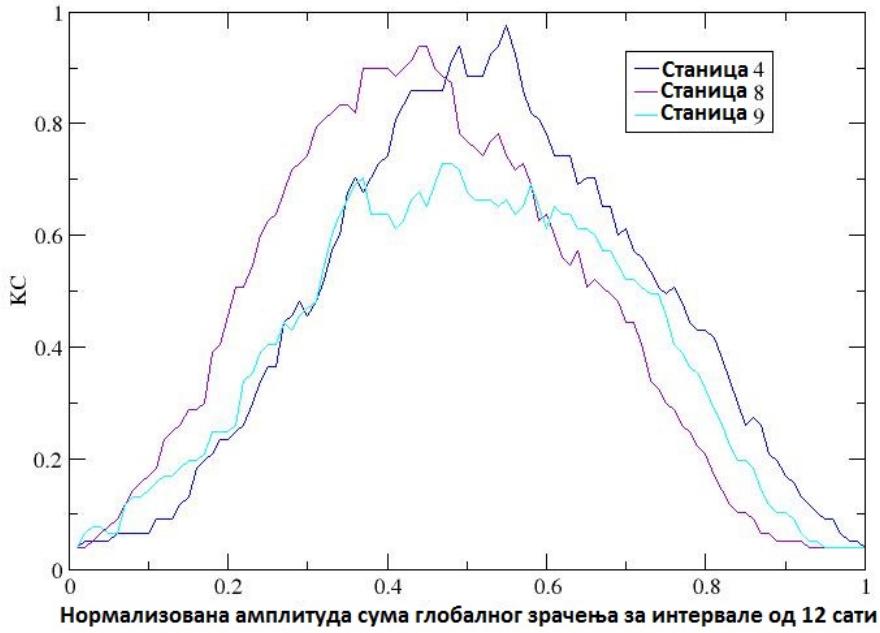
$$S_i^{(k)} = \begin{cases} 0 & x_i < x_{t,k} \\ 1 & x_i \geq x_{t,k} \end{cases}. \quad (19)$$

ЛЗА се затим примењује на свих k низова који су елементи $\{S_i^{(k)}\}$. На тај начин се добија спектар комплексности КС, $\{c_i\}$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$. Овако добијеним спектром могу се испитивати амплитуде у временској серији која представља одређен процес, за које се јавља највећа комплексност. Највећа вредност у спектру K_{max}^C се назива максимална вредност спектра Колмогоровљеве комплексности (Kolmogorov complexity maximum, KCM) $K_{max}^C = \max\{c_i\}$ [2].

У овом раду спектар КС је рачунат за прагове $x_t = k \times 0.01$, $k = 1, 2, 3, \dots, 100$. Пример КС спектра за податке са три различите станице је на слици 9. Подаци ће бити описани у одељку 5.

3.1.2 Свеукупна Колмогоровљева комплексност

КС и КСМ као мере комплексности не праве разлику између серија са различитим варијацијама амплитуда, а сличним компонентама на сумичности. Облик криве спектра Колмогоровљеве комплексности зависи од варијабилности амплитуда временске серије које не уочавају ни КС ни КСМ. У том смислу, спектар КС је начин да се квантификују варијације амплитуда и комплексност у исто време. Уводи се величина свеукупна Колмогоровљева комплексност (Overall Kolmogorov complexity, OKC) K_O^C која се дефинише на начин дат изразом:



Слика 9 Пример изгледа спектра КС за временске серије глобалног зрачења са три различите станице на Реиниону.

$$K_O^C = \int_X K_S^C dx . \quad (20)$$

при чему је K_S^C спектар КС комплексности, dx је диференцијал нормализоване амплитуде, а X је домен свих нормализованих амплитуда. Пошто је K_S^C низ $\{c_i\}$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$, ОКС се нумерички рачуна путем једначине:

$$K_O^C = c_1(x_2 - x_1) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} c_i(x_{i+1} - x_{i-1}) + c_N(x_N - x_{N-1}) . \quad (21)$$

ОКС узима вредности из интервала $(0, K_u)$, при чему K_u може узимати вредности до 1,2 [2]. Помоћу ОКС уочавамо разлику између низова који имају близке КС и КСМ.

3.2 Шенонова ентропија

Да би се квантификовала комплексност потребно је квантifikовати информацију, тј. пронаћи количину информација која је потребна за њен опис. Квантитативну теорију информација развио је Шенон да би описао проблем комуникације [6]. Он је предложио меру количине информације у расподели података и назвао

је ентропијом. Мера количине података је зависила од дужине самог низа података. Посматра се низ података X чије су вредности $x_i, i = 1, 2, 3, \dots, N$. Шенонова ентропија квантификује колико се информација добије када се осмотрити низ X . Вероватноћа да X има вредност x_i означена је са p_i и за њу важе услови:

$$0 \leq p_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^N p_i = 1. \quad (22)$$

Ентропија или неодређеност функције X је дефинисана на следећи начин:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i. \quad (23)$$

Овако дефинисана ентропија преводи насумичне променљиве у реалне бројеве. Особине овако дефинисане ентропије су:

- $H(X) > 0$ увек осим када је $p_i = 0$ за све исходе осим за један x_1 , тада је $H(X) = 0$
- за фиксно N максимална вредност $H(X)$ се добија када су све вероватноће p_i међусобно једнаке и износе $p_i = 1/N$, тада је $H(X) = \log_2 N$ [10].

Може се уочити да овако дефинисана ентропија не узима у обзир распоред података у низу, као ни амплитуде података.

У овом раду Шенонова ентропија је рачуната на основу вероватноће p_i да X има вредност унутар интервала $\{x_{min} + (i-1)p, x_{min} + ip\}$, $i = 1, 2, 3, \dots, 100$. Шрина интервала p одређена је на следећи начин: одређени су најмањи x_{min} и највећи x_{max} члан низа X , а затим је шрина израчуната као: $p = (x_{max} - x_{min})/100$.

3.3 Пермутациона ентропија

Пермутациона ентропија се заснива на поређењу величина суседних чланова временске серије. Она је уведена из практичне потребе за обрадом стварних сигнала у којима се углавном јавља шум који представља проблем за многе мере комплексности. За дату серију $\{x_i\}$ занемарују се једнаке вредности $x_{i^*} = x_i$, $i^* \neq i$ и разматрају се неједнакости између x_i . Оправданост оваквог приступа лежи у чињеници да су за континуалну дистрибуцију x_i , једнаке вредности врло ретке. Други начин за укидање једнаких величина је додавањем малих насумичних пертурбација. Ентропија се рачуна за различите вредности структурне димензије n која представља број суседних чланова који се посматрају. Препоручено је да се

користи $n = 3, \dots, 7$ [12]. У зависности од броја посматраних чланова n биће могуће уочити $n!$ пермутација π тих чланова. На пример за $n = 2$ постоје могућности $x_i < x_{i+1}$ и $x_i > x_{i+1}$, које можемо обележити са 01 и 10. Затим се преброје појављивања типова 01 и 10 у целој серији и дељењем са бројем посматраних структура унутар временске серије добија се вероватноћа њиховог појављивања након чега се рачуна ентропија. За сваку пермутацију π се одређује релативна фреквенција на начин дат изразом 24, која за одабрани ред n даје број структура са пермутацијом π у односу на укупан број структура.

$$p(\pi) = \frac{\#\{i \mid 1 \leq i \leq N-n, (x_{i+1}, \dots, x_{i+n}) \text{ је типа } \pi\}}{N-n+1} \quad (24)$$

Пермутациона ентропија за $n \geq 2$ се дефинише преко израза:

$$H(n) = - \sum p(\pi) \log_2 p(\pi). \quad (25)$$

Вредности ентропије налазе се у интервалу $0 \leq H(n) \leq \log_2(n!)$. На основу добrog слагања са Љапуновљевим експонентом утврђено је да ова мера прави разлику између периодичне, насумичне и хаотичне временске серије [12].

У овом раду, при рачунању пермутационе ентропије, коришћене су структурне димензије $n = 3, 4, 5, 6$.

3.4 Ентропија узорка

Ентропија узорка је уведена да би исправила недостатке апроксимативне ентропије. Апроксимативна ентропија мери вероватноћу да обрасци у временској серији који су слични остану слични и при поређењу у вишеј структурној димензији. Подаци са високим степеном регуларности имају малу вредност апроксимативне ентропије. Недостатак јој осетљивост на дужину низа и што за краће низове даје вредности мање од очекиваних [10]. Апроксимативна ентропија такође има и неконзистентне резултате. Ако један низ има већу вредност ентропије од другог, требало би да задржи већу вредност под било којим условима (променом параметара помоћу којих се ентропија рачуна), што није увек случај [13].

Испитује се комплексност система посматрајући промену образца унутар временске серије података и њихове динамике, у смислу условне вероватноће да два низа остану међусобно слична при промени структурне димензије n . За временску серију $x_i, i = 1, 2, 3, \dots, N$ која је мерена у једнаким временским интервалима, уз избор позитивног целог броја n , и позитивног реалног броја r , конструишу се поднизови $X_k^n, k = 1, 2, 3, \dots, N-n+1$, дефинисани као $X_i^n = (x_i, x_{i+1}, \dots, x_{N-n+1})$, $i = 1, 2, \dots, N-n+1$. Ако је j број случајева за које је X_i^n шаблон, а X_j^n подударан

шаблон и притом је растојање између поднизова мање од r , дефинише се функција која представља вероватноћу да се X_j^n нађе у распону r од X_i^n [13].

$$C_i^n(r) = \frac{\#d[X_i^n, X_j^n] \leq r}{N - n + 1} \quad (26)$$

Растојање између поднизова се дефинише путем израза:

$$d[X_i^n, X_j^n] = \max_{k \in [0, n-1]} |x_{i+k} - x_{j+k}| . \quad (27)$$

Функција $\Phi^n(r)$ је средња вредност логаритма функције $C_i^n(r)$

$$\Phi^n(r) = \frac{1}{N - n + 1} \sum_{i=1}^{N-n+1} \log_2 C_i^n(r) \quad (28)$$

путем које се рачуна Екман-Руелова ентропија:

$$ER = \lim_{r \rightarrow 0} \lim_{n \rightarrow \infty} \lim_{N \rightarrow \infty} [\Phi^n(r) - \Phi^{n+1}(r)] . \quad (29)$$

Овако дефинисана ентропија има бесконачну вредност за временске серије суперпонирани шумом, па је потребно направити апроксимацију за реалне податке, за одређену врсту параметра r који је обично у интервалу 10 – 20% стандардне дејвијације вредности података [10]. Овим се добија апроксимативна ентропија која мери вероватноћу да шаблони у временској серији који су слични, остану слични и када се пореде у вишеј структурној димензији n .

$$ApEn(n, r, N) = \Phi^n(r) - \Phi^{n+1}(r) \quad (30)$$

Ентропија узорка искључује подударање вектора шаблона и једини захтев је да подниз дужине n нађе сличан подниз дужине $n + 1$. За вектор X_i^n дефинише се B_i које представља број вектора j ($1 \leq j \leq N - n$), при чему је $j \neq i$ да би се искључило самоподударање, за које је растојање $d[X_i^n, X_j^n] \leq r$ [10]. Тада за i ($1 \leq i \leq N - n$) можемо дефинисати вероватноћу $B^n(r)$ да се две секвенце подударају за n тачака преко једначина:

$$B_i^n(r) = \frac{B_i}{N - n - 1} , \quad (31)$$

$$B^n(r) = \left\{ \sum_{i=1}^{N-n} B_i^n(r) \right\} / (N - n) . \quad (32)$$

На исти начин се дефинише и вероватноћа $A^n(r)$ да се секвенце X_i^{n+1} и X_j^{n+1} подударају за $n + 1$ тачака.

$$A^n(r) = \left\{ \sum_{i=1}^{N-n} A_i^n(r) \right\} / (N - n) \quad (33)$$

Коначан израз за ентропију узорка је:

$$SampEn(n, r, N) = -\ln \frac{A^n(r)}{B^n(r)}. \quad (34)$$

Овако дефинисана ентропија може да се израчунати увек када су $B^n(r) \neq 0$ и $A^n(r) \neq 0$, што значи да је услов да постоји бар једно подударање и да је условна вероватноћа различита од нуле. Најмања вредност условне вероватноће коју алгоритам може да израчуна је $2[(N - n - 1)(N - n)]^{-1}$, а горња граница вредности ентропије узорка је $\ln(N - n) + \ln(N - n - 1) - \ln 2$ [13]. Ентропија узорка као статистичка мера броји колико се секвенци у некој временској серији међусобно подудара.

У овом раду ентропија узорка је рачуната за $n = 3, 4, 5, 6$ и параметар r који је износио 20% стандардне девијације.

4 Особине циркулације ваздуха и предвидљивост зрачења на Реиниону

У овом поглављу биће описана општа циркулација атмосфере и утицај опште циркулације на циркулацију над острвом Реинион. Биће описане и особине предвидљивости зрачења на наведеном острву.

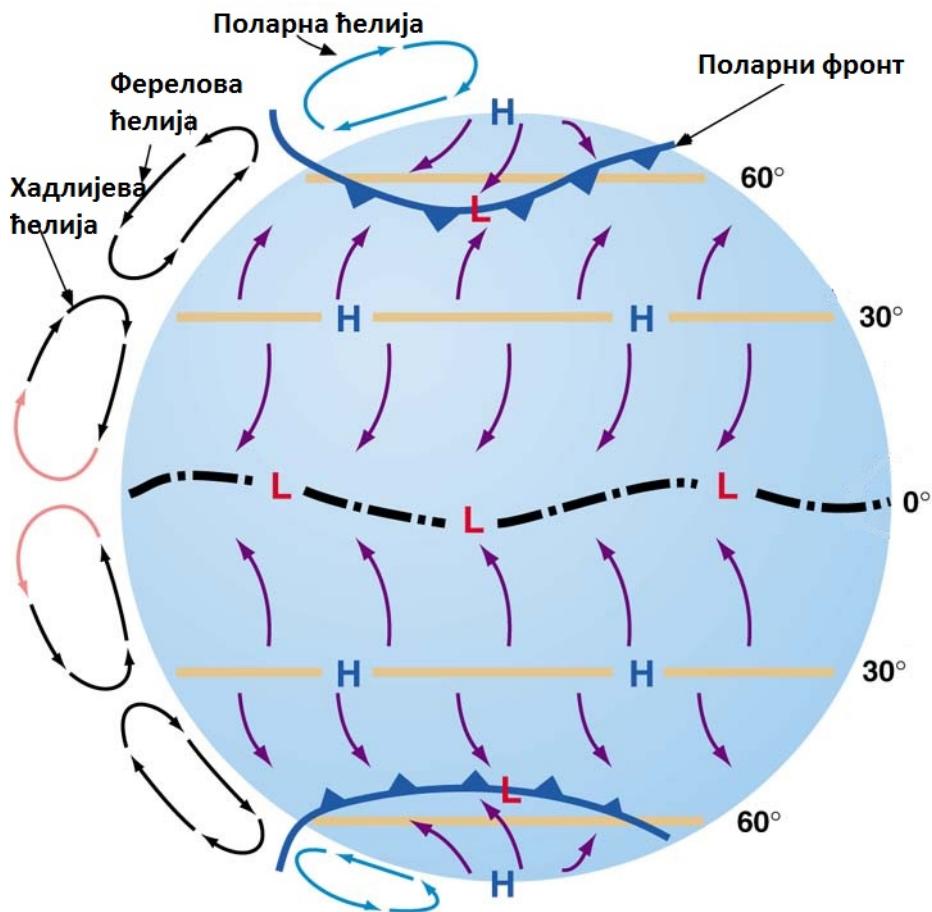
4.1 Општа циркулација атмосфере

Услед највећег загревања ваздух око екватора има највећи потисак. У исто време полови су најхладнији, а хладан ваздух око полова има тенденцију да тоне. У атмосфери ваздух који се уздиже је обично у вези са ниским притиском, док је ваздух који тоне у вези са високим притиском. Хадли је предложио модел у ком се ваздух који се уздиже на екватору транспортује у вишим слојевима тропосфере ка половима под утицајем силе градијента притиска. У исто време се у приземним слојевима одвија транспорт ваздуха у супротном смеру.

Стварна кретања ваздуха одступају од наведеног модела. Ваздух који се уздиже изнад екватора се не транспортује у потпуности до полова. Већи део ваздуха се охлади већ када доспе до географских ширина од око 30° и тоне. Тада ваздух тоне, а затим се шири формирајући притом суптропске антициклоне или суптропске појасеве високог притиска који се налазе на око 30° географске ширине на обе хемисфере Земље. Циркулација између екватора и 30° географске ширине је углавном конвективне природе, јер су вертикална кретања покренута искључиво топлотном енергијом. Конвективна ћелија ваздуха који се издига изнад екватора и спушта око 30° географске ширине назива се Хадлијева ћелија. По једна Хадлијева ћелија се налази у свакој хемисфери (сл. 10).

Близу полова ваздух је хладнији и веће густине што узрокује силазна кретања у атмосфери. Ваздух се шири кад дође до површине и путује ка нижим географским ширинама. На ширинама од око 60° овај ваздух конвергира са ваздухом који се шири од суптропских антициклона на 30° географске ширине. На 60° се ваздух уздиже и изазива низак ваздушни притисак (сл. 10). Ови циркулациони системи (по један на свакој хемисфери) се називају поларне ћелије.

Расподела површинског притиска приказана на слици 10 узрокује планетарни систем ветрова, такав да се маса преноси са места вишег на место нижег притиска. Ветрови који настају деловањем силе градијента притиска крећу се директно од области вишег ка области нижег притиска, а услед деловања Кориолисове сile скрећу у десно на северној, а у лево на јужној хемисфери. Површински ветрови

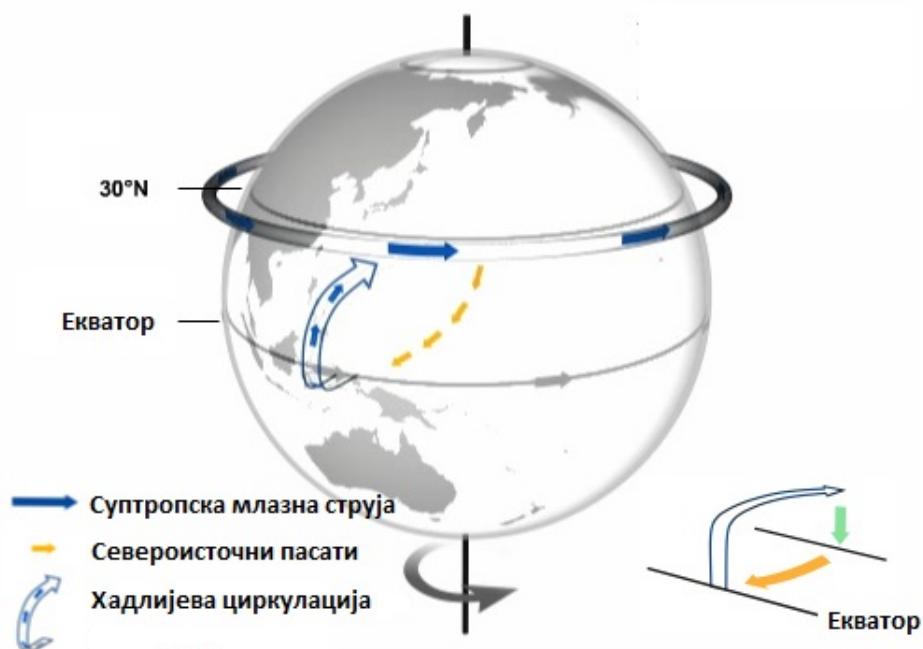


Слика 10 Појасеви притиска и ветра у троћелијском моделу опште циркулације. Н означава поља високог притиска (high - високо), а Л поља ниског притиска (low - ниско).

који дувају између екватора и 30° географске ширине називају се пасати или трговачки ветрови (јер су коришћени за трговачке пловидбе између Европе и Америке преко Северног Атлантика). Северни и јужни пасати конвергирају и стварају интертропску конвергентну зону (ИТКЗ). ИТКЗ је појас у ком на површини долази до конвергенције пасата са обе хемисфере и ваздух се уздиже. У овом појасу ветар углавном стагнира. На супротној страни суптропског појаса високог притиска (ка половима) сила градијента притиска на површини потискује ваздух из појаса високог притиска ка субполарном појасу ниског притиска. Овај ветар скреће у десно на северној, а у лево на јужној хемисфери под утицајем Кориолисове сile. Та сила има већи утицај у вишим географским ширинама, па се општа циркулација уз површину у ширинама између 30° и 60° креће од запада ка истоку и назива западни ветар умерених ширинама. На половима постоје силазна кретања ваздуха који потом дивергирају ка нижим ширинама уз површину. Ово кретање је такође

под утицајем Кориолисове сile и назива сe поларним источним ветровима.

Важан елемент опште циркулације су ветрови у вишим слојевима тропосфере. У вишим слојевима сила градијента притиска потискује ваздух у супротном смеру у односу на површински градијент у Хадлијевој и поларној ћелији. Услед деловања Кориолисове сile, резултујући ветрови су супротно усмерени у односу на приземне у тропском и поларном појасу. При кретању од екватора ка полу, Кориолисов параметар се повећава па висински ветрови Хадлијеве ћелије постају западни ветрови на границама Хадлијеве ћелије у свакој хемисфери. Ови ветрови су изузетно снажни и формирају суптропске млазне струје на око 30° географске ширине на ове хемисфере (сл. 11) [14].

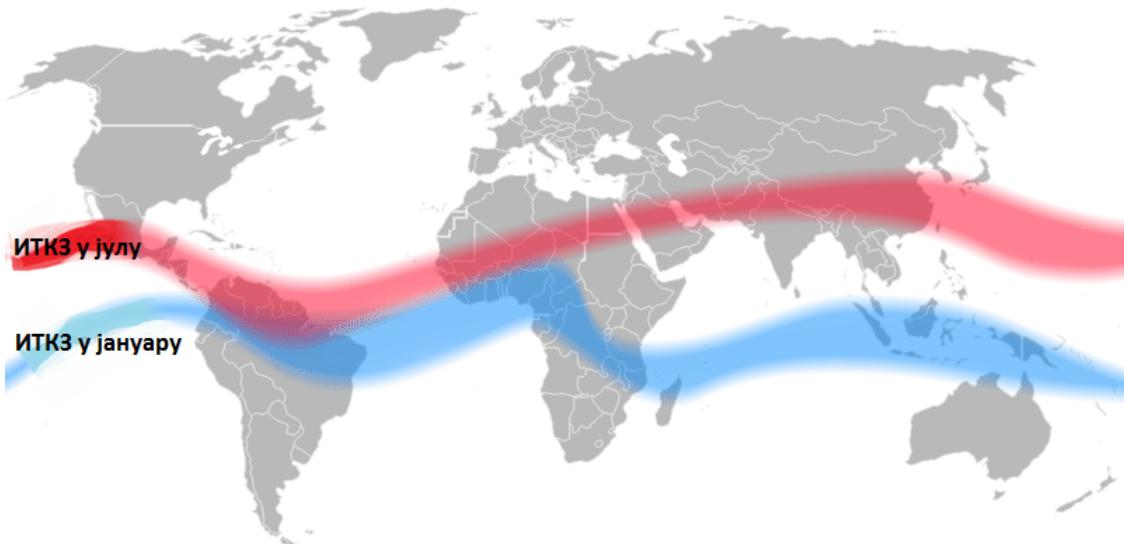


Слика 11 Приказ висинских ветрова тропског појаса и суптропске млазне струје.

4.1.1 Особине Хадлијеве ћелије - ИТКЗ, пасати и суптропски антициклони

ИТКЗ се може осмотрити као појас конвективних олуја који се константно помера пратећи током године географске ширине на којима је долазно Сунчево зрачење нормално на површину. На померања појаса највише утичу површинске температуре, тако да он константно касни за померањем Сунчевих зрака. ИТКЗ на већини места око екватора миграира у појасу од $10^{\circ}, 20^{\circ}$ географске ширине од

екватора. ИТКЗ се помера ка полу хемисфере на којој је летња сезона. Изнад океана, на местима куда тече хладна океанска струја ИТКЗ има незнатна помеђања (сл. 12). Заједно са сезонским помеђањима ИТКЗ помеђају се и пасати. Ови ветрови имају највећи дomet на север током лета на северној и на југ током лета на јужној хемисфери.



Слика 12 Приказ годишњег премештања ИТКЗ.

Суптропски антициклони се јављају изнад океанских басена у суптропском појасу високог притиска и већи су током лета него током зиме. Разлог за то је висок притисак на $30^{\circ}N$ и $30^{\circ}S$ појачан релативно хладним летњим условима (у поређењу са суседним копненим површинама). Релативно хладна површина океана хлади слој ваздуха изнад њега повећавајући стабилност атмосферске стратификације у низим слојевима. Тада је притисак у суптропским антициклонима највећи. Насупрот томе, када се суптропске копнене површине загревају током лета, то загревање доводи до узлазних кретања која спречавају формирање антициклона над копном током лета. Током зиме суптропски антициклони слабе јер је површина океана релативно топла у односу на копно на сличним ширинама. Тада изнад океана долази до узлазних кретања која слабе антициклоне, а притисак расте изнад копна. Суптропски антициклони миграју током године дуж географских ширина пратећи деклинацију Сунца и дуж географских дужина у зависности од положаја најхладније површинске воде (сл. 12) [14].

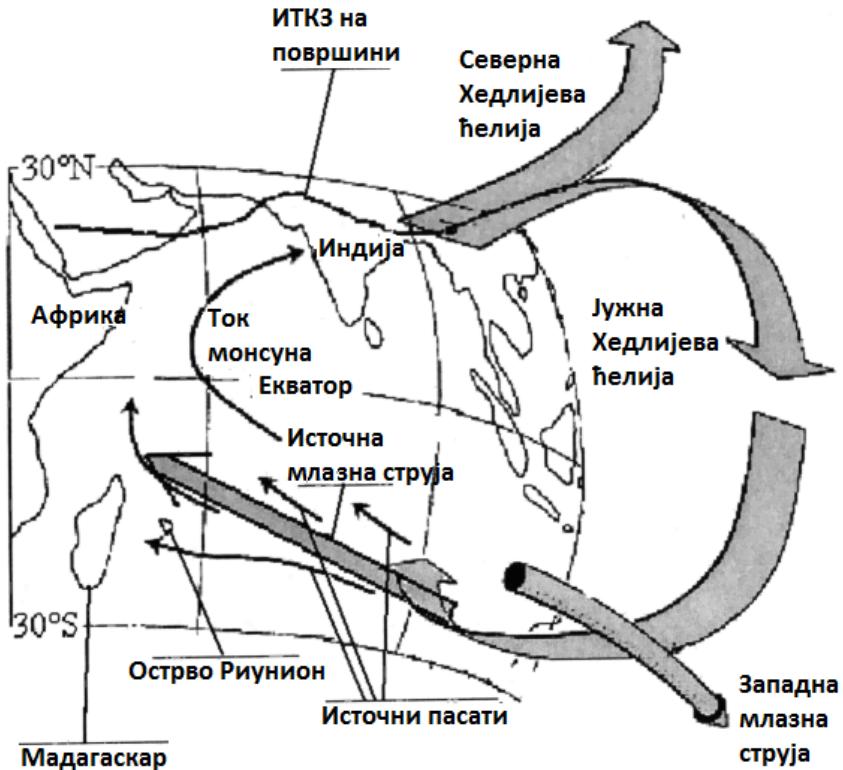
4.2 Општа циркулација ваздуха изнад Реиниона

Реинион је мало вулканско острво које се налази на 800 km удаљености од источне обале Мадагаскара, у југозападном Индијском океану ($55^{\circ}E - 21^{\circ}S$). Услед тропске локације острва, главни режим кретања ваздуха великих размера карактеришу силазна кретања великих размера (сл. 13). Временске прилике које преовлађују на острву су диктиране од стране тропских синоптичких (ИТКЗ и пасати) и орографских ефеката. Таква конфигурација доводи до сезонског контраста током године са заветreno-наветреним режимом дуж осе југоисток-северозапад [15].

Клима Реиниона је типична за тропски океан. Острво је током већег дела године под утицајем југоисточних-источних пасата. Ови ветрови преовлађују током целе године, с тим да јачају током зиме на јужној хемисфери (од маја до новембра). Острво је под утицајем високог ваздушног притиска, који делимично нестаје током лета на јужној хемисфери, када се ИТКЗ помера ка јужним географским ширинама. Са њом се помера и поље високог притиска, па силазна кретања слабе. Вертикални профил ветра има инверзију на висини тј. у нижим слојевима дувају источни ветрови, а у вишем западни. Инверзија се налази на око 4000 m надморске висине и представља особину пасата. Инверзија ветра се подудара са температурном инверзијом (услед синоптичке субсиденције која ограничава конвекцију на ниже слојеве ваздуха изнад океана) која се понаша као баријера за развој облака.

Реинион има комплексну топографију састављену од дубоких кањона, котлина, равница и гребена, са два главна масива којима доминирају два врха од 3070 m и 2632 m. Преовлађујући ток влажног ваздуха од пасата изнад комплексне топографије изазива велике просторне варијације локалног времена, од екстремно влажних и кишних услова на наветrenoј страни до далеко сувљих услова на заветrenoј страни. На заветrenoј страни острва су слабији ветрови који имају дневни циклус. Изазвани су температурном разликом између копна и мора и загревањем и хлађењем површине планина [16].

Велики топлотни капацитет воде чини промене површинске температуре током дана приближне нули. Насупрот томе, копно се изразито греје и хлади током дана. Због тога копно има вишу температуру од воде током дана, а нижу током ноћи. Ујутру се ваздух изнад копна загрева и уздиже, а замењује га хладнији ваздух који долази са водене површине. Тада ветар се назива морским поветарцем. Граница до које хладан ваздух продире у копно назива се фронтом морског поветарца. На фронту се бележи пад температуре, повећана влага и узлазна кретања. Повратни ток враћа топлији ваздух са копна на море где се он хлади, тоне и затвара цирку-



Слика 13 Метеоролошки услови који преовладавају током зиме на јужној хемисфери у Индијском океану. Извор:[18]

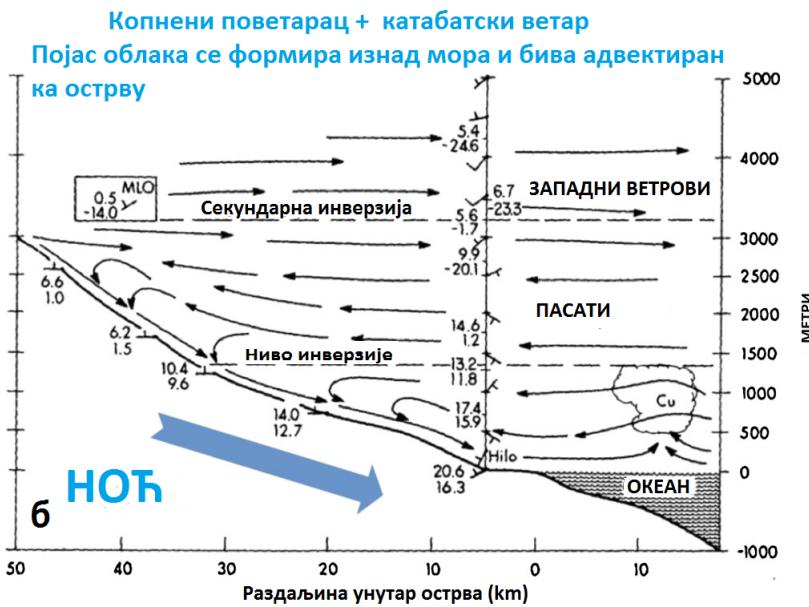
лацију. Током ноћи копно се хлади и температурни градијент је усмерен ка мору. Ствара се циркулација аналогна морском поветарцу али супротно усмерена. Тада ветар се назива копнени поветарац.

Загревање и хлађење планинских површина узрокује орографске ветрове: анабате и катабате. Анабатски и катабатски ветрови се јављају на падинама планина и имају дневни циклус. Анабатски ветар дува током дана када Сунчево загревање падина изазива узлазна кретања ваздуха уз падину. Ваздух се пење уз падину све до места где потисак постаје довољан да се топао ваздух одвоји од тла. Ту се уздиже и хлади и ствара се повратни ток на висини. Катабатски ветар се јавља током ноћи када се падине радијативно хладе, а са њима и ваздух у слоју уз површину. Охлађен ваздух се спушта низ падину, а у слоју изнад се јавља повратни ток ваздуха [17].

Већина конвективних облака који се локално формирају су резултат синоптичких ветрова, локалних ветрова и орографије. Локално формирање облака има изражен дневни циклус који је узрокован комбинацијом ефеката пасата и термалних ветрова (сл. 14). Током дана, загревање падина и разлика у загревању мора и копна резултују анабатским ветром и морским поветарцем који заједно стварају конвективне облаке.

рају струјање ка копну које потискује ваздух уз падину стварајући успут облаке. Повратни ток се ствара услед блокирајућег ефекта орографије и инвертованих виших слојева. Он носи високе облаке ка обали. Током ноћи катабатски ветар дува низ падину и рашчишћава орографске облаке над обалом. На заветrenoј страни острва термални ветар дува у смеру супротном пасатима и ствара зону конвергенције. Ова зона се налази неколико километара од обале, а карактерише је појас плитких кумулуса који бивају адвектовани ка острву рано ујутру кад термални ветрови ослабе [1].

С3



Слика 14 Локални процеси формирања облака. Извор:[1]

Присуство изолованих острва попут Реиниона ствара поремећај у унiformном позадинском току. Ток има „заобилазни“ режим око препреке из ког произилазе три динамичке зоне. На наветrenoј страни пасати успоравају и орографски облаци су врло чести. На заветrenoј страни нема директних ефеката пасата. Термални ветрови на обали преовладавају и доводе до формирања орографских облака. На обалама паралелним синоптичком правцу ветра, пасати су убрзани услед Вентуријевог ефекта и теже да одувају облаке [1].

Вертикални развој облака је ограничен слојем инверзије пасата изнад ког дувају много сувљи западни ветрови. Слој инверзије има изражен годишњи циклус са највишом инверзијом око равнодневница и најнижом око зимског солстиција. Када је слој инверзије издигнут, пасати су јачи, а облаци дебљи са већим хоризонталним размером и мањом шансом за продукцију падавина. Када је слој инверзије пасата нижи ситуација је обрнута. Пасати слабе, вертикални развој облака је блокиран између инверзије и планина, облаци постају гушћи и продукују локализовану кишу [1].

На основу наведеног, може се закључити да на дневну еволуцију облака (а са њом и дневне карактеристике Сунчевог зрачења) утичу локални брзина и смер ветра, који су форсирани од стране синоптичких услова, и влажност ваздуха [1].

4.3 Поузданост прогнозе Сунчевог зрачења за дан унапред

За потребе продукције електричне енергије путем соларних електрана битно је бити у могућности добро предвидети Сунчево зрачење. Проблем поузданости прогнозе Сунчевог зрачења на Реиниону испитивали су Бадоза и др. (2015) [1]. У том раду испитиван је утицај атмосферских параметара великих размера на локално Сунчево зрачење и његову варијабилност на дневној скали. Приказан је метод емпиријско-статистичког смањивања скале заснован на претходним сличним синоптичким стањима путем ког се врши једнодневна прогноза Сунчевог зрачења за Реинион да би се израчунала поузданост прогнозе.

Облаци узрокују највише варијабилности у Сунчевом зрачењу. Дневна еволуција облака на Реиниону је под утицајем локалних ветрова који се форсирају од стране синоптичког ветра и влажности ваздуха. Анализиран је утицај брзине и смера синоптичког ветра и релативне влажности ваздуха на варијабилност и вредности дневног Сунчевог зрачења. Коришћена су три параметра: дневно кумултивно соларно зрачење (daily-cumulated relative solar irradiation, DIR), јутарњо-вечерња асиметрија соларног зрачења (solar irradiance morning–afternoon asymmetry, TRC) и насумична варијабилност соларног зрачења (random variability of the solar

irradiance, RARC). Ти параметри дефинисани су на следећи начин:

$$DIR = \frac{\sum I_{meas}(t)}{\sum I_{clear}(t)} * 100 , \quad (35)$$

$$TRC = \sum_{t=10}^{16} (R(t+1) - R(t)) , \quad (36)$$

$$RARC = \sum_{t=10}^{16} |R(t+1) - R(t)| - |TRC| , \quad (37)$$

при чему је $R(t)$ дефинисано као једначина 38.

$$R(t) = \frac{I_{meas}(t)}{I_{clear}(t)} * 100 \quad (38)$$

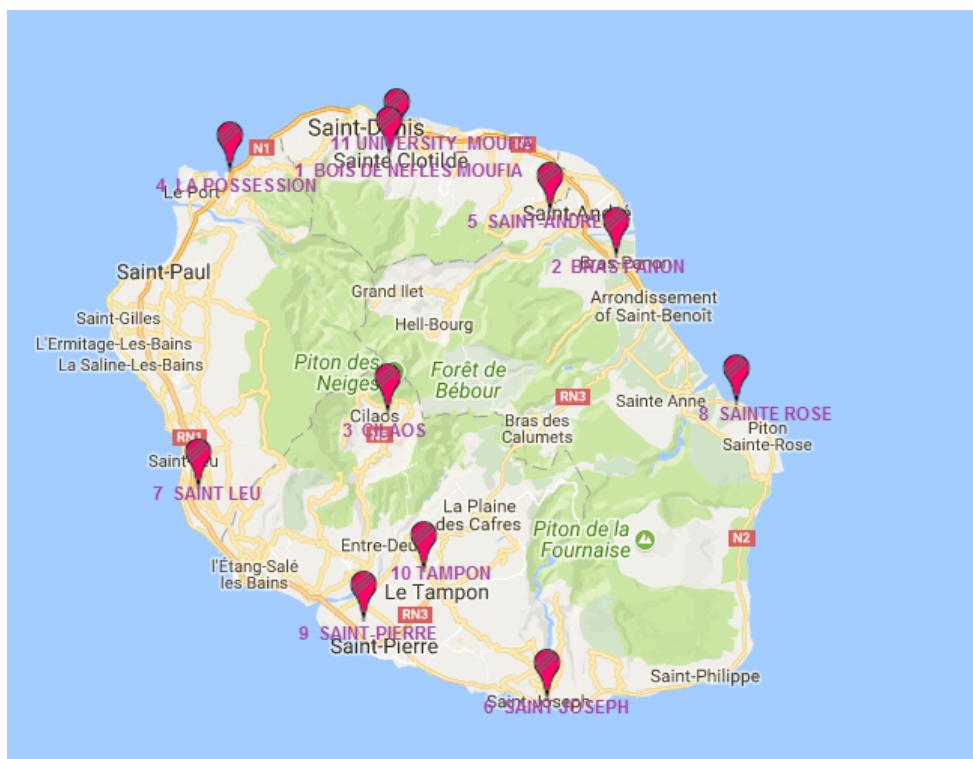
Испитивана је осетљивост наведених параметара на варијабилност брзине и смера синоптичког ветра и релативна влажност на 700hPa (RH_{700}). Разматрани су подаци из ECMWF-ових ERA-Interim реанализа заједно са сатним мерењима Сунчевог зрачења са приземних станица. Највеће вредности DIR-а усредњеног за све дане се налазе на северним и јужним станицама. Најниже вредности се налазе на источним станицама, ниже до умерене вредности налазе се на западној обали. Анализе су показале да су најпоузданје дневне прогнозе за вредности Сунчевог зрачења (оне које имају најмању стандардну девијацију) у вези са ведрим временом, тј. високим DIR параметром. DIR је највиши када је RH_{700} мала, а синоптички ветрови такви да доводе до снажних локалних ветрова. За приобална подручја, највећи DIR је добијен за синоптичке услове који доводе до јаког локалног ветра који дува паралелно са обалом. У складу са општим синоптичким источно-југоисточним смером ветра, места уз северну и јужну обалу имају највећи DIR. Насупрот томе, када ветар дува нормално на обалу, подстиче се формирање орографских облака, које има велику варијабилност, и осматрају се ниске вредности DIR-а. Ако је посматрано место на заветrenoј страни острва, термални ветрови владају локалном динамиком и орографски облаци се систематски формирају на падинама планина. Ови облаци се шире ка обали у послеподневним часовима. У овом случају место има средњи DIR и ниску до умерену RARC [1].

5 Опис мерења

Подаци коришћени у овом раду су мерени на Реиниону. Реинион ($55^{\circ}E - 21^{\circ}S$) је острво у Индијском океану површине 2511 km^2 са средњим пречником од око 60 km. На њему се налазе две вулканске планине висине преко 2500 m са великим платоом између њих на висини од 1500 m. Глобално зрачење је мерено на једанаест мерних станица користећи инструмент SPN1 Sunshine Pyranometer. Подаци су мерени у временским размацима од једног минута током годину дана, у периоду од 1.1. до 31.12.2014. године.

5.1 Мерне станице

Мрежа мерних станица је распоређена широм острва, са највећим бројем станица распоређених уз обалу (сл. 15). Подаци о положају станица налазе се у табели 1. Све станице имају релативно малу надморску висину. Највиша станица се налази на 580 m надморске висине (табела 1).



Слика 15 Мапа Реиниона и положај мерних станица.

P.6.	Име станице	Висина [m]	Географска дужина	Географска ширина
1	BOIS DE NEFLES MOUFIA	350	55.476445	-20.91731
2	BRAS PANON	100	55.682897	-21.002649
3	CILAOS	580	55.47416	-21.136158
4	LA POSSESSION	50	55.328967	-20.930611
5	SAINT-ANDRE	200	55.622433	-20.962797
6	SAINT JOSEPH	100	55.619688	-21.379077
7	SAINT LEU	200	55.302332	-21.200642
8	SAINTE ROSE	100	55.793136	-21.127324
9	SAINT-PIERRE	150	55.451069	-21.313922
10	TAMPON	400	55.50702	-21.269277
11	UNIVERSITY MOUFIA	100	55.483593	-20.90146

Табела 1 Просторни положај мерних станица

5.2 Мерни инструмент SPN1

За мерење зрачења коришћен је инструмент SPN1 Sunshine Pyranometer. Овај пиранометар мери глобално и дифузно зрачење у W m^{-2} , има праг за пријем директних зрака од 120 W m^{-2} , прерачунава директно нормално зрачење и даје статус осунчаности.



Слика 16 Пријем директног и дифузног зрачења на SPN1. Извор: [19]

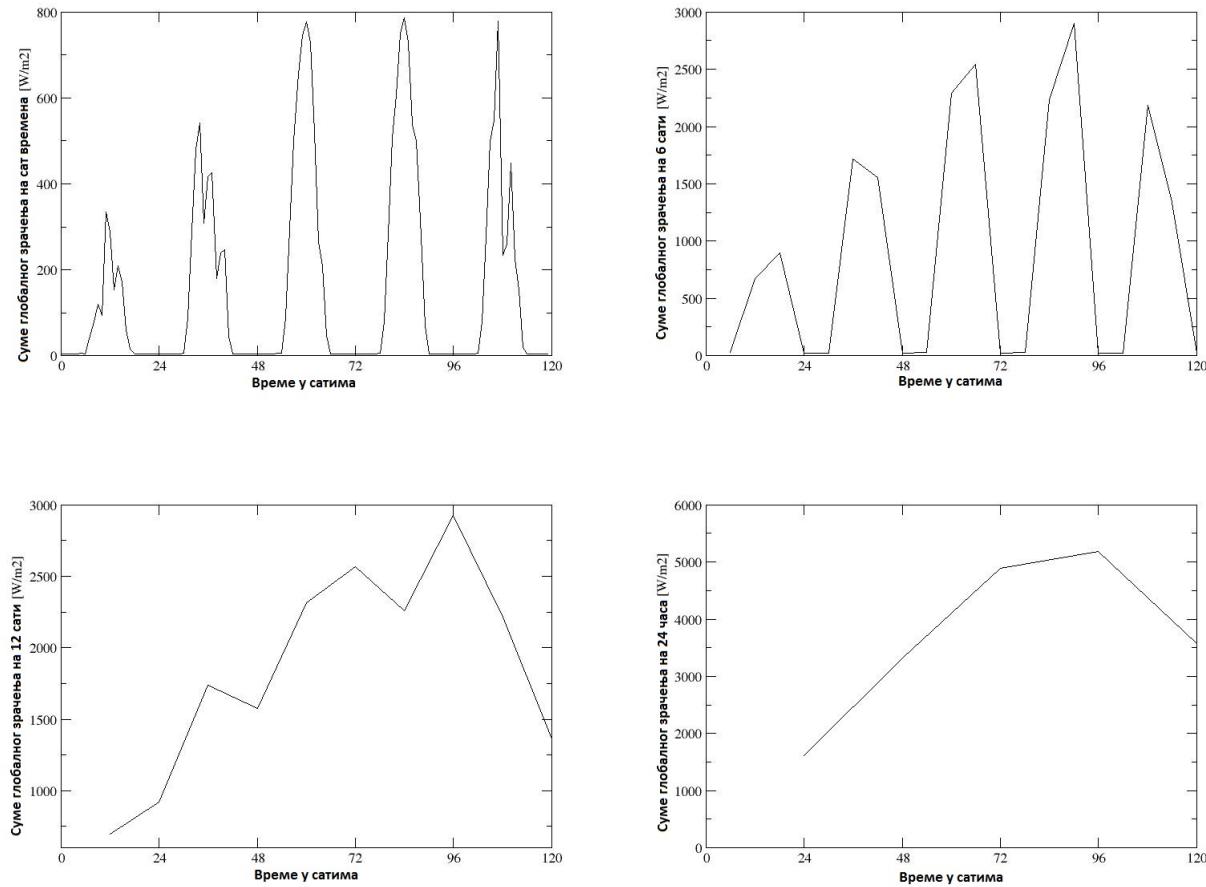
SPN1 је пиранометар за прецизно мерење соларног зрачења. Мери зрачење са таласном дужином између 400 nm и 2700 nm. Има округлу стаклену куполу и дизајниран је за дугорочко излагање спољашњим условима јер садржи унутрашњи грејач који одржава куполу чистом од влаге, снега и леда и до -20°C и тиме омогућава поуздана мерења и у неповољним климатским условима. Он користи низ од седам минијатурних термопилских сензора на хексагоналној мрежи покривених засенченом полулонгастом куполом. Дизајн сензора се уређује алгоритмом који

обезбеђује да је бар један сензор увек потпуно изложен Сунчевом зраку, бар један је потпуно засенчен у односу на директан зрак и сви сензори добијају једнаке износе дифузног зрачења са целог неба. Пиранометар рачуна директну компоненту одузимајући дифузно од глобалног зрачења [19].

6 Резултати и дискусија

Помоћу мера комплексности описаних у одељку 3 обрађивани су подаци о глобалном зрачењу са једанаест станица на Реиниону. Зрачење је мерено у интервалима од један минут током годину дана. Акценат је стављен на квантификацију комплексности путем КС, ОКС и КСМ. Потом су за исте податке израчунате вредности Шенонове, пермутационе ентропије и ентропије узорка.

Због периодичног дневног хода глобалног зрачења резултати КС, ОКС и КСМ који су добијени за минутне податке су били врло мали и одбачени су као нерепрезентативни. Изражена периодичност представља проблем алгоритму који рачуна Колмогоровљеву комплексност јер се при превођењу основног низа у низ од 0 и 1 добијају изузетно дуги низови састављени искључиво од 0 и 1, а тиме и мала комплексност, што не описује реалну ситуацију. Да би се то превазишло и добили репрезентативни резултати, зрачење је усредњено по часовним интервалима, а затим су часовне вредности зрачења сумиране по различитим временским интервалима у потрази за одговарајућим временским интервалом. При интервалима од 1 и 6 часова такође се јављао проблем изражене периодичности (сл. 17). Суме од 12 сати показују трагове дневне периодичности, први део дана има нешто веће вредности, али је на годишњем нивоу ова особина занемарљива. Дневне суме зрачења би биле идеалне јер дневна периодичност зрачења нема утицај на њих. Међутим, низ ових података је двоструко краћи од дванаестосатних и већа је шанса да релативно кратка дужина низа утиче на резултат. На основу таквог разматрања за овај рад су коришћене суме зрачења на 12 сати. Уколико су доступни дужи низови података, препоручљиво је користити суме зрачења на 24 часа.



Слика 17 Петодневни ход глобалног зрачења сумираног по интервалима од 1, 6, 12 и 24 часа, редом. Коришћени су подаци са станице 1.

На основу временског интервала на ком се посматра зрачење, могу се анализирати величине које утичу на комплексност. Минутне флуктуације зрачења су изазване различитим расејањем долазног зрачења тј. флуктуацијама на вертикалним профилима молекула и аеросола на којима се зрачење расејава. Већ при усредњавању зрачења у интервалима од један сат овај ефекат значајно слаби. При сумирању зрачења на дуже интервале на комплексност највише утичу процеси чије је трајање упоредиво са датим интервалом. Може се претпоставити да ће на суме зрачења од 12 и 24 часа утицати ветрови који путем транспорта масе мењају облик вертикалних профила молекула и аеросола и, у већој мери, облачност.

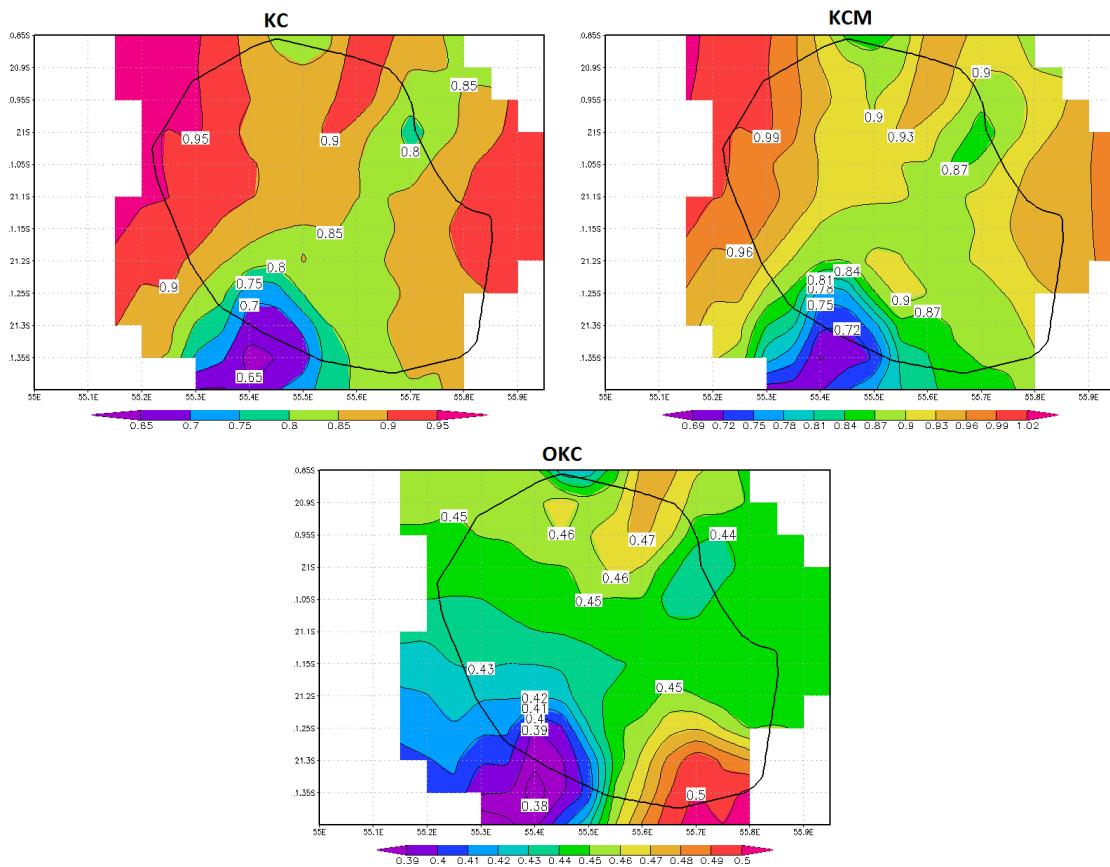
За рачунање вредности наведених величина коришћени су Fortran 90 програми. Вредности величина добијене за 11 станица су затим интерполисане у GrADS-у користећи Кресманову објективну анализу¹.

Вредности различитих мера за једну станицу нису значајна информација, јер је познато да глобално зрачење има комплексну природу. Информација од значаја и оно што је анализирано у овом раду је просторна расподела комплексности зрачења. Треба нагласити да, пошто је већина станица близу обале, интерполација је најверодостојнија у приобалном подручју. Такође, треба имати у виду да Реинион има комплексну орографију и да се вредности зрачења могу значајно разликовати у тачкама на релативно малом растојању. Интерполација дата на сликама 18, 19, 20 и 21 не даје податке о комплексности на свакој тачки острва, већ графички приказ добијених резултата, ради бољег анализирања.

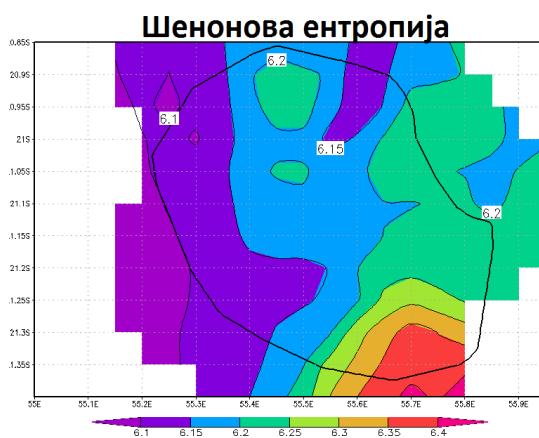
Запажа се да ОКС и Шенонова ентропија имају другачију просторну расподелу у односу на остале величине чија је расподела врло слична. Другачија расподела Шенонове ентропије може се објаснити тиме што је она једина од наведених величина која не узима у обзир поредак података. Шенонова ентропија рачуна вероватноћу расподеле излазних података из система, а не и поредак у ком ће ти подаци бити. Иако се очекује да вредности КС и Шенонове ентропије буду блиске за исту временску серију [11], ове вредности немају и сличну расподелу за реалне временске серије исте величине (сл. 18, 19), тј. блиских вредности комплексности. ОКС је мера интегралне насумичности која може бити различита за временске серије које имају исте КС и КСМ. У питању је информациона мера чије се основно значење и даље не разуме у потпуности и неће бити даље разматрано.

Може се видети да КС и КСМ имају ниже вредности на оси север-југ, благо нагнутој ка правцу северозапад-југоисток. Овакво просторно раздвајање се јавља и при рачунању пермутационе ентропије за $n = 4, 5, 6$ (сл. 20) и ентропије узорка

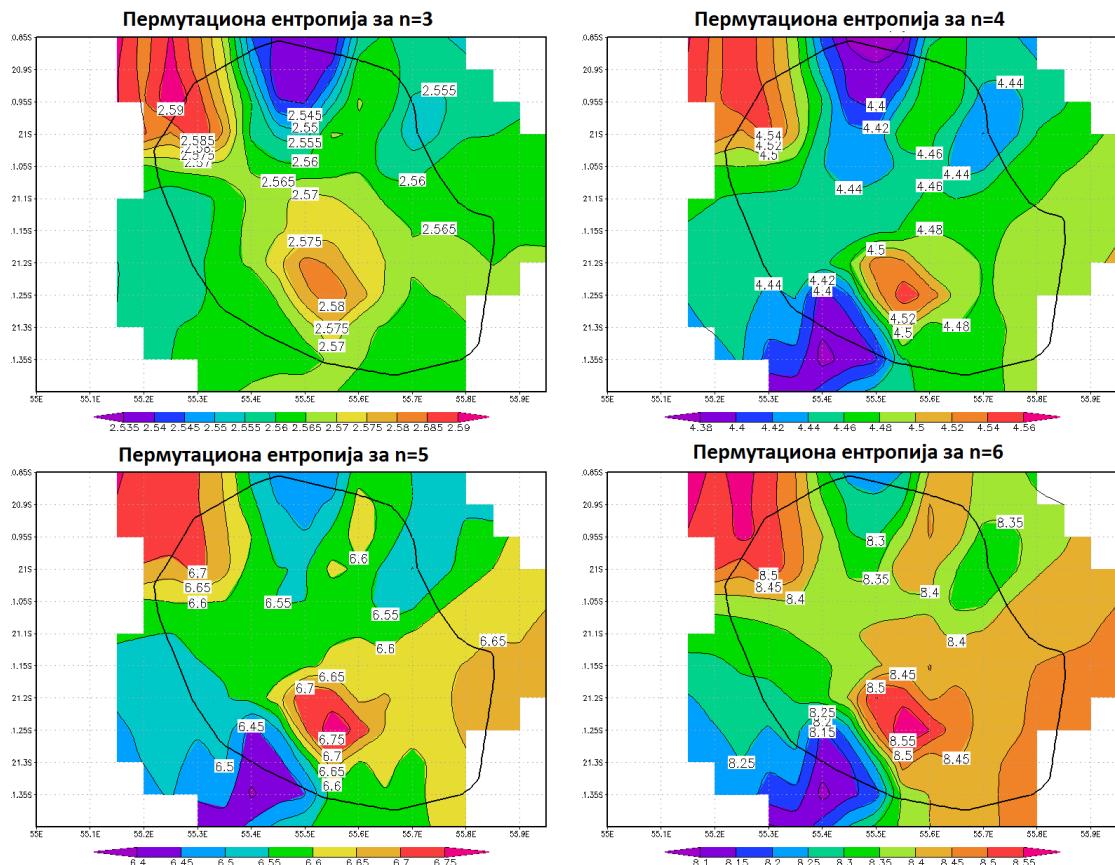
¹Више информација на <http://cola.gmu.edu/grads/gadoc/gradfuncoacres.html>



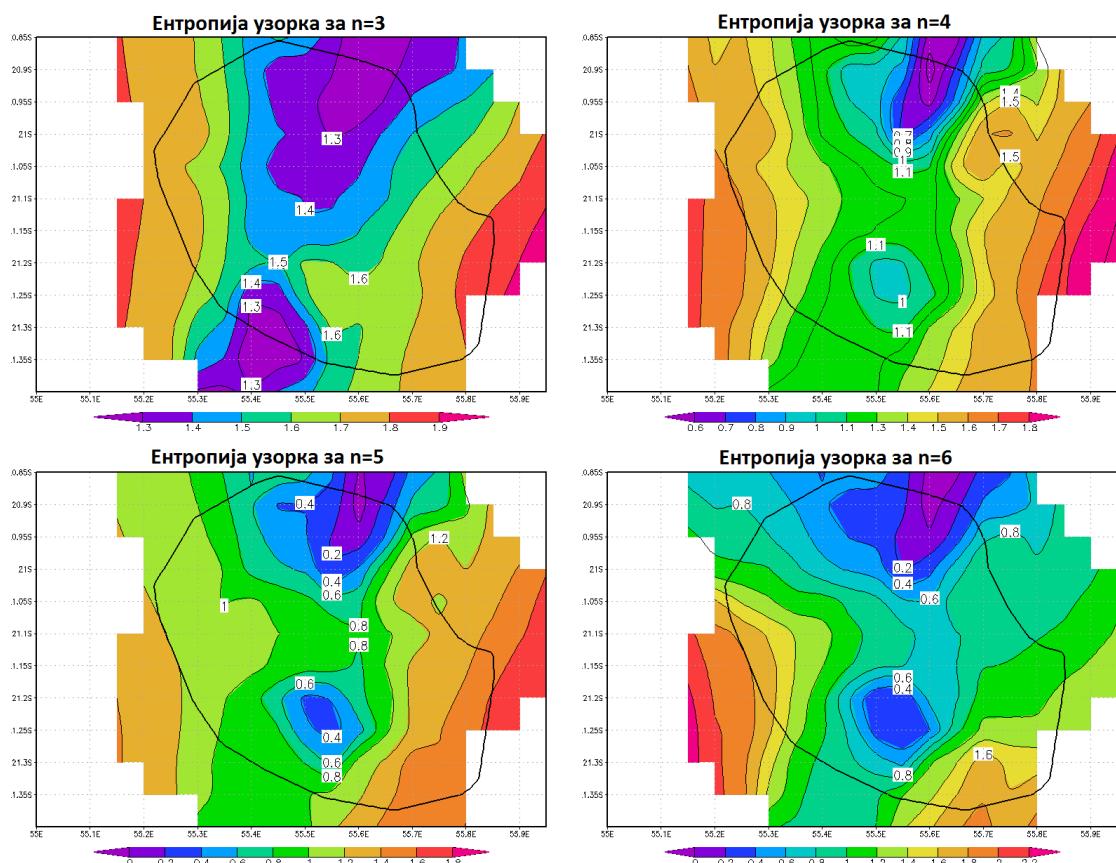
Слика 18 Просторна расподела КС, КСМ и ОКС изнад Реиниона. Затворена линија представља контуру острва.



Слика 19 Просторна расподела Шенонове ентропије изнад Реиниона. Затворена линија представља контуру острва.



Слика 20 Просторна расподела пермутационе ентропије изнад Реуниона.
Затворена линија представља контуру острва.



Слика 21 Просторна расподела ентропије узорка изнад Реуниона. Затворена линија представља контуру острва.

за $n = 3, 4, 5$ (сл. 21). Области са различитим понашањем комплексности се подударају са областима са различитим циркулацијама ваздуха описаним у поглављу 4. Највише вредности су са источне стране, која је изложена пасатима, и западне која је заветрена. На основу разматране климе острва може се закључити да већа облачност води до веће комплексности зрачења. То се може протумачити на следећи начин: ако величина која има мању комплексност има бољу предвидљивост, а облачност као елемент времена је по себи комплексна променљива, онда се може очекивати да се боље може предвидети интензитет зрачења на месту ниже облачности.

7 Закључак

Тропска острва, попут Реиниона имају велики потенцијал за производњу соларне енергије. Прогноза Сунчевог зрачења је неопходна да би се управљало соларним електранама. Колико ће бити добра прогноза зависи од предвидљивости зрачења на одређеном месту. Коришћено је неколико мера комплексности (КС, КСМ, ОКС, Шенонова, пермутациона ентропија и ентропија узорка) за анализу годишњих временских серија глобалног зрачења. Закључено је да КС, КСМ, ентропија узорка и пермутациона ентропија дају резултате који се подударају са резултатима о поузданости прогнозе интензитета зрачења [1]. Северна и јужна страна острва имају мању комплексност (већу поузданост прогнозе), а источна и западна већу комплексност (мању поузданост прогнозе). Треба напоменути да су у овом раду подаци обрађивани без разматрања природе њиховог порекла тј. коришћене су искључиво временске серије, а добијена просторна расподела предвидљивости се подудара са оном која је добијена анализирајући природу података и њихове везе са другим подацима (синоптички ветар и RH_{700}). Тиме је отварена могућност једноставније анализе података, у којој би се различити сетови података са различитим променљивима могли обрађивати помоћу истог поступка. Информација која се налази у самој временској серији може бити извучена и коришћена без улажења у природу система и порекло његове комплексности.

Литература

- [1] BADOSA, Jordi, et al. Reliability of day-ahead solar irradiance forecasts on Reunion Island depending on synoptic wind and humidity conditions. *Solar energy*, 2015, 115: 306-321.
- [2] MIHAILOVIĆ, Dragutin T., et al. Novel measures based on the Kolmogorov complexity for use in complex system behavior studies and time series analysis. *Open Physics*, 2015, 13.1.
- [3] МИХАИЛОВИЋ, Драгутин Т. *Метеорологија*. Пољопривредни факултет, 2017.
- [4] LIOU, Kuo-Nan. *An introduction to atmospheric radiation*. Academic press, 2002.
- [5] FACTS, N. A. S. A. The balance of power in the earth-sun system. NASA Publication Number: FS-2005-9-074-GSFC, 2005.
- [6] BAR-YAM, Yaneer. *Dynamics of complex systems*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1997.
- [7] EDMONDS, Bruce. What is Complexity?-The philosophy of complexity per se with application to some examples in evolution. In: *The evolution of complexity*. Kluwer, Dordrecht, 1995.
- [8] MING, Li; VITÁNYI, Paul. *An introduction to Kolmogorov complexity and its applications*. Heidelberg: Springer, 1997.
- [9] EVANS, Scott C.; HERSEY, John E.; SAULNIER, Gary. Kolmogorov complexity estimation and analysis. In: *Sixth World Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*. 2002.
- [10] MIMIĆ, Gordan. *Nelinearna dinamička analiza fizičkih procesa u životnoj sredini*. 2016.
- [11] GRUNWALD, Peter; VITÁNYI, Paul. Shannon information and Kolmogorov complexity. *arXiv preprint cs/0410002*, 2004.
- [12] BANDT, Christoph; POMPE, Bernd. Permutation entropy: a natural complexity measure for time series. *Physical review letters*, 2002, 88.17: 174102.
- [13] RICHMAN, Joshua S.; MOORMAN, J. Randall. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 2000, 278.6: H2039-H2049.

- [14] ROHLI, Robert V.; VEGA, Anthony J. *Climatology*. Jones & Bartlett Learning, 2017.
- [15] BESSAFI, Miloud, et al. A method for mapping monthly solar irradiation over complex areas of topography: réunion island's case study. In: *Climate-Smart Technologies*. Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 295-306.
- [16] LESOUËF, Dorothée, et al. Numerical simulations of local circulations and pollution transport over Reunion Island. In: *Annales Geophysicae*. Copernicus GmbH, 2011. p. 53.
- [17] STULL, Roland B. *An introduction to boundary layer meteorology*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [18] TAUPIN, F. G., et al. Tropospheric ozone above the southwestern Indian Ocean is strongly linked to dynamical conditions prevailing in the tropics. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1999, 104.D7: 8057-8066.
- [19] WEBB Nick. SPN1 Technical Fact Sheet. Delta-T Devices Ltd. 2014. Version: 1.2d.

Биографија

Сара Марковић, рођена 30. јануара 1993. године у Новом Саду где је завршила Основну школу „Јожеф Атила“ и природно математички смер Гимназије „Јован Јовановић Змај“. Године 2012. уписује Природно-математички факултет у Новом Саду, смер физичар-метеоролог. Основне студије завршила је у септембру 2016. и исте године уписала Мастер студије на истом Факултету, исти смер. Положила је све испите предвиђене планом и програмом завршно са јуном 2017. године и тиме стекла услов да приступи изради и одбрани овог рада. Током студија била је учесник више фестивала и промоција физике и метеорологије као науке. Добитник је стипендија Министарства просвете и Фондације „Привредник“.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број

РБР

Идентификацијски број

ИБР

Тип документације

Монографска документација

ТД

Тип записа

Текстуални штампани материјал

ТЗ

Врста рада

Мастер рад

ВР

Аутор:

Сара Марковић

АУ

Ментор:

Драгутин Т. Михаиловић

МН

Наслов рада:

Анализа комплексности временских серија глобалног зрачења за мерне станице на Реиниону (Француска)

НР

српски (Ћирилица)

ЈП

Језик извода:

српски/енглески

ЈИ

Земља публиковања:

Република Србија

ЗП

Ујесе географско подручје: Војводина

УГП

Година:

2017

ГО

Издавач:

Ауторски репримт

ИЗ

<i>Место и адреса:</i>	Природно-математички факултет, Трг Доситеја Обрадовића 4, Нови Сад
МА	7 поглавља/48 страница/19 референци/ 1 табела/21 слика
<i>Физички опис рада:</i>	
ФО	
<i>Научна област:</i>	Физика
НО	
<i>Научна дисциплина:</i>	Метеорологија
НД	
<i>Предметна одредница/</i>	
<i>Кључне речи:</i>	комплексност временских серија глобалног зрачења, Реинион (Француска), мере комплексности временских серија, Колмогоровљева комплексност, Шенонова ентропија, пермутациона ентропија, ентропија узорка
ПО	
УДК	
<i>Чува се:</i>	Библиотека департмана за физику,
ЧУ	ПМФ-а у Новом Саду
<i>Важна напомена:</i>	нема
ВН	
<i>Извод:</i>	У овом раду испитивана је комплексност временских серија глобалног зрачења на тропском острву Реинион. За квантификацију комплексности коришћене су Колмогоровљева комплексност и нове величине изведене из ње: максимална Колмогоровљева комплексност и свеукупна Колмогоровљева комплексност; Шенонова ентропија, пермутациона ентропија и ентропија узорка. Ове величине су израчунате за дванаесточасовне суме глобалног зрачења за временске серије од годину дана. Просторна расподела комплексности је анализирана у односу на општу циркулацију ваздуха над острвом и поузданост прогнозе зрачења на датом месту. Закључено је да је комплексност глобалног зрачења за дванаесточасовне суме зрачења блиско повезана са режимом ветра и облачности на датом месту, као и да су величине: Колмогоровљева комплексност, максимална Колмогоровљева комплексност, ентропија узорка и пермутациона ентропија одговарајуће мере за испитивање просторне расподеле комплексности.
ИЗ	

Датум прихватања теме од НН већа: 16.05.2017.

ДП

Датум одбране: 06.09.2017.

ДО

Чланови комисије:

КО

Председник: др Илија Арсенић, ванредни професор
Пољопривредног факултета у Новом Саду

члан: др Драгутин Т. Михаиловић, редовни
професор Пољопривредног факултета у
Новом Саду

члан: др Петар Мали, доцент на Департману за
физику Природно-математичког факултета
у Новом Саду

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS
KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type: Monograph publication

DT

Type of record: Textual printed material

TR

Content code: MSc thesis

CC

Author: Sara Marković

AU

Mentor/comentor: Prof. Dr. Dragutin T. Mihailović

MN

Title: Complexity analysis of the global radiation time series from measuring stations at Reunion (France)

Language of text: Serbian (Cyrillic)

LT

Language of abstract: English

LA

Country of publication: Serbia

CP

Locality of publication: Vojvodina

LP

Publication year: 2017

PY

Publisher: Author's reprint

PU

<i>Publication place:</i>	Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja
PP	Obradovića 4, Novi Sad
<i>Physical description:</i>	7 chapters/48 pages/19 literature/1 table/21 pictures
PD	
<i>Scientific field:</i>	Physics
SF	
<i>Scientific discipline:</i>	Meteorology
SD	
<i>Subject/ Key words:</i>	complexity of the global radiation time series, Reunion (France), complexity measures of the time series, Kolmogorov complexity, Shannon entropy, permutation entropy, sample entropy
SKW	
UC	
<i>Holding data:</i>	Library of Department of Physics, Trg Dositeja
HD	Obradovića 4
<i>Note:</i>	none
N	
<i>Abstract:</i>	Complexity of the global radiation time series, measured at tropical island Reunion, was analysed in this thesis.
AB	Measures used for quantification of complexity are Kolmogorov complexity and novel measures derived from it: maximum Kolmogorov complexity and overall Kolmogorov complexity; Shannon entropy, permutation entropy and sample entropy. These measures are applied at twelve-hour sums of global radiation time series that were recorded for one year. Spatial distribution of complexity was analysed with respect to general circulation of the atmosphere at the island and reliability of solar radiation forecast. It was concluded that complexity of the twelve-hour sums of global radiation time series is closely linked to wind and cloud regime at the given space, and that measures: Kolmogorov complexity, maximum Kolmogorov complexity, permutation entropy and sample entropy are convenient for spatial complexity analysis.

Accepted by the Scientific Board: 16.05.2017.

ASB

Defended on: 06.09.2017.

DE

Thesis defend board:

DB

President: Ph.D Ilija Arsenić, associate professor at
Faculty of Agriculture in Novi Sad

Member: Ph.D Dragutin T. Mihailović, full professor at
Faculty of Agriculture in Novi Sad

Member: Ph.D Petar Mali, assistant professor
at the Department of Physics, Faculty of Science
in of Novi Sad