

**Жарко М. Сивановић, Никола С. Мирков\*,  
Жана Ж. Сивановић, Борислав Д. Грубор**

Лабораторија за термотехнику и енергетику,  
Институт за нуклеарне науке „Винча”, Универзитет у Београду, Београд, Србија

## **Одржива изградња ветроелектрана у региону Источне Србије**

Оригинални научни рад

*Примена резултата истраживања потенцијала ветра у Србији била је неизвесна с обзиром на ограничења у Закону о енергетици. Промене одговарајућих клаузула кроз измену поменутог Закона, и регулативно увођење система повлашћеног произвођача електричне енергије, те пратеће Уредбе о мерама подстицаја за повлашћене произвођаче енергије, створили су реалне законске оквире да дође и до изградње ветроелектрана у Србији. Како су током реализације пројеката на тему ветра у Лабораторији за термотехнику и енергетику Института за нуклеарне науке „Винча” уложена значајна финансијска средства за набавку најреферентнијих софтверских алатки, одговарајућих база података и метео-стања, истраживачи из ове институције су стекли неопходна искуства и рутине да се баве проблематиком ветра на високом и комплексном нивоу, што је и потврђено системом у Wind Energy International, World Wind Energy Association, 2009/2010 (ISBN 987-3-940683-01-4). С друге стране, учествовали контакти који су уследили од иностраних инвеститора и изражених жеља локалних самоуправа у околиштинама Источне Србије, те заинтересованих приватних компанија и државних институција, наметнули су жељу и додатно мотивисали истраживаче да и даље раде на овој теми, али сада на једној платформи која покрива целокупну проблематику изградње ветроелектрана. Овај рад садржи део излазних резултата истраживања о могућој одрживој изградњи ветроелектрана у региону Источне Србије на бази главних карактеристика метеорологије ветра у овом региону.*

Кључне речи: Источна Србија, одржива изградња  
ветроелектрана, метеорологија ветра

### **Глобалне климатолошке карактеристике у Европи**

Уопштено, може се рећи да временске прилике зависе од опште дистрибуције атмосферског притиска. У Европи, глобална дистрибуција атмосферског притиска условљена је интензитетом и положајем квази-стационарних вртложних структура: Азорског и Сибирског антициклона (максимума) и Исландског циклона (мини-

\* Одговорни аутор; електронска адреса: nmirkov@vinca.rs

муна депресије). Такође, интензивна нестационарна циклогенеза која долази са Атлантика или се формира на Медитерану, ближе одређује климатологију у појединим регионима Европе који се карактеришу различитим рељефом.

Азорски максимум (*Azores High*), познат и као Азорски антициклон је квази-стационарна антициклонска област са релативно конзистентним високим притиском и вертикалним кретањем ваздуха према Земљи над Атлантиком, у подручју око 30° N током зиме (јужно од Азорских острва). Азорски максимум је део субтропског појаса антициклона на северној хемисфери и толико је важан да се понекад назива „центром акције” у глобалном климатолошком систему (слично називу „сестре” које чине Бермудски и Калифорнијски максимуми). Притисак у центру овог антициклона је реда величине 1024 mbar, при чему ова вредности више варира током зиме.

Кретање овог система током лета према северу има главни утицај на климу у Европи. Лети, центар високог притиска се помера према 35° N дуж Пиринејског полуострва и планинских гребена кроз Француску, северну Немачку, па чак до југоисточних делова Велике Британије. Ова ситуација је типична за средину и крај лета када се јављају топли таласи са високом температуром (30° C и више) и дугим сувим временом. Током лета, Балкан се налази на периферији ове простране антициклонске циркулације са северног Атлантика.

Сибирски максимум (*Siberian High*), познат и као Руско-Сибирски антициклон је вртложна маса хладног и сувог ваздуха која се акумулира над северном Европом и Азијом. Овај антициклон достиже највећу величину и снагу током зиме када се температура у центру спушта испод 40° C, а централни притисак достиже вредност од 1040 mbar. Сибирски максимум је најјачи квази-стационарни антициклон на северној хемисфери са највећим утицајем на најниже температуре које се јављају на северној хемисфери.

Сибирски максимум утиче на временску слику на већим географским ширинама северне хемисфере. Он може да блокира или редукује величину циклонских депресија и да генерише време на широком подручју Европе и Азије. Током лета, Сибирски максимум се у већем делу замењује депресијом што резултира у великим падавинама углавном над читавим Сибиrom. У принципу, Сибирски максимум се генерише крајем августа, достиже максимум током зиме, и задржава јак интензитет све до краја априла. Током лета, Сибирски антициклон слабије утиче на време у подручју Балкана, а током зиме, на Балкану је најутицајнија периферија Сибирског антициклона.

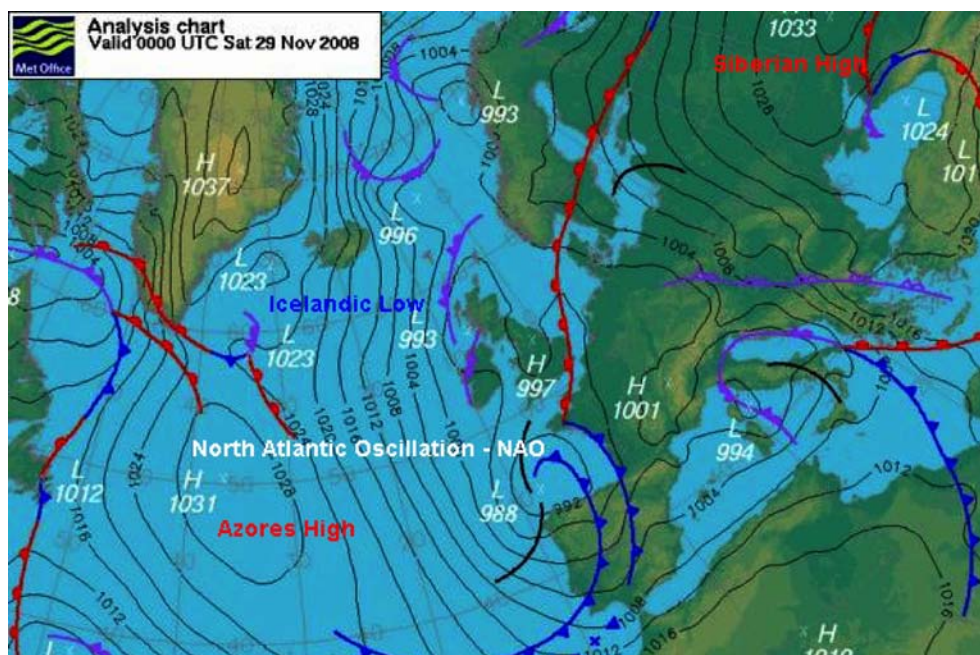
Исландски минимум (*Icelandic Low*), познат и као Исландски циклон је квази-стационарна вртложна структура са вертикалним кретањем ваздуха од Земље и ниским централним притиском, формирана изнад Исланда и јужног Гренланда. Током зиме се проширује све до Баренцовог мора, а током лета, овај циклон слаби и дели се на два, са једним центром у близини Дејвисовог пролаза и другим центром на западном делу Исланда. Овај антициклон припада категорији „центра акције” на северној хемисфери. Он формира један пол такозване Северно-Атланске осцилације притиска (*Nort Atlantic Oscillation NAO*), док други пол чини Азорски максимум.

Оба вртложна система су присутни током целе године, и најјачи су током зиме. Када оба система имају максимуме или минимуме, флукуације разлике притисака се интензивирају, што за последицу има промену циркулације хладног и топлог ваздуха у региону који покрива овај систем.

Узимајући у обзир карактеристике ових доминантних квази-стационарних структура, могу се генерализовати њихови утицаји на подручје Балкана на следећи начин:

летња глобална ситуација углавном је следећа: под утицајем Азорског антициклона, Балкан се налази на периферији простране антициклонске циркулације са северног Атлантика. Ослабљени Исландски циклон и Сибирски антициклон слабије утичу на време у подручју Балкана;

зимска глобална ситуација је сасвим другачија: Азорски антициклон се повлачи према југу, а Сибирски антициклон и Исландски циклон јачају. Ређају се циклонске и антициклонске активности које се са запада крећу према Балкану, па се Балкан налази под ударом хладних ваздушних маса са североистока. Најутицајнија је периферија Сибирског антициклона. Типичне локације ових доминантних антициклонских и циклонских структура приказане су на сл. 1.

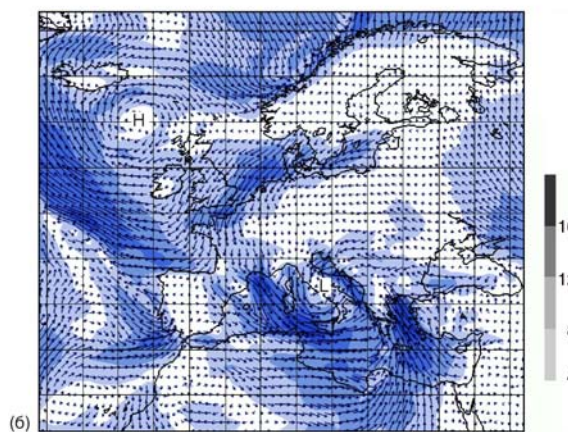
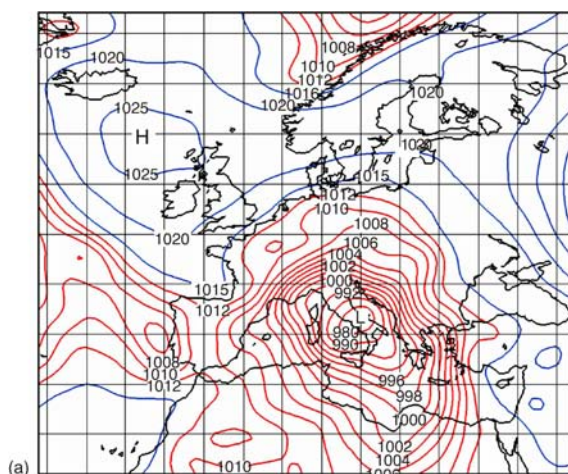


Слика 1. Типичне геостропске вртложне структуре над Европом  
(слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)

### Специфичне климатолошке карактеристике на Балкану

Поред глобалног утицаја Азорског и Сибирског антициклона и Исландског циклона, климатолошке карактеристике у Источној Европи и на Балкану су под изузетно јаким утицајем нестационарне циклогенетичке активност на регионалном нивоу. Детаљније, циклон је систем вртложног кретања ваздуха чија се оса вртложности поклапа са осом ниског притиска. У циклону учествују две ваздушне масе које се

разликују по температури, садржају воде и кретању. Сматрано је да хладнија и сувља ваздушна маса потиче из већих географских ширина, а топлија и влажна из суптропских области. Циклони се развијају од подлоге (чврстог тла или морске површине) па вертикално навише. Веома често се јављају у одређеним географским



**Слика 2. Југоисточни ветар на подручју Источне Србије (Кошава): (а) изобаре, (б) вејар**  
(слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)

Лигурнијско море и јужни Јадран. Поред ових праваца, циклони се често крећу правцима Мадрид Корзика, Гибралтар Корзика и Тунис Корзика. У просеку у западном Медитерану годишње се јави око 40 циклона, просечно сваки девети дан. Узрок томе су Алпи који деформишу термичка и струјна поља.

подручјима, што значи да на њихово формирање утиче и орографија терена. Услови за циклогенетичке области су:

постојање воденог или копнено-равничарског базена, базен мора бити заклоњен планинским ланцима у правцу најчешћег продора хладног ваздуха, и морају се јављати чести продори хладног ваздуха чији је правац кретања под великим углом у односу на планинску препреку.

Из радова о циклонској активности на Медитерану и околним подручјима, сазнаје се да се, у непосредној близини или изнад Балкана, налази пет циклогенетских области:

- (1) Ђеновски залив,
- (2) северни Јадран,
- (3) Егејско море,
- (4) Панонска низија, и
- (5) Влашка низија.

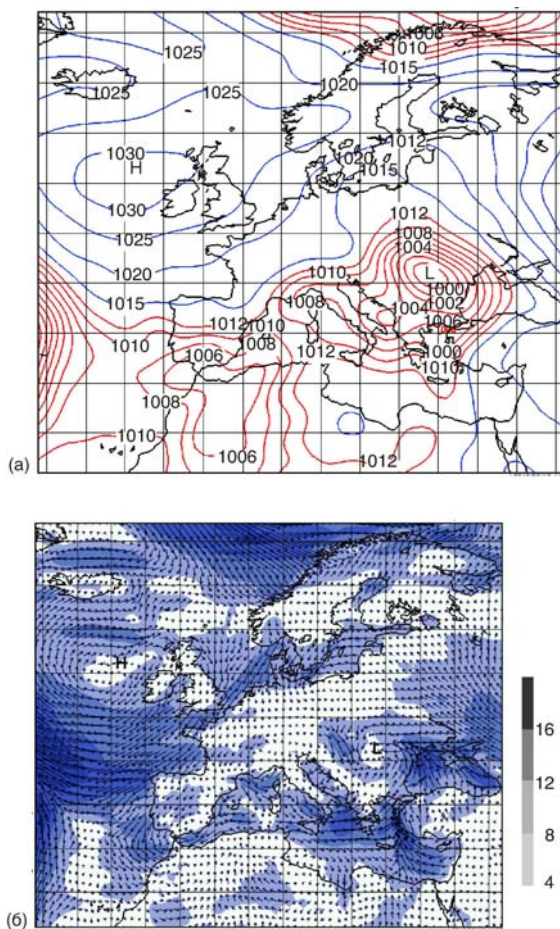
Ове области се разликују по природи подлоге: прве три су водени базени, а друге две копнени. У Лигурнијском мору се јавља највећи број циклона западног Медитерана, са максимумом честине у Ђеновском заливу и северном Јадрану. Приближно 3/4 тих циклона настаје у овом региону, а током зиме ову област напушта 2/3 циклона, а лети 1/3. Циклони при преласку преко Медитерана теже да прођу кроз

Када се циклогенетичност Панонске низије посматра на начин као западни Медитеран, уочава се да је максимум појављивања циклона у области Војводине једнака честини појаве циклона у северном Јадрану. Циклони из северног Јадрана своју област често напуштају премештајући се преко Горског Котара, Славоније, Војводине и Влашке низије. Често се догоди да се у Влашкој низији циклон толико регенерише да се пр шири и на Војводину те се тада чини као да се циклон премешта ка западу.

Стаза и пложаји једног таквог циклона су приказани на сл. 2 и 3 (дати: 10. фебруар 2010, 13. фебруар 2010, респективно) одакле се може уочити да први положај овог циклона (централни део Апенинског полуострва) у систему са периферијом Сибирског антициклона генерише у подручју Источне Србије интензиван градијентни јужни-југоисточни ветар (Кошава) до 12 m/s, док други положај овог циклона (источни део Влашке низије) у систему са Азорским антициклоном генерише градијентни северозападни ветар до 16 m/s.

### Климатологија ветра у Источној Србији

Климатологију ветра у Источној Србији је најприкладније анализирати на основу дугорочно осматрених података о брзини и правцу ветра. Иако ово подручје није покривено густом мрежом главних метеоролошких станица, ипак постоји њихов довољан број да се анализа може квалитетно спровести. Због специфичности доминантних ветрова, кошава и северозападног ветра, у обзир су узете и карактеристичне метеоролошке станице дуж главних праваца ових ветрова у Јужном Банату и Јужној Србији. Као што је већ напоменуто, у овом подручју доминирају две врсте ветрова синоптичких размера: Кошава и северозападни ветар.



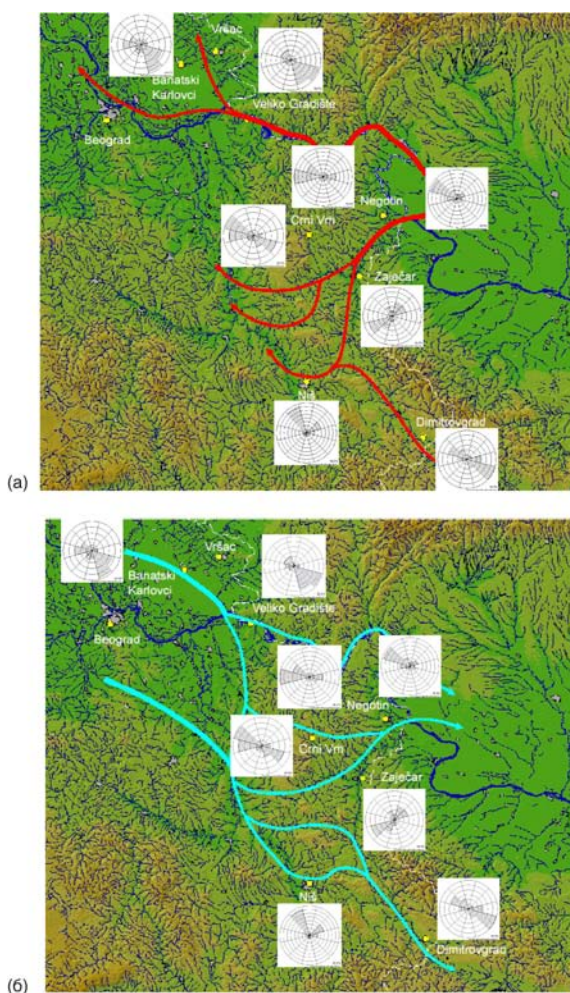
Слика 3. Северозападни ветар на подручју Источне Србије: (а) изобаре, (б) вейшар (слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)

Кошава је градијентни хладан источни и југоисточни ветар, средњег до јаког интензитета, који дува у Србији, Румунији и Бугарској. Проузрокован је међусобним везама између метеоролошке ситуације и орографије Карпата и Балканских планина. Дува из подручја Украјине и северног дела Црног мора преко Влашке низије и Јужних Карпата, када се успостави градијент притиска усмерен од источне или југоисточне Европе према западном Медитерану.

Кошава се јавља када се центар генерисаног циклона у Ђеновском заливу или северном Јадрану налази изнад западног Медитерана при чему се може јавити, нешто

ређа, топла Кошава која доноси суво време са мало облака и нешто више температуре. Тада Кошава дува углавном из југоисточног смера. Други разлог за настајање Кошаве је када се центар Сибирског антициклона налази у источној Европи. Ова Кошава је изузетно честа зими доносећи изузетно хладан ваздух и суво време. Тада Кошава осим југоисточног смера може имати и источни смер. На основу дуго-осмотрених података о честинама правца ветра на метео-станицама у Србији те карактеристика орографије овог подручја, могуће је одредити доминантне правце Кошаве на овом простору, што је шематски приказано на сл. 4(a).

На правац надоласеће Кошаве са истока доминантни утицај има вектор градијента притиска (положај централног минимума циклона или интензитет периферије Сибирског антициклона, сл. 2), те планински масив Балкан (Стара Планина) који дели Бугарску практично на две области, односно чини јужну физичку границу Влашке низије. Кошава из Влашке низије, наиласком на јужни Карпатски масив у Источној Србији дели се на два доминантна правца. Једним делом, Кошава пролази кроз Ђердапску клисуру где се убрзава због ту-



**Слика 4. Доминантни правци ветрова у Источној Србији: (а) Кошава, (б) Горњак**  
(слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)

нелског ефекта орографије, тако да уласком у Панонску низију (Јужни Банат) експандира већим брзинама, док другим делом, наиласком на планински масив Дели Јована, скреће и проналази планинске кањоне и пролазе дуж речних долина (Тимок, Бели Тимок и Црни Тимок). Ова кошава може допрети чак до Нишке низије где скреће на запад. Кошава из јужног дела Бугарске пролази и убрзава се кроз природни кањон којег чине Стара Планина и Сврљишке планине.

Западни и северозападни ветар се јавља када се центар генерисаног циклона у Ђеновском заливу или северном Јадрану налази у Влашкој низији где и исчезава, најчешће под блокадом Сибирског антициклона. Тада се успоставља градијент притиска приближно истог правца, али супротног смера од градијент притиска Кошаве. Доминантни правци овог ветра су приближно исти као код Кошаве, али ветар дува у супротном смеру, што је шематски приказано на сл. 4(б).

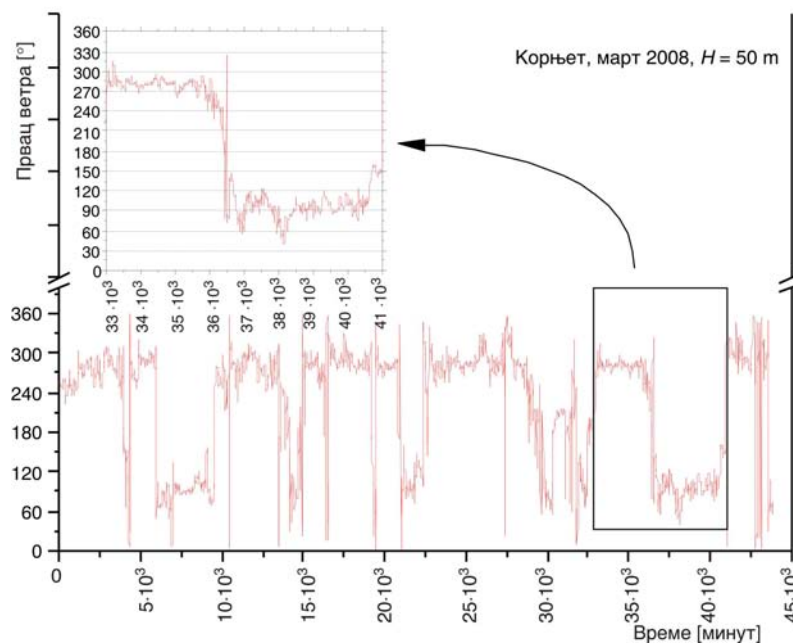
Када је у питању Тимочка Крајина, овај ветар, проласком преко планинских масива јужних Карпата, суперпонира се с локалним горским ветровима, тако да у Тимочку Крајину стиже као веома хладан и интензиван ветар. Иако је термин за ветар „Горњак” резервисан за локални горски ветар, људи у Тимочкој Крајини и овај ветар називају Горњак или Горња Кошава, док праву Кошаву називају Доњом Кошавом.

#### **Квалитет ветрова Кошава и Горњак**

Када се процењују енергетске карактеристике ветра на одређеној локацији, није довољно дати оцену о његовој брзини, правцу и честини, већ је потребно разматрати и „квалитет” ветра, што се углавном односи на његове турбулентне карактеристике и екстремне услове. Ови параметри су јасно специфицирани у стандарду ИЕС 6400-1:2005 (3-издање), преко интензитета турбуленције и величине максималне брзине ветра, и то, у нормалним и екстремним условима.

Када су у питању карактеристике турбулентних флукуација брзине ветра, издвајају се три главна питања: њихова величина, спектрална дистрибуција, и коваријантност са флукуацијама других значајних атмосферских параметара (притисак, температура, влажност, итд.). Комплетно разматрање ових интеракција даје одговоре на већину атмосферских феномена. Међутим, када је у питању интеракција са одређеном изграђеном структуром, као што су на пример високе и витке зграде, мостови, аеродинамичке структуре као што су ветрогенераторске турбине (лопатице и стуб), итд., онда се турбулентне карактеристике ветра посматрају и анализирају у интеракцији са оваквим структурама, а везане су за појаву непожељних аероеластичних појава које могу довести до физичке деградације структуре (на пример појава флатера), па су са овог становишта, турбулентне карактеристике и максимални налети ветра од примарног значаја. Одрживост изградње ветроелектрана на подручју Источне Србије се даље анализирају са становишта овог аспекта.

За ову врсту анализе неопходно је, у принципу, издвојити што јасније атмосферски феномен. Одабрани су типични подаци појаве јасно изражене Кошаве и Горњака марта 2008. године у трајању од по приближно три дана (од 24. марта 2008. од 10:30 сати до 30. марта 2008. у 0:0 сати), регистровани на метео-стубу Корњет-Неготин на висини од 50 m. Снимљени правци ветра су приказани на сл. 5. Треба напоменути да су мерени подаци добијени на основу 3-секундног узорковања, а затим усредњавања



Слика 5. Експериментална евиденција о промени правца ветра  
(слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)

на период од 10 минута. Практично, вредност угла правца ветра је средња вредност у интервалу од 10 минута; стандардна девијација је средње одступање од усредњене брзине у интервалу од 10 минута; интензитет турбуленције је однос ових величина.

### Флукуације брзине ветра и интензитет турбуленције

Иако је мерење вертикалне компоненте вектора брзине ветра отежано, карактеристике ове величине су прилично јасне. Под условима „нормалне храпавости“, ова компонента брзине ветра директно описује ефекат утицаја терена. С друге стране, флукуације вертикалне компоненте брзине су директно повезане са стањем стабилности атмосфере, дефинисаном преко Ричардсоновог броја или Монин-Обукове размере стабилности. Флукуације латералне компоненте брзине ветра су најодговорније за дифузионе појаве у атмосфери.

Између ова два екстремна утицаја, налази се утицај флукуација лонгитудиналне компоненте ветра. У условима неутралне атмосфере, варијанса лонгитудиналне компоненте брзине ветра (квадрат стандардне девијације) пропорционална је квадрату усредњене брзине ветра на датој висини. Како се брзина ветра повећава са повећањем висине, однос лонгитудиналне стандардне девијације и брзине ветра се смањује са порастом висине. Овај параметар се различито дефинише, као интензитет турбуленције, релативна мера налета ветра (*relative gustiness*). За потребе анализе квалитета ветра са аспекта погодности градње ветроелектрана, овај параметар је од примарног значаја. Експериментални записи латералне стандардне девијације и интензитет турбуленције су приказани на сл. 6 и 7, респективно. На овим дијаграмима су



назначене и средње вредности ових параметара за Горњак и Кошаву у посматраном временском интервалу.

Анализом претходних дијаграма, може се доћи до закључка да је просечни интензитет турбуленције приближно исти за Горњак и Кошаву, без обзира на веома различите фреквенције и амплитуде лонгитудиналних флукуација брзине ветра. Зато је немогуће донети потпун закључак о квалитету ових ветрова само на основу анализе магнитуда стандардне девијације. Да би се донео потпунији закључак, неопходно је анализирати спектралну дистрибуцију ових параметара, и то засебно за Горњак и Кошаву. Спектрална анализа даје одговоре о временским размерама, честини и енергетском садржају лонгитудиналних флукуација, на основу којих се може дати потпунији одговор о квалитету ова два ветра. Уобичајена је пракса да се спектрална анализа врши путем Фуријеове трансформације, која у принципу представља фреквентну налізу посматраног сигнала у времену, применом серије синусних и косинусних функција. Међутим, основни недостатак ове методе је да се њеном применом не могу локализовати посматрани феномени са становишта њихових размера (временске и/или дужинске), што је у овом случају веома значајно.

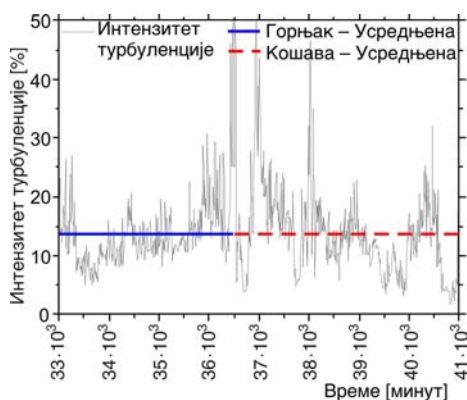
Ови феномени се могу анализирати применом *wavelet* концепта. Како је овај концепт релативно нов, иако се у задње време све више примењује, ради упућености читалаца овог рада, дате су основне напомене о овом концепту.

*Wavelet* трансформација се користи за анализу нестационарних сигнала, како би се добила информација о варијацијама фреквенције или размере тих сигнала, те да би се уочила локализација различитих структура тог сигнала у времену и/или простору. Локализација у простору и времену је могућа јер је *wavelet* функција дефинисана у ограниченом временском интервалу, за разлику од синусних и косинусних функција у Фуријеовој трансформацији. На овај начин, како се размера увећава, *wavelet* функција тих размера је локализована у све ужим интервалима.

Континуална *wavelet* трансформација (*Continual Wavelet Transformation* – CWT) је еквивалента „математичком микроскопу”, чије увећање је дато реципрочном вред-



**Слика 6. Лонгитудиналне флукуације брзине ветра (стандардна девијација)**  
 (слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)



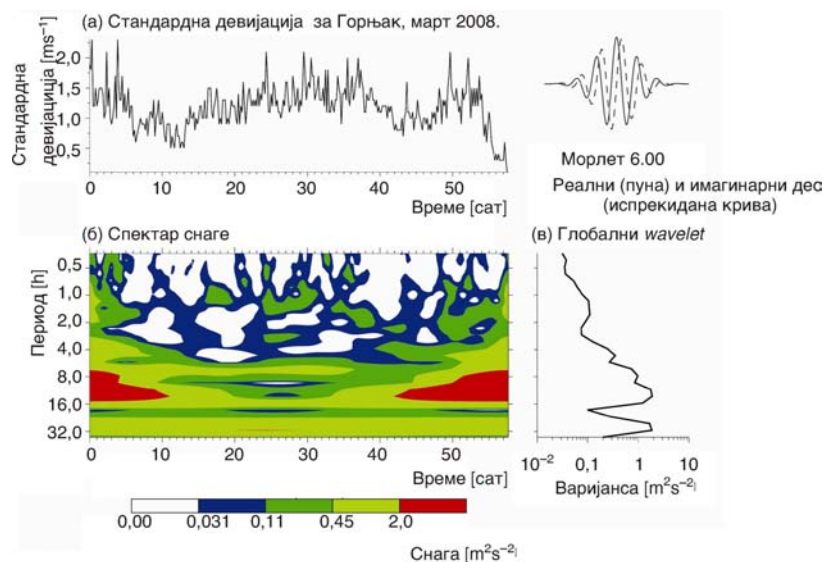
**Слика 7. Интензитет турбуленције (однос стандардне девијације и 10 мин. усредњене брзине ветра)**  
 (слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)

ношћу параметра дилатације, а оптичка способност је дата избором функције „мајке-*waveleta*”. Карактеристика *wavelet* анализе је да се може показати да је амплитуда *wavelet* коефицијената повезана са наглим варијацијама сигнала, односно са „деталима” високе фреквенције.

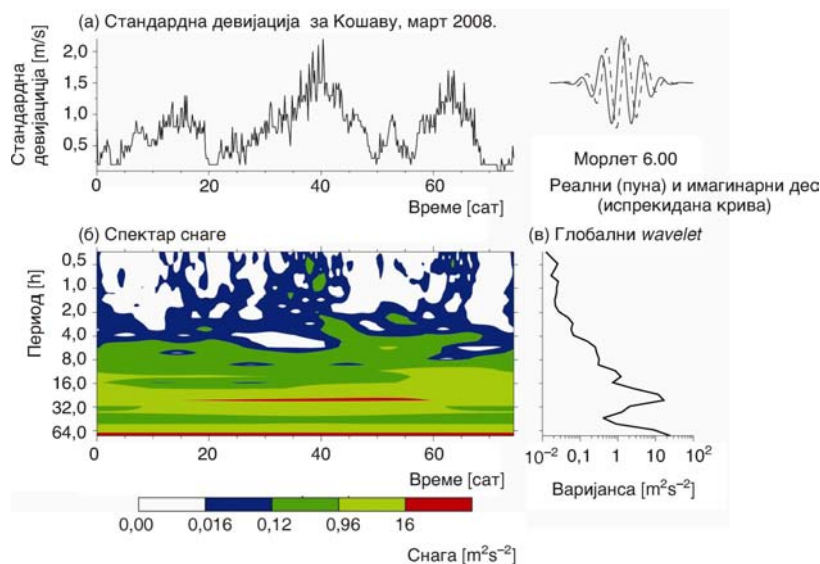
Карактеристика *wavelet* трансформације је очување енергије сигнала. Аналогно са терминологијом прихваћеној у Фуријеовој анализи, квадрат модула *wavelet* коефицијената континуалне *wavelet* трансформације назива се скалограм (*scalogram*), који даје информацију да ли анализирани сигнал има карактеристику појављивања у више размера (*multi-scale characteristics*), и које размере учествују у процесима описаних сигналом. Одступање енергије спектра од средње вредности може бити квантификована варијансом  $E(k)$ , што је суштински статистички моменат четвртог реда (*flatness*) *wavelet* коефицијената.

Локални ефекти посматраног феномена утичу на коефицијенте *wavelet* трансформације, док су код Фуријеове трансформације, коефицијенти функција временског домена као целине. На овај начин, спектар *waveleta* даје бољу информацију о карактеристици варијансе локалног феномена, што је у посматраном случају анализе лонгитудиналних флукуација брзине ветра и интензитета турбуленције од суштинског значаја. На сл. 8 и 9 дати су скалограми лонгитудиналних флукуација брзине ветра (стандардне девијације) Горњака и Кошаве, респективно, а на сл. 10 и 11 дати су скалограми интензитета турбуленције Горњака и Кошаве, респективно. На свакој од ових слика, дати су следећи дијаграми:

сигнал у физичком домену (флукуација брзине време, и интензитет турбуленције време),

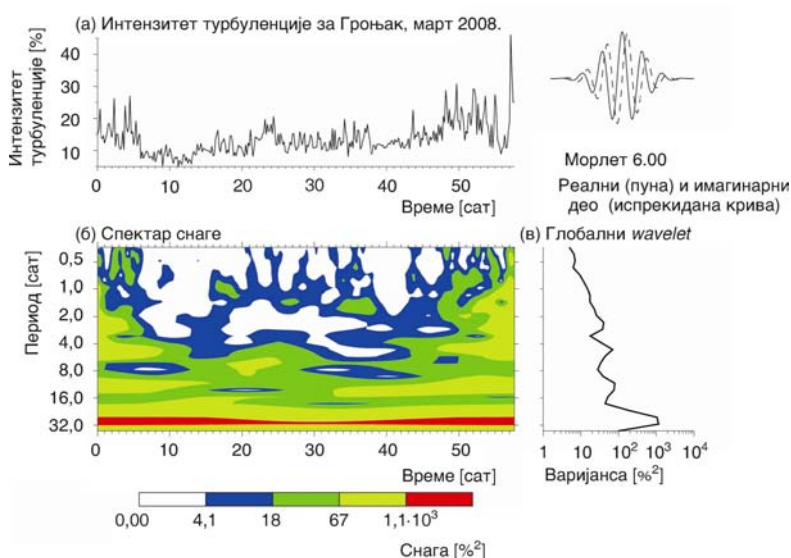


Слика 8. *Wavelet* скалограм лонгитудиналне флукуације брзине ветра Горњак (слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)



Слика 9. Wavelet скалограм лонгитудиналне флукуације брзине ветра Кошава (слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)

скалограм (*wavelet* спектар снаге) где је апсциса време, ордината период (временска размера), а попуњене области одговарајућим растером представљају нивое снаге спектра чија је скала дата испод скалограма, глобални *wavelet*, дат као временска размера у функцији варијансе спектра  $E(k^j)$ , и



Слика 10. Wavelet скалограм интензитета турбуленције ветра Горњак (слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)

у горњем десном углу слике дат је облик мајке-*wavelet* функције (у овој анализи коришћена је Морлет мајка-*wavelet* функција 6,00).

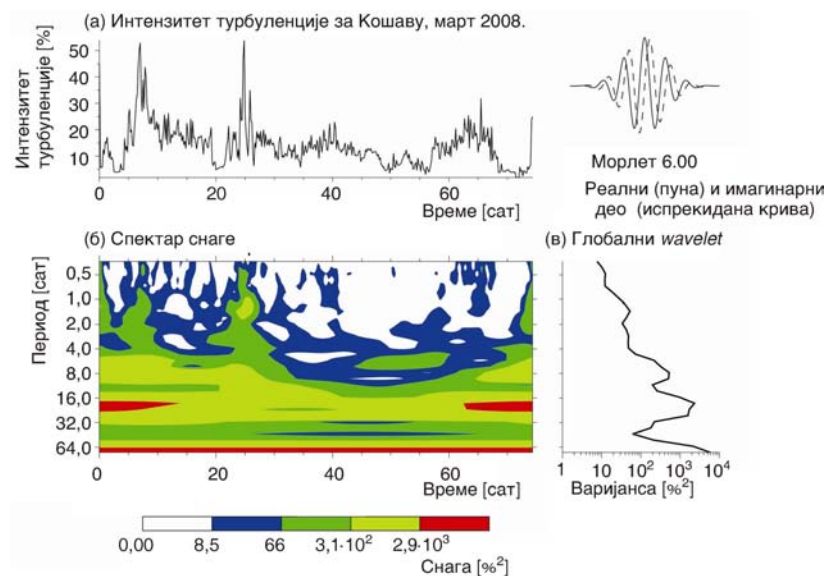
Пре него што се изврши анализа приказаних скалограма, треба напоменути шта, у принципу, треба анализирати. На основу информација које даје скалограм, потребно је анализирати најважније елементе, а то су:

- ниво снаге *wavelet* спектра,
- временска размера (период) појаве максималне снаге *wavelet* спектра,
- временски интервал појаве максималне снаге *wavelet* спектра,
- периодичност појаве максималне снаге *wavelet* спектра, која се добија поређењем претходна два елемента, и
- вредност варијансе максималне снаге *wavelet* спектра.

Како су посматрани скалограми лонгитудиналне флукуације брзине ветра (сл. 8 и 9) и скалограми интензитета турбуленције (сл. 10 и 11), закључци анализе скалограма дати су одвојено.

(а) Скалограми лонгитудиналне флукуације брзине ветра  
(стандардна девијација)

- (1) Максимална снага *wavelet* спектра [ $\text{m}^2$ ] је осам пута већа код Кошаве у односу на Горњак (16,0 2,0).
- (2) Појава максималне снаге *wavelet* спектра Горњака јавља се на једној временској размери приближно 12 сата у два временска интервала: на почетку појаве у трајању од 12 сата, и на крају, у већем трајању од 18 сати.
- (3) На основу ових података за Горњак, периодичност појаве максималне вредности снаге је од 1 на почетку до 1,5 на крају посматраног временског интервала појаве Горњака.



Слика 11. *Wavelet* скалограм интензитета турбуленције ветра Кошава  
(слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)

- (4) Појава максималне снаге *wavelet* спектра Кошаве јавља се на две временске размере, и то прва од 30 сати у централном временском интервалу у приближном трајању од 45 сати, и друга од 65 сати током целог временског интервала (74,3 сата).
- (5) На основу ових података за Кошаву, периодичност појаве прве временске размере је приближно 1,5, а друге, приближно 1.
- (6) Варијанса спектра за максималну снагу је приближно десет пута већа код Кошаве у односу на Горњак.

(б) *Скалограми интензитетна турбуленције.*

У принципу, овај скалограм даје посредно информацију и о карактеристици усредњене 10-то минутне брзине, јер је интензитет турбуленције дефинисан као однос стандардне девијације и ове брзине.

- (1) Максимална снага *wavelet* спектра је скоро три пута већа код Кошаве у односу на Горњак ( $2,9 \cdot 10^3 \cdot 1,1^{-3}$ ).
- (2) Код Горњака, максимална временска размера (период) од 30 сати се јавља у читавом периоду појаве (57,7 сати).
- (3) Периодичност појаве максималне снаге код Горњака је приближно 2.
- (4) Код Кошаве се јављају две максималне временске размере (период) од 24 сата и 65 сати, при чему се прва јавља у временским интервалима од 12 сати на почетку и 12 сати на крају појаве, а друга временска размера се јавља у читавом периоду појаве (74,3 сата).
- (5) Периодичност појаве максималне снаге код Кошаве је 0,5 за прву временску размеру и приближно 1 за другу временску размеру.
- (6) Ниво варијанси Кошаве и Горњака су истог реда величине.

### **Закључак**

На основу претходне анализе *wavelet* скалограма флукуација лонгитудиналне компоненте брзине ветра, могуће је донети следеће закључке о квалитету ветрова Горњака и Кошаве, са аспекта посматрања овог параметра.

Снага флукуација лонгитудиналне компоненте брзине ветра је 8 пута већа код Кошаве у односу на Горњак.

Снага *waveleta* интензитета турбуленције је три пута већа код Кошаве у односу на Горњак.

Временске размере (период скала) на којим се јављају максималне снаге флукуација лонгитудиналне брзине ветра су приближно три пута веће код Кошаве у односу на Горњак у троструко већем временском интервалу трајања појаве.

Кошава има две временске размере појаве максималне снаге *wavelet* интензитета турбуленције у односу на Горњак, и то, прва истог реда величине као Горњак, а друга, два пута већа.

Посматрано са аспекта одрживе градње ветроелектрана, може се коначно закључити да за аероеластичне структуре, као што су првенствено лопатице ветрогенераторских турбина и стуб, посматрано са становишта параметара турбуленције, карактеристике Кошаве су неповољније у односу на Горњак. Критичне аероеластичне појаве које доводе до деструкције аеродинамичке структуре црпу флукуациону енергију из околине, па им Кошава то обилато нуди у односу на Горњак.

Такође, треба напоменути да је честина појаве Горњака већа у односу на Кошаву на подручју Источне Србије, па је тиме повећана атрактивност градње ветроелектрана у овом региону, за разлику од Јужног Баната где је ситуација обрнута.

### Захвалност

Приказани резултати у овом раду су резултат дела истраживања на пројекту ТР-18211 којег финансира Министарство за образовање и науку Републике Србије.

### Abstract

## Sustainable Building of Wind Farms in Region of East Serbia

by

*Žarko M. STEVANOVIĆ, Nikola S. MIRKOV\*,  
Žana Ž. STEVANOVIĆ, and Borislav D. GRUBOR*

**Laboratory for Thermal Engineering and Energy,  
Vinča Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, Belgrade, Serbia**

Application of wind power assessment research in Serbia has been performed with high uncertainty due to some constrains specified by previous Serbian Low of Energy. Current correction of the constrains in Serbian Low of Energy by introducing a new category of Privileged Manufacturer of Electricity, as well as supporting Regulation of feed-in tariff of electricity, created a regulative framework for real wind farm building in Serbia. Since the past research activities concerning the subject of wind, Laboratory for Thermal Engineering and Energy of the Vinča Institute of Nuclear Sciences, invested a large amount of financial budget purchasing the most referenced software tools, data bases, and meteorological mast, the experts from this institution has been gained more experienced to perform further investigation in the subject of wind at the high and competitive level, that is confirmed in Wind Energy International, World Wind Energy Association, 2009/2010 (ISBN 987-3-940683-01-4). On the other hand, very frequent contacts with foreign developers as well as interest of local authorities of municipalities of East Serbia region, private companies and governmental institutions create an additional motivation for further investigation in this field, but on overall platform including all aspects of wind farm building. This paper deal with some research outcomes about possibilities of sustainable building of wind farms in the region of East Serbia based on global wind meteorology characteristics in this region.

Key words: *East Serbia, wind farm sustainable building, wind meteorology*

\* Correpsonding author; e-mail: nmirkov@vinca.rs

Рад примљен: 25. маја 2011.

Рад ревидиран: 20. јануара 2012.

Рад прихваћен: 17. фебруара 2012.