

# Мерења и анализа потенцијала енергије ветра у Србији

Јелена Станковић  
Факултет техничких наука у Чачаку  
Техника и информатика, 2013/2014  
jeska88@yahoo.com  
проф. др Снежана Драгићевић

*Апстракт*— У овом раду извршена је анализа енергетског потенцијала ветра на шест изабраних локација у Србији, и то у Београду, Златибору, Новом Саду, Врању, Нишу и Лозници. Представљене су предности коришћења енергије ветра и изградња ветрогенератора. На основу урађене анализе, може се закључити да се значајније брзине ветра јављају на локацијама у Новом Саду и Београду, и да ове локације могу бити интересантне за даља истраживања њиховог енергетског потенцијала ветра.

*Кључне речи* – иницијал; иницијал ер ки жосифијал вџеа; вџеа оџ иницијал;

## 1 УВОД

Брз развој и напредак људске цивилизације на жалост је са собом донео и приличан неред у целом свету. Где год се човек нашао, од природе је само узимао, а не и доприносио очувању, и сада много тога долази до наплату.

Сваким даном забележава се висок раст потрошње енергије који је изазван повећањем броја становника, квалитета и стандарда живота, утицајем производње и потрошње енергије на животну средину. Више од половине становника Земље живе у градовима и то повлачи за собом неминовне последице.

Највећи део енергије, који се данас употребљава, добија се из горива сагоревањем. Проблем који се јавља је ограничен ресурс фосилних горива. Из тог разлога јавља се потреба за новим, алтернативним изворима енергије. Један од алтернативних извора енергије је ветар. Ветар је бесплатан и неисцрпан енергетски ресурс. Да би претворили енергију ветра у механичку користе се уређаји који се називају ветрогенератори. Стога, у даљем делу рада, посебна пажња биће посвећена енергији ветра и анализи енергетског потенцијала ветра у Србији.

## 2 ЕНЕРГИЈА

Енергија је узрок свему што нас окружује. Погледајте кроз прозор! Дању са Сунца долази енергија зрачења, а с њом топлота и светлост. Ноћу уличне сијалице троше електричну енергију за осветљавање. Аутомобил који пролази поред нас користи се енергијом ускладиштеном у гориву (бензину, гасу, нафти) или у акумулаторској батерији. Храна коју једемо садржи енергију потребну за рад и игру. Енергија је способност обављања рада.

Енергија се појављује у различитим облицима. Постоји механичка енергија, топлотна енергија, хемијска енергија, електрична енергија, светлосна енергија и нуклеарна енергија. Енергија се не може уништити ни створити, већ само може променити свој облик. На пример, део хемијске енергије ускладиштене у батерији претвара се у светлост када укључимо батеријску лампу.

### 2.1 Врсте енергије

Облици енергије обухватају изворе и врсте енергије, зависно од њиховог места у процесима трансформације:

- примарна енергија
- секундарна енергија
- финална енергија
- корисна енергија

Примарна енергија или примарни извори енергије су извори који се добијају директно из природе и који још нису прошли ниједан процес трансформације, а могу бити: фосилни, нуклеарни, обновљиви.

Секундарна енергија или секундарни извори енергије су извори који су разним техничким поступцима трансформације добијени из примарних. Тим се процесима трансформације мењају хемијски или физикални појавни облици примарних извора, што је неопходно јер се већина извора, у облику у којем је добијена из природе, не може директно користити.

Примарна и секундарна енергија често се називају заједничким именом енергија горива

Финална енергија су извори или врсте енергије који крајњем кориснику стоје на располагању (нпр. топлота, електрична струја, разна горива и сл). О начину њихове примене при томе одлучује корисник те их одговарајућим процесима претвара у корисну енергију. Финалну енергију стога чине и примарни (нпр. угаљ) и секундарни извори (нпр. бензин).

При процесима трансформације, преноса и складиштења енергије долази до губитака, односно један се део примарне и секундарне енергије не може искористити.

Корисна енергија је онај део енергије који се добија након одузимања свих губитака који настају при процесима добијања, прераде, складиштења и преноса примарних и секундарних извора те трансформације финалне енергије. Корисна је енергија крајњем кориснику на располагању у њему најприкладнијем облику.

### 2.1.1 Класификација животног облика и њихови

С обзиром на временску могућност њиховог исцрпљивања природни облици енергије деле се на:

1. Необновљиви облици енергије: Фосилна горива ( нафта, земни гас), нуклеарна горива и унутрашња топлота Земље (геотермална енергија) .

2. Обновљиви облици енергије: Водне снаге, (енергија водотокова, морских струја и таласа), биомаса (биогаз, укључујући и дрво и отпатке), енергија Сунчевог зрачења и енергија ветра.

За разлику од необновљивих облика енергије, обновљиви облици енергије не могу се временом исцрпити, али је могуће у потпуности исцрпити њихове потенцијале.

## 3 ЕНЕРГИЈА ВЕТРА

Ветар је хоризонтално струјање ваздушних маса настало услед разлике температуре. Ветар представља трансформисани облик сунчеве енергије. Око један до два посто енергије која долази од Сунца претвара се у енергију ветра. Ветар је бесплатан и неисцрпан енергетски ресурс. Енергија ветра се у давнини користила за пловидбу чамцима и бродовима, покретање млинова и пумпи за воду.

Перспектива ветрогенератора је врло оптимистична јер ветар представља неисцрпан еколошки извор енергије чији глобални потенцијал вишеструко надмашује светске потребе за електричном енергијом. Ветроенергетика је млада грана енергетике са највећим трендом развоја у последњој деценији.

Подручја Земље где дувају планетарни ветрови су најисплативији за експлоатацију енергије ветра. Пучина се истиче као најбоља позиција, али цене инсталације и транспорт енергије коче такву експлоатацију. Па се из тих разлога, постављају у приобалним деловима и на копну иако је снага ваздушних струјања знатно мања.

Најчешће се користе ветрогенератори снаге од 1,5 MW до 3 MW мада се праве ветрогенератори снаге и до 5 MW. Код ветрогенератора веће снаге потребна је значајна почетна енергија ветра, због робусности система.

Развијена снага ветрогенератора је пропорционална трећем степену брзине ветра, логично је да просечна брзина ветра, а самим тим и просечна снага ветра на годишњем нивоу има кључну улогу при избору локације постављања ветрогенератора.

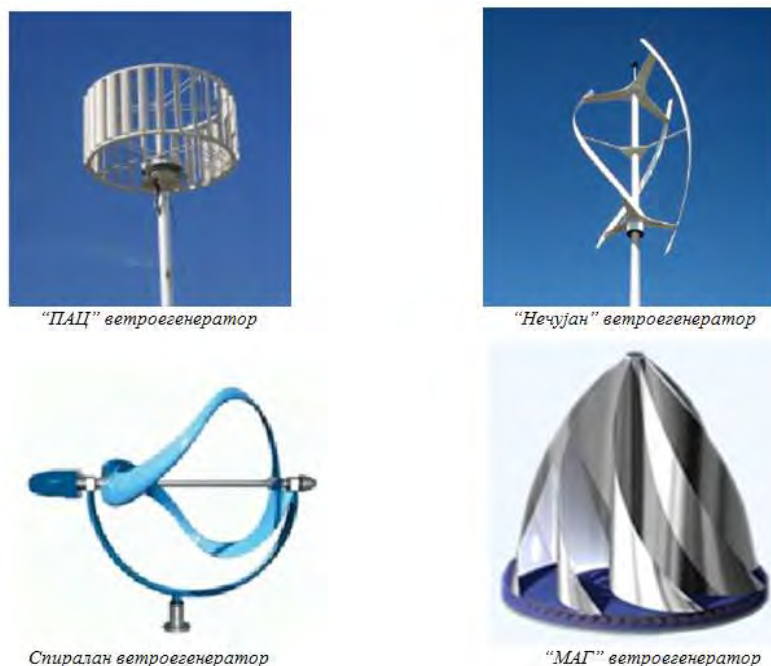
### 3.1 Снага ветра

Као добре стране искоришћавања енергије ветра истичу се висока поузданост рада постројења, нема трошкова за гориво и нема загађивања околине. Ветрогенератори користе кинетичку енергију ветра, коју помоћу турбина на ветар претварају у механичку енергију, а њу преко електрогенератора у електричну енергију. Елисе ротора ветрогенератора се окрећу због струјања ваздушне масе. Количина енергије коју ветар преноси на ротор директно зависи од густине ваздуха, површине елиса и брзине ветра. Кинетичка енергија тела у покрету пропорционална је његовој маси, тако да кинетичка енергија ветра зависи од густине ваздуха. Што је ваздух гушћи то се добија више енергије на ветрогенератору, зато ће ветрогенератор при истој брзини ветра произвести више електричне енергије током зиме него током лета. На већим надморским висинама, као што су планине, притисак је нижи, па је густина ваздуха мања, што такође треба имати у виду.

Најбитнији фактор пре свега је брзина ветра. Промене интензитета ветра са висином посебно су изражене до висина од 100 m.

### 3.2 Модел и вѐе њој нѝе оѝа

Претварање кинетичке енергије ветра у механичку енергију обртног кретања врши се помоћу вертотурбине која може имати различите конструкције. Неки примери конструкцијских решења су приказани на слици 1.



Слика 1. Примери конструкцијских решења ветрогенератора

Постоје два основна модела ветрогенератора: са вертикалном осовином и са хоризонталном осовином. Ветрогенератори са вертикалном осовином генерално имају низак степен искоришћења, па се из тог разлога данас практично не користе за ветрогенераторе већих снага. Хоризонталне турбине су више заступљене, око 95% иако оне морају да имају и систем за закретање осовине у хоризонталној равни за праћење промене смера ветра. Заједничка особина ветрогенератора ове конструкције је што је оса ротације пропелера или турбине вертикална.

Предности ветрогенератора са вертикалном осовином: већина без потребе да се окрећу у правцу ветра, непотребан механизам за ту сврху једноставне су за израду, велики обртни момент, издржљиве и лакше за одржавање него ветрогенератора са хоризонталном осовином, јер је генератор близу тла.

Недостаци ветрогенератора са вертикалном осовином: мања ефикасност од ветрогенератора са хоризонталном осовином и за производњу електричне енергије, већи степен механичког преноса потребан због мање брзине ротације него ветрогенератора са хоризонталном осовином.

У данашње време најраширенији тип ветрогенератора за велике снаге је управо са хоризонталном осовином.

Предности ветрогенератора са хоризонталном осовином: постављају се на већим висинама где су и брзине ветра веће, нешто боље ефикасности од већине ветрогенератора са вертикалном осовином и могућност мењања нападног угла елисе (повећава ефикасност и олакшава регулацију брзине).

Недостаци ветрогенератора са хоризонталном осовином: скупи торњеви веће висине, лопатице при ротацији пролазе кроз заветрину стуба, чиме се стварају механичке вибрације и бука, потреба за непрекидним усмеравањем осовине у ветар сложеност конструкције и скупо одржавање високих стубова и генераторског склопа на великој висини.

## 4 АНАЛИЗА ЕНЕРГЕТСКОГ ПОТЕНЦИЈАЛА ВЕТРА У СРБИЈИ

У овој анализи биће обрађен енергетски потенцијал ветра на шест локација у Србији: Београд, Златибор, Нови Сад, Врање, Лозница и Ниш,. Ове локације уједно представљају шест метеоролошких станица за које су подаци о дневним мерењима брзине ветра за свих дванаест месеци у 2012. години, дати у Метеоролошком годишњаку који издаје Републички хидрометеоролошки Завод Републике Србије.

Географски подаци за ове локалитете дати су у Табели I.

ТАБЕЛА I. ГЕОГРАФСКИ ПОДАЦИ ЛОКАЛИТЕТА ЗА КОЈЕ ЈЕ РАЂЕНА АНАЛИЗА

| Локација | Географска |        | Висина (m) |
|----------|------------|--------|------------|
|          | ширина     | дужина |            |
| Београд  | 44°48'     | 20°28' | 132        |
| Златибор | 43°44'     | 19°43' | 1028       |
| Нови Сад | 45°20'     | 19°51' | 86         |
| Врање    | 42°33'     | 21°55' | 432        |
| Лозница  | 44°33'     | 19°14' | 121        |
| Ниш      | 43°20'     | 21°54' | 204        |

Климатолошки подаци дати у овом годишњаку обухватају мерења брзине ветра у терминима 7, 14 и 21 сат. За прорачуне у анализи су коришћене средње вредности брзине ветра. Сва мерења су вршена на висини од 10m.

Усвојени подаци везани за карактеристике ветрогенератора, који су коришћени у прорачуну, дати су у Табели II.

ТАБЕЛА II. УСВОЈЕНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

|   |     |
|---|-----|
| Механички коефицијент искоришћења турбине (0.50-0.70) | 0.7 |
| Пречник кола ветрогенератора (m)                      | 30  |
| Висина стуба ветрогенератора (m)                      | 60  |

#### 4.1 Пројекција брзине $v$ и $\bar{v}$

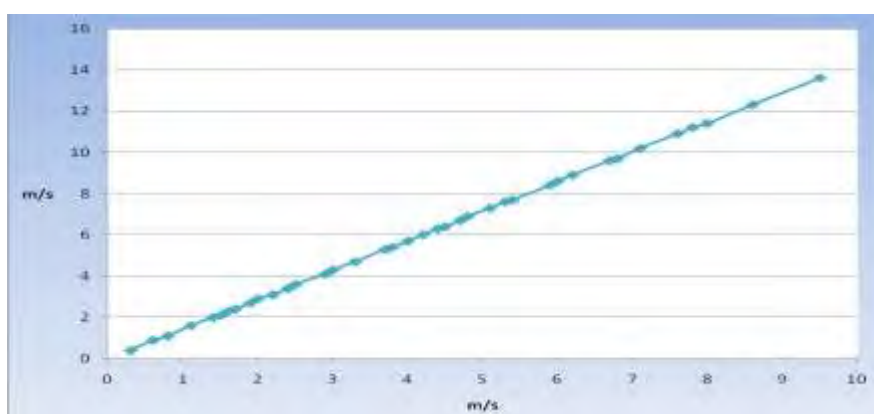
У току јануара, априла, августа и новембра примећена су одступања у измереним средњим вредностима брзине ветрова на датим локацијама.

На четири локације ( Ниш, Лозница, Врање и Нови Сад ) највеће средње вредности измерених брзина ветра су у месецу јануар, где је у Новом Саду измерена и максимална брзина од 9,5 m/s. У остале две локације ( Београд и Златибор ) у новембру.

Поред измерене максималне брзине, Нови Сад је и једини град који је у току сва четири месеца достигао више пута већу брзину ветра од 5 m/s.

Максималне вредности брзина, на територији Врања, Лознице и Ниша не прелазе износ од 4,2 m/s. На територији Лознице је у приказаним месецима чак током 20 дана, средња вредност измерене брзине износила 0 m/s.

На основу добијених резултата нацртан је дијаграм функционалне зависности брзине ветра од висине (слика 2). Оса x представља вредности измерених средњих брзина ветрова на висини од 10 m на свим локацијама, док су на у осу дате израчунате приближне вредности брзине ветра на усвојеној висини стуба од 60 m, према датој формули.



Слика 2. Дијаграм функционалне зависности брзине ветра од висине стуба ветрогенератора

#### 4.2 Пројекатна вредност ветрогенератора

Снага ветра се одређује изразом :

$$P_v = \frac{1}{2} \rho \cdot V \cdot w^2 [W] \quad (1)$$

где су:

- $V$  ( $m^3/s$ ) запремина ваздуха која струји у јединици времена (запремински проток)
- $w$  ( $m/s$ ) брзина ветра испред турбине и
- $\rho$  ( $kg/m^3$ ) густина ваздуха (узима се да је константна и приближно износи  $1,25 kg/m^3$ )
- 

Запремина  $V \frac{m^3}{s}$  се може изразити као производ површине ротора  $A$  ( $m^2$ ) и брзине струјања ваздуха  $w$  ( $\frac{m}{s}$ ) па имамо:

$$P_v = 0,625 \cdot A \cdot w^3 [W] \quad (2)$$

#### Теоријска снага ветрогенератора

Ваздух при изласку из ветрогенератора има одређену брзину, па је јасно да се не може у потпуности искористити расположива кинетичка енергија ваздушног струјања. Истраживања су показала да се максимално искористива снага ветра добија за случај да је брзина ветра иза ветрогенератора једнака  $1/3$  брзине ветра испред ње. Тако се искоришћава  $16/17$  укупне кинетичке енергије ветра. Зато је искористива снага ветра, коју можемо назвати теоријском снагом, одређена следећим изразом:

$$P_t = 0,371 \cdot A \cdot w^3 [W] \quad (3)$$

Теоријска снага ветрогенератора се може израчунати из следећег израза:

$$P_t = 0,291 \cdot D^2 \cdot w^3 [W] \quad (5)$$

где је  $D$  – пречник кола ветрогенератора.

У датој анализи, за изабран ветрогенератор пречник је  $D = 30$  m (Табела II).

#### Механичка снага ветрогенератора

Снага на осовини ветрогенератора (механичка снага) одређена је изразом:

$$P_m = \eta_m \cdot P_t [W] \quad (6)$$

где је:  $\eta_m$  усвојени механички коефицијент искоришћења турбине износи  $0,7$  (Табела II).

На основу формуле за снагу на осовини ветрогенератора, може се извести функционална зависност механичке снаге, за ветрогенератор са изабраним карактеристикама, од израчунате брзине ветра на усвојеној висини од  $60$ м, која је приказана на слици 3. Оса  $x$  представља израчунате приближне вредности брзине ветра на усвојеној висини стуба од  $60$  m, према датој формули, док су на  $y$  оси дате израчунате вредности механичке снаге ветрогенератора.



Слика 3. Функционална зависност механичке снаге од израчунате брзине ветра на висини стуба од 60 m

Резултати прорачуна средњих дневних брзина ветра и израчунатих вредности механичке снаге ветрогенератора са усвојеним карактеристикама, за све месеце у 2012. години, су следећи:

У току јануара месеца максималне брзине ветрова се крећу од 3,7 m/s у Лозници, Врању и Златибору до 9,5 m/s у Новом Саду. На овој територији је, 26. јануара, измерена највећа брзина ветра током свих мерења и на свим посматраним локацијама у 2012. години и износила је 9,5 m/s. Вредност максималне добијене механичке снаге је 460 kW.

У току месеца фебруара у Нишу и Врању истог дана 27. фебруара измерена је највећа брзина ветра у току целе године и износи 6,2 m/s у Врању и 4,5 m/s у Нишу. Највећа брзина у току овог месеца измерена је првог дана у месецу у Новом Саду и износи 7,6 m/s. Измерене максималне вредности механичке снаге у овом месецу крећу се од 28 kW у Златибору до 474 kW у Новом Саду.

Током марта месеца максималне брзине се крећу од 3,3 m/s у Златибору, 3,7 m/s у Београду, Врању и Нишу до 6,8 m/s у Новом Саду. У овом месецу у Лозници је измерена максимална температура у току целе године и износи 4,5 m/s. Механичка снага добијена на основу ових брзина износи од 19 kW до 168 kW.

У месецу априлу максималне измерене брзине се крећу у распону од 3 m/s колико је измерено у Нишу до 8,6 m/s у Новом Саду, док је распон минималних брзина од 0 m/s до 0,8 m/s.

Током маја месеца максималне брзине су смањене у односу на претходни месец и измерене брзине крећу се у распону од 2,9 m/s колико је измерено у Лозници до 6,8 m/s у Новом Саду. Измерене максималне вредности механичке снаге у овом месецу крећу се од 5 kW у Нишу до 70 kW у Новом Саду.

Мерења брзине ветра на изабраним локацијама у току летњег периода у месецима: јун, јул, август и септембар, показују да се максималне вредности измерених брзина крећу од 1,7 m/s измерених у Лозници у септембру месецу до 6 m/s измерених у Београду у јулу. Највећа вредност механичке снаге од 115 kW израчуната је у трећем дану месеца јула за брзину од 6 m/s у Београду.

Максималне брзине ветра измерене у месецу октобру крећу се од 2,9 m/s у Лозници, до 6,2 m/s колико је измерено у Новом Саду. Двадесетседмог у месецу у свим градовима брзина се креће од 2,5 m/s

Максималне брзине у току месеца новембра кретале су се у опсегу од 2,2 m/s у Лозници, до 8 m/s измерено у Новом Саду и то првог дана. Највише брзине у току целе године измерене су у току овог месеца у град Београд 7,6 m/s и Златибору 6,2 m/s. Измерене максималне вредности механичке снаге у овом месецу крећу се од 6 kW до 274 kW.

У току месеца децембра максималне брзине кретале су се у опсегу од 3,7 m/s у Лозници и Нишу, до 7,8 m/s измерено у Новом Саду.

## 5 ЗАКЉУЧАК

Циљ овог рада је анализа енергетског потенцијала ветра на локалитетима у Србији, базирана на анемографским подацима о брзинама ветра, које се мере на изабраним хидрометеоролошким станицама. Анализирани подаци се односе на кретања брзина ветра у 2012. години.

За изабран ветрогенератор, на основу ових информација прорачунате су, приближне вредности брзина и добијене снаге ветра на већој висини. Узимајући у обзир податак да се технички искористив ветроенергетски потенцијал односи само на ветрове чија је средња годишња брзина већа од 5 m/s, на основу урађене анализе се може закључити да се значајније брзине ветра, у смислу његове енергетске искористивости, јављају током јесењих и зимских месеци на територији Новог Сада и Београда. Ове локације би могле бити интересантне за даља детаљнија истраживања њиховог ветропотенцијала. Остале посматране територије Ниша, Лознице, Врања и Златибора на основу анализираних података о брзинама ветра, не располажу битним енергетским потенцијалом ветра.

## 6 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Доц. др Драган С. Марковић: *Профитна и инвешментна анализа енергетског потенцијала ветра*, Универзитет Сингидунум, Београд 2010.
- [2] <http://markolucic.wordpress.com/2013/12/06/potencijal-evrope-i-sveta/>
- [3] „*Се сдија инвешментна анализа енергетског потенцијала ветра у Србији за коју је израђена прелиминарна студија*“ — Центар за мултидисциплинарне студије Универзитета у Београду, Београд 2004.
- [4] Лазар З. Антић: *Завршни рад, Кинематска регулација снаге ветротурбине*, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2013.
- [5] <http://www.efikasnost.org/2013/06/energija-vetra.html>
- [6] <https://www.scribd.com/doc/51045900/Vetrogeneratori>
- [7] *Метеоролошки годишњак за 2012. годину*, Републички хидрометеоролошки Завод Републике Србије, Београд, 2013.
- [8] <http://en.wind-turbine-models.com/turbines/504-carter-cwt-300>