

**Факултет инжењерских наука
Универзитет у Крагујевцу**

Ана Н. Драгојевић
Ветрогенератори и њихова примена у
зградарству
Дипломски рад

Крагујевац, 2020.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Енергетска ефикасност објеката

Број индекса: 918/2016

Ана Н. Драгојевић

Ветрогенератори и њихова примена у зградарству

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Данијела Николић - ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У раду описати ветрогенераторе, са својим основним деловима и карактеристикама. Приказати начин конверзије енергије ветра у електричну енергију и дати приказ примена инсталација са малим ветрогенераторима који се користе у стамбеним и нестамбеним зградама.

Препоручена литература:

[1] Renewables 2019., Global Status Report, 2019.

[2] М.Деспотовић, Обновљиви извори енергије; Факултет инжењерских наука, Крагујевац; 2011.

[3] П. Гверо, С. Васковић, С. Продановић, М. Коутур, Г. Тица, Обновљиви извори енергије и одрживи развој локалних заједница, Мај 2016.

Крагујевац, 2020.

Ментор:
Др Данијела Николић –

Резиме

Ветар је бесплатан и неисцрпан енергетски ресурс. Користи се од давнина. До индустријске револуције ветар је уз дрво био највећи извор енергије. Користио се за покретање бродова, млинова и пумпи за воду. Производња електричне енергије из ветра почела се развијати тридесетих година прошлог века. Тада је почела изградња првих ветроагрегата за конверзију ветра у електричну енергију.

Основни циљ дипломског рада је детаљна анализа рада ветрогенератора и њихова подела према сили која изазива обртање ротора. Приказан је и преглед актуелног стања коришћења енергије ветра у свету и Србији, као и одређивање најпогоднијих локација на територији Србије за коришћење ветрогенератора. Посебна пажња усмерена је ка примени ветрогенератора малих снага у зградарству.

Кључне речи: енергија ветра, обновљиви извори енергије, ветрогенератори у зградарству

Abstract

Wind is a free and inexhaustible energy resource. It has been used since ancient times. Until the Industrial Revolution, wind was the largest source of energy along with wood. It was used to run ships, mills and water pumps. The production of electricity from wind began to develop in the 1930s. Then the construction of the first wind turbines for the conversion of wind into electricity began.

The main goal of the final work is a detailed analysis of the operation of wind turbines and their division according to the force that causes the rotation of the rotor. An overview of the current state of wind energy use in the world and Serbia is presented, as well as the determination of the most suitable locations on the territory of Serbia for the use of wind generators. Special attention is paid to the application of low-power wind generators in buildings.

Keywords: wind energy, renewable energy, wind turbines in buildings

Садржај:

Увод.....	1
1. Обновљиви извори енергије	2
2. Коришћење енергије ветра кроз историју	4
3. Енергија и снага ветра.....	5
3.1. Основни параметри ветра.....	6
3.2. Фактори који утичу на искористивост енергије ветра	9
3.3. Преглед актуелног стања коришћења енергије ветра у свету	9
3.4. Потенцијали енергије ветра у Србији	12
3.5. Конверзија енергије ветра у друге облике енергију	14
4. Класификација ветрогенератора.....	15
4.1. Ветрогенератори са хоризонталном осом обртања	15
4.2. Ветрогенератори са вертикалном осом обртања	17
4.2.1. Ветрогенератор са Savonius-овим ротором	17
4.2.2. Ветрогенератори са Darrieus-овим ротором	18
4.2.3. Ветрогенератор са Н- ротором	19
5. Управљање радом ветрогенератора.....	20
6. Механичка карактеристика ветротурбине	22
7. Анализа и одабир локације за постављање ветрогенератора	24
8. Систем малих ветротурбина	28
8.1. Истраживање тржишта малих ветрогенератора.....	29
8.2. Технологија рада малих ветрогенератора	31
8.3. Место постављања ветрогенератора малих снага	32
8.4. Ветрогенератор са хоризонталном осом обртања ротора у зградарству.....	34
8.5. Ветрогенератори са вертикалном осом обртања ротора у зградарству	35
9. Ветропаркови и могућност њиховог повезивања на мрежу	39
Закључак.....	42
Литература.....	43

Увод

Без енергије нема живота, а самим тим неконтролисана употреба енергије представља опасност нашој планети. Један од облика енергије који користимо свакодневно је електрична енергија. Она се најчешће добија сагоревањем фосилних горива у термоелектранама. Због ограничених количина ових ресурса као и због великог загађења атмосфере јавља се потреба за новим изворима енергије. Познато је да се потреба за електричном енергијом у будућности базира на коришћењу обновљивих извора енергије. Један од ресурса, који је данас све више у употреби, је енергије ветра.

У овом раду су детаљано описани обновљиви извори енергије од којих се издваја енергија ветра као и конверзија енергије ветра у друге облике енергије. Наведени су начин на које може да се искористи за напајање потрошача мале снаге. Највећа пажња усмерена је ка истраживању тржишта малих ветрогенератора и начину њиховог повезивања на мрежу, као и погодних локација за њихово коришћење на територији наше земље. Од великог значаја, поред избора локације за постављање ветрогенератора, јесте и увид у инвестициона улгања потребна за њихову имплементацију. На самом крају приказани су постојећи ветропаркови у Србији као и у свету.

Енергија ветра тренутно представља најзаступљенији вид коришћења обновљивих извора енергије у свету. Предност њеног коришћења за добијање електричне енергије је пре свега у неисцрпној количини као и економској оправданости. Недостатак и висока цена фосилних горива на тржити отвара широк простор за коришћење ветрогенератора. Захваљујући томе њихова производња бележи велики раст.

1. Обновљиви извори енергије

Извори електричне енергије деле се на обновљиве и необновљиве изворе енергије. Необновљиви извори енергије су извори енергије који се не могу регенерисати ни поново произвести. То су: угаљ, нафта, природан гас и нуклеарна енергија.

Обновљиви извори енергије су извори енергије који се добијају из природе и који се могу поново обнављати. Данас се све више користе због своје нешкодљивости према околини. Најчешће се користе енергије ветра, сунца и воде.

Обновљиви извори енергије (скраћеница енгл. RES од енгл. *Renewable energy sources*) (слика 1) представљају енергетске ресурсе који се користе за производњу електричне енергије или топлотне енергије, односно сваки користан рад, а чије резерве се константно или циклично обнављају [1].



Слика 1. Обновљиви извори енергије [2]

Обновљиви извори енергије, као што су сунчева светлост, ветар, биомаса и таласи су засновани директно или индиректно на Сунчевој енергији. Водени токови не представљају неминовно обновљив извор енергије, јер на пример, хидролошки пројекти великих размера могу у знатној мери угрозити екосистем. Геотермална енергија је обновљива, али се мора користити са опрезом како се не би проузроковали еколошки ефекти.

Обновљиви извори енергије не могу пресушити, а њихов потенцијал је огроман. Чисти извори енергије могу се користити за генерисање електричне енергије, топлоте, производњу широког спектра горива и драгоцених хемикалија, са много мање утицаја на животну средину него што то имају фосилна горива, која између осталог утичу на стварање ефекта стаклене баште. Ефекат стаклене баште је у највећој мери узрокован емисијом угљен-диоксида од коришћења фосилних горива. На међународном конгресу у Кјото-у (1997. године), постигнут је договор да развијене земље морају смањити емисије гасова стаклене баште. Овај договор познат је као Кјото протокол, и представља основну смерницу друштва да користи обновљиве изворе енергије, а не фосилна горива [3].

Предности које се постижу коришћењем система који користе обновљиве изворе енергије могу се сврстати у три категорије: уштеда енергије, стварање нових радних места и смањење негативног утицаја на животну средину.

Најважнији бенефит од коришћења система ОИЕ (обновљиви извори енергије) је смањење загађења животне средине.

Сви обновљиви извори енергије учествују тренутно са око 18% у производњи електричне енергије у свету. Међутим, како се технологије примене ОИЕ све више развијају у будућности ОИЕ ће заменити значајан део фосилних горива за производњу електричне енергије. Због тога субституција фосилних горива са ОИЕ у циљу производње електричне енергије мора бити важан део било које стратегије смањења емисије CO₂ у атмосферу и борби против климатских промена.

Основни бенефити од коришћења система ОИЕ су [3]:

- **Социјални и економски развој**

Производња обновљиве енергије, нарочито од биомасе, може обезбедити економски развој и могућност запошљавања, поготово у руралним срединама, које иначе имају ограничене могућности за економски раст. Обновљиви извори енергије на тај начин могу допринети смањењу сиромаштва у руралним срединама.

- **Рестаурација земљишта**

Коришћење биомасе у енергетске сврхе на запуштеним земљиштима, поред неопходне енергије, може обезбедити и рурални развој и спречити ерозију земљишта. Поред тога на тај начин се ствара и погодније пребивалиште за животињски свет који живи у том окружењу.

- **Смањење загађења ваздуха**

Технологије примене ОИЕ знатно мање емитују ваздушне полутанте од конвенционалних технологија. Поједине технологије као што су оне у вези са производњом метанола или водоника за аутомобиле са горивим ћелијама, не емитују ни један од полутаната и не захтевају додатне трошкове и контролу емисије.

- **Смањење глобалног загревања**

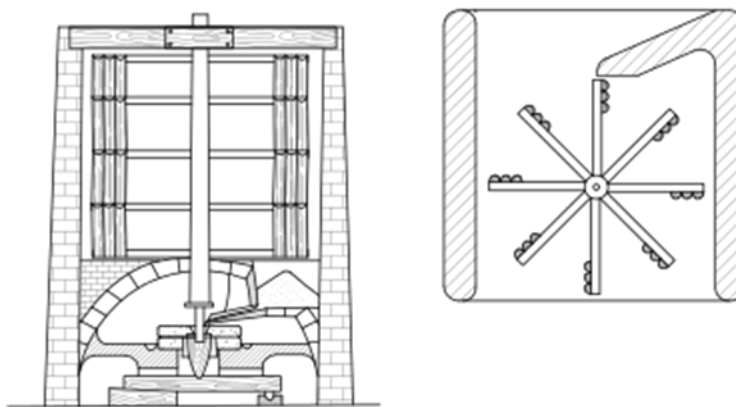
Коришћење ОИЕ не доприноси емисији угљен-диоксида и других гасова стаклене баште који су одговорни за глобално загревање. Чак и коришћење горива од биомасе не доприноси глобалном загревању, пошто је количина угљен-диоксида који се ослободи сагоревањем биомасе једнака оној количини угљен-диоксида коју је биљка апсорбовала из атмосфере у току свог животног циклуса.

- **Разноликост обезбеђења горива**

У будућности коју карактерише интензивно коришћење ОИЕ се може очекивати значајна међурегионална енергетска трговина, која укључује разноликост енергетских носиоца и добављача. Увозници енергије ће бити у прилици да бирају од већег броја произвођача и од више типова горива, него што је то ситуација данас.

2. Коришћење енергије ветра кроз историју

Прва употреба енергије ветра била је за погон бродова на реци Нил пре 5000 година. Многе земље доживеле су свој просперитет захваљујући овом првобитном начину коришћењу енергије ветра, односно својим вештинама једрења, што им је омогућило да развију трговину са другим земљама. Енергија ветра је све до открића парне машине у 18. веку била једини извор енергије коришћен за погон бродова. Касније је енергија ветра коришћена за млевење жита, као и за пумпање воде. Најстарија документована конструкција ветрењаче датира око 200 година п.н.е, а масовно су је користила Персијанци за млевење житарица. То су биле ветрењаче са вертикалом осом и једрима од трске и дрвета (слика 2). Сличне ветрењаче, користе се и дан данас у Авганистану.



Слика 2. Шема персијске ветрењаче са вертикалном осовином [2]

Ове најраније машине су, несумњиво, биле неефикасне али су служиле својој сврси вековима. Биле су направљене од локалних материјала. Њихова величина је била одређена расположивим материјалом. Потреба за већом снагом задовољена је изградњом већег броја ветрењача уместо повећањем њихових габарита.

Прву ветрењачу која је коришћена за производњу електричне енергије конструисао је дански научник Poul la Cour 1891. године. Интересантно је напоменути да је La Cour користио произведену електричну енергију за електролизу воде, стварајући на тај начин водоник (и кисеоник) који је коришћен за осветљавање локалне школе.

До 1910. године у Данској је било инсталирано неколико стотина ветрогенератора капацитета од 5 до 35 kW. Ветрогенератори имали су ротор пречника 20 m, четири лопатице и механичку везу са генератором који је био на земљи. У то време ти ветрогенератори производили су 3% електричне енергије у Данској [3].

3. Енергија и снага ветра

Ветар представља атмосферско кретање ваздушних струја, услед неравномерног загревања Земље сунчевим зрачењем. Површину Земље чине различити типови земљишта и вода, они на различите начине апсорбују сунчеву светлост. Током дана, ваздух изнад тла се много брже загрева него ваздух изнад воде и шири се и подиже, а тежи, хладан ваздух долази на његово место стварајући ветар. Снажни атмосферски ветрови који круже око Земље настају услед тога што се тло у близини екватора више греје, него тло у близини северног и јужног пола. Дакле, енергија ветра је само други облик енергије Сунца. Рачуна се да се нешто мање од 3% енергије Сунца, која падне на Земљу, претвори у ветар [4].

Годишње се преко копнених површина Земље створи око 1.7 милиона TWh енергије у облику ветра. Овај број је знатно већи ако се узме у обзир целокупна планета. Ипак, само мали део укупне енергије ветра може се искористити за добијање корисне енергије. Један од главних ограничавајућих фактора у експлоатацији укупне енергије ветра на копну је конкурентски сценарио коришћења земљишта [3].

У табели 1 дат је приказ годишњег потенцијала ветра у појединим деловима света, који је у суми процењен на 53.000 TWh. Као што је приказано у табели, ресурси ветра су широко распрострањени и доступни у већини делова света. Ови потенцијали знатно су већи од светске тражње за електричном енергијом [3].

Табела 1. Регионални потенцијали ветра [4]

	Расположиви ресурси у TWh/g
<i>Западна Европа</i>	4.800
<i>Северна Америка</i>	14.000
<i>Аустралија</i>	3.000
<i>Африка</i>	10.600
<i>Латинска Америка</i>	5.400
<i>Источна Европа</i>	10.600
<i>Азија</i>	4.600
Укупно	53.000

Енергија ветра се показује као најозбиљнији обновљиви извор енергије при доступном развоју технологије. Основни разлози за то су:

- неизмерна количина енергије ветра у природи;
- могућност претварања енергије ветра у електричну енергију помоћу ветрогенератора;
- пад цена ветрогенератора и пратеће опреме сразмерно све већој употреби енергије ветра;
- еколошки потпуно чист начин претварања енергије и
- мала заузетост земљишта

3.1. Основни параметри ветра

Према Бернулијевој једначини важи:

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = C \quad (3.1.)$$

где је:

$z + \frac{p}{\rho g}$ - потенцијална енергија

$\frac{v^2}{2}$ - кинетичка енергија

Бернулијева једначина описује закон о очувању енергије честице флуида одређене масе. Пошто је потенцијална енергија због мале количине масе ваздуха занемарива, из једначине 3.1. следи да струја ветра има само кинетичку енергију:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (3.2.)$$

Маса ваздуха m која струји кроз пресек A брзином v , густине ρ , једнака је (5) :

$$m = \rho \cdot A \cdot v$$

па се заменом у једначину за кинетичку енергију добија:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^2 \quad (3.3.)$$

где је:

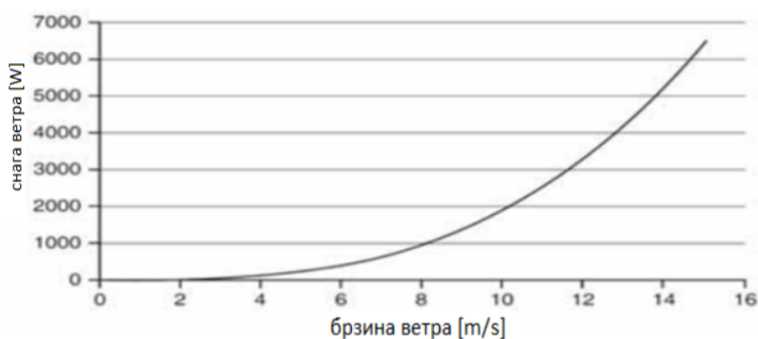
P - снага ветра у W

ρ - густина ваздуха у kg/m^3

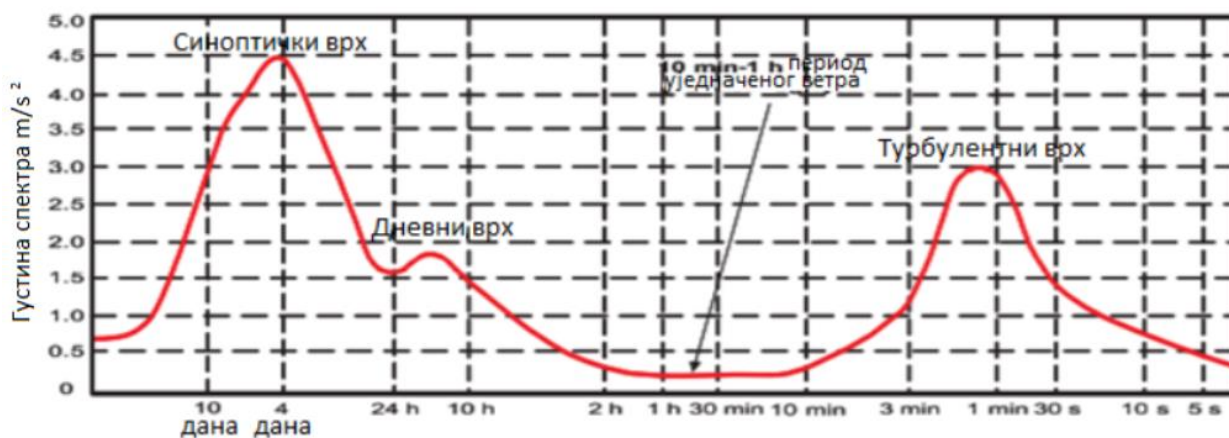
v - брзина струјања ветра у m/s

A – површина ротора турбине у m^2

Из једначине 3.3 се може закључити да снага P расте са кубом брзине ветра (слика 3) и са површином ротора турбине A . Снага се такође мења променом температуре ваздуха због промене његове густине, али се та промена може занемарити. Снага ветра се не може израчунати без учињених мерења брзине ветра на одређеној локацији кроз период од годину и више дана. Брзина ветра се обично мења унутар делова сата. Ако се мерење брзине ветра претвори у спектар снаге за јединицу масе, графички ће се видети два максимума. Први максимум се формира у временском периоду од неколико дана а одвија се у условима атмосферског потпритиска, док други врх припада снази кратког периода вртложења у атмосфери који траје неколико минута (слика 4). Први максимум је погодан за коришћење ветротурбина док се други узима у обзир због удара ветра који изазива динамичка оптерећења конструкције ветротурбине [5].



Слика 3. Пораст снаге ветра са повећањем брзине кретања ветра [5]



Слика 4. Графички приказ брзине ветра кроз временски период [5]

Због променљивости ветра потребно је описати његово понашање у току одређеног временског периода, тј. извршити његово осредњавање. Мерење брзине се врши на висини од 10 m, а период мерења би требало да траје неколико година. *Weibull*-вом расподелом се најбоље апроксимирају прикупљени подаци. Функција даје вероватноћу (учесталост) појављивања неке брзине ветра у посматраном временском периоду.

Са слике 5 се може уочити да се ветрови великих брзина ретко јављају, док су мање брзине ветрова учесталије. Приказани узорак брзина ветрова има средњу вредност брзине од 7 m/s (слика 5), а облик криве одређен је параметром $k=2$. Једначина Weibull-ове расподеле је:

$$f(\sigma) = \frac{k}{A} \cdot \left(\frac{\sigma}{A}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{\sigma}{A}\right)^k}$$

где су:

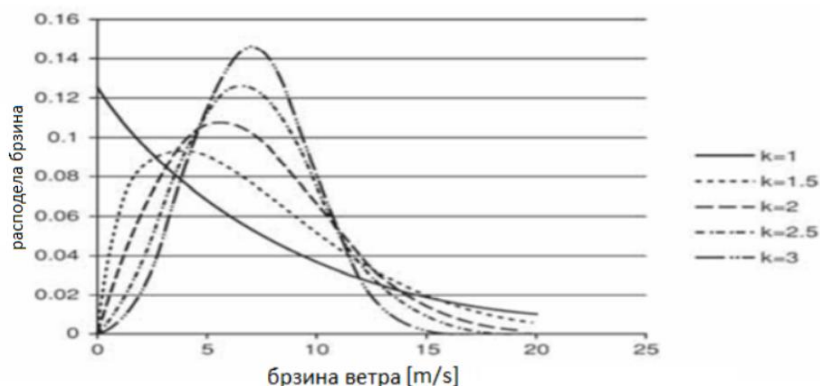
$f(\sigma)$ - учесталост појављивања одређене брзине ветра,

k - параметар облика ветра,

A - очекивана средња брзина ветра на неком подручју,

σ – брзина ветра m/s.

Приказани дијаграм расподеле приказује расподелу учесталости појављивања брзине ветра у процентима. Површина испод криве је један, пошто је вероватноћа дувања ветра одређена брзином 100%, укључујући и брзину од 0 m/s. Брзина ветра од 6,6 m/s дели површину на два једнака дела, па се та брзина назива и меридијан расподеле. Због великих разлика у начину дувања ветра широм Земље, што зависи од локалних услова, Weibull-ова расподела се разликује по облику и по својој средњој вредности. Произвођачи ветротурбина обично вредности искоришћења ветротурбина изражавају користећи Rayleighevu расподелу. Јачина ветра се углавном исказује Бофоровом скалом [5].



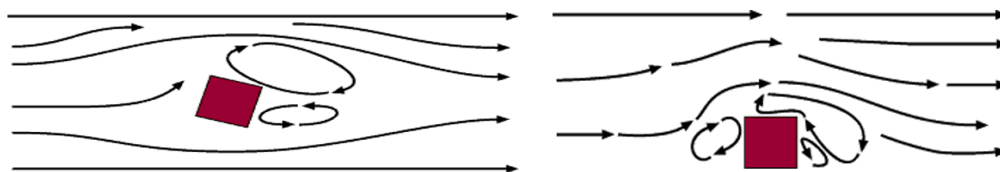
Слика 5. Графички приказ заступљености ветрова великих и малих брзина кретања [5]

3.2. Фактори који утичу на искористивост енергије ветра

Тунел ефекат - простори између две зграде или између планинских пролаза представљају уски простор кроз који ветар струји брже. То се догађа због стишљивости (згушњавања) ваздуха. Принцип је исти као код струјања флуида кроз ужи пресек цеви. Брзина ветра околине може бити 5 m/s, а у простору између зграда или планина може достигати брзине и до 8 m/s.

Ефекат убрзавања или ефекат брда – уобичајени начин постављања ветротурбина је постављање на врх брда или на узвишице. На тај начин добија се слободан простор који може да обухвати све очекиване смерове ветра. Такође, на узвишицама су брзине ветра веће него у нижој околини. То је због стишљивости ваздуха са ветровите стране брда и у моменту доласка до врха може се поново ширити и спустити у подручје ниског притиска. Када ветар прође кроз турбину постаје турбулентан и уколико рељеф околине није једноличан може доћи до значајних турбуленција ваздуха које могу негативно утицати на коришћење ветротурбине (слика 6).

Препреке – на које ветар наилази на путу до ветротурбине ометају његово струјање и тиме умањују ветропотенцијал. То су најчешће куће, дрвеће и формације стена. Препреке узрокују непожељне турбуленције у близини ветротурбина.

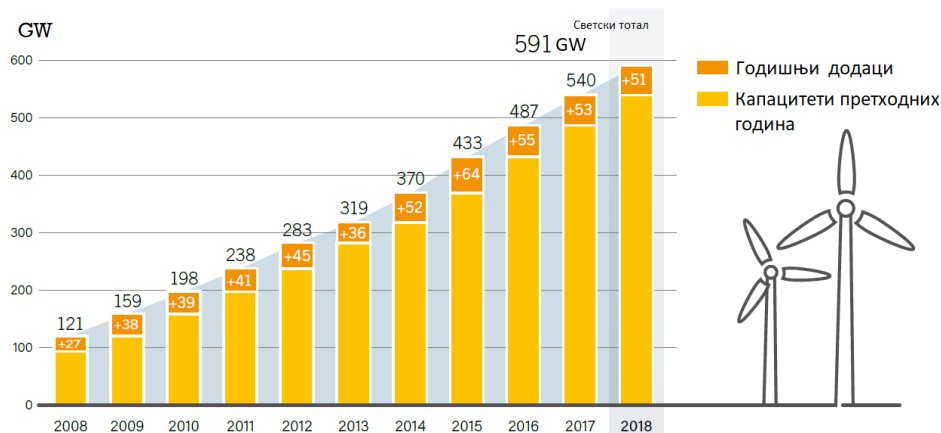


Слика 6. Негативан утицај препреке на струјање ветра и појава турбуленција [6]

Дневни и ноћни температурни градијент - у већини локација на земљи дању је ветровитије него ноћу. Та промена узрокована је тиме што су температурне разлике веће дању него ноћу. Ветар је дању турбулентнији и чешће мења смер у односу на ноћ када су турбуленције мање [6].

3.3. Преглед актуелног стања коришћења енергије ветра у свету

У 2018. години, глобално тржиште енергије ветра је и даље било прилично стабилно, са око 51 GW капацитета инсталираног широм света (укључујући скоро 47 GW на копну и 4,5 GW у близини обале), што је отприлике 4% мање у односу на 2017. годину. Инсталације на копну одговорне су за читав пад тржишта. Ово је такође била пета узастопна година са годишњим додацима већим од 50 GW, али уједно и трећа година пада након врхунца из 2015. године, када је само Кина инсталирала више од 30 GW пре промена политике. Додаци у 2018. години повећали су кумулативни капацитет за 9% на 591 GW (са око 568,4 GW на копну и 22,6 GW у близини обале). На слици 7 је представљен глобални капацитет енергије ветра, као и годишњи додаци, од 2008. до 2018. године [7].



Слика 7. Глобални капацитет енергије ветра и годишњи додаци, 2008-2018 [7]

Након 2017. године, која је представљала рекордну годину за Европу и Индију када је у питању енергија ветра, ова тржишта доживљавају пад у 2018. години, док је у неколико других региона и земаља забележен значајан раст. Тржишта у развоју широм Африке, Југоисточне Азије, Латинске Америке и Блиског Истока заједно су чинила скоро 10% нових инсталација, у односу на 8% претходне године. Нови ветропаркови достигли су пуни комерцијални рад у најмање 47 земаља током 2018. године, а најмање 3 земље (Босна и Херцеговина, Индонезија и Косово) представиле су своје прве комерцијалне пројекте. До краја године, број земаља које су развиле неки ниво комерцијалних капацитета ветроелектрана био је најмање 103, а 33 земље – представнице сваког региона - имале су више од 1 GW рада.

Брзи пад трошкова по kW/h (и на копну и у близини обале) учинио је енергију ветра најјефтинијом опцијом за нове капацитете за производњу електричне енергије на великом и растућем броју тржишта широм света. Као резултат тога, економија енергије ветра постала је главни покретач нових инсталација. Изван Кине и Сједињених Држава, већина глобалне потражње у 2018. години резултат је тендера и других тржишних политика.

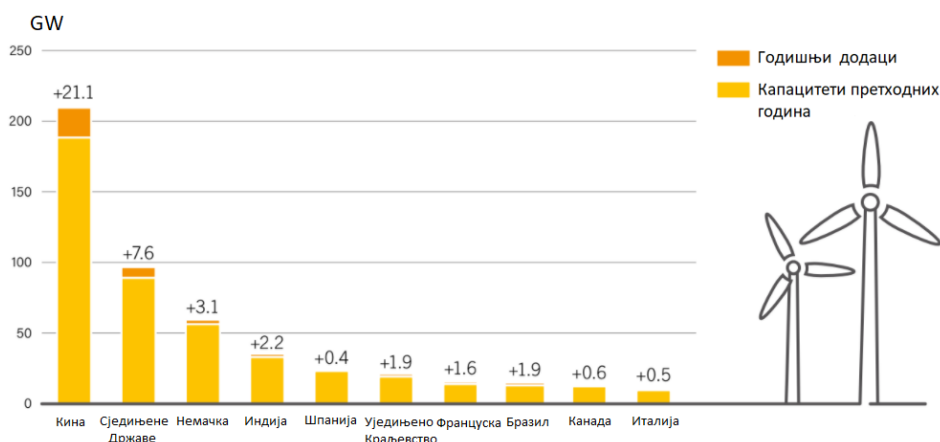
Циљеви везани за обновљиву енергију и смањење емисије CO₂ су и даље важни покретачи за развој и примену енергије ветра, као и за друге обновљиве изворе енергије. Такође је значајна потреба за обимном количином енергије по ниској цени како би се задовољила брзо растућа потражња за електричном енергијом или заменили угаљ и нуклеарни енергетски капацитети.

Снага ветра обезбеђује значајан удео електричне енергије у све већем броју земаља. У 2018. години енергија ветра покривала је процењених 14% годишње потрошње електричне енергије у ЕУ и једнак или већи удео у најмање шест појединачних држава чланица, укључујући Данску, која је 40,8%¹ своје годишње потрошње електричне енергије задовољила енергијом ветра. У 2018. години, најмање 12 земаља широм света је испунило 10% или више годишње потрошње електричне енергије енергијом ветра, док неке - укључујући Костарика, Никарагва и Уругвај - бележе брзи пораст. У Уругвају је удео

¹ Снага ветра чинила је 48% нето производње у Данској током 2018. године. Постоји разлика између производње (електричне енергије произведене у границама земље) и потрошње услед увоза и извоза електричне енергије и губитака у преносу.

производње енергије ветра порастао више него пет пута за само четири године, са 6,2% у 2014. години на 33% у 2018. години. Удели производње енергије ветра су такође били високи на поднационалном нивоу у неколико земаља. До краја године, глобални капацитет снаге ветра, који је био у функцији, био је довољан да допринесе процењених 5,5% укупне производње електричне енергије.

Већ десету годину заредом, Азија је била највеће регионално тржиште, представљајући готово 52% додатог капацитета, са укупним бројем који премашује 262 GW до краја године. Европа (скоро 22%), Северна Америка (скоро 16%) и Латинска Америка и Кариби (преко 7%) чинили су највећи број остатка инсталација у 2018. години. Кина је задржала вођство у погледу нових капацитета (и на копну и у близини обале), а далеко су је пратиле Сједињене Државе, Немачка, Индија и Бразил, са Уједињеним Краљевством. Остале земље које су се налазиле међу првих 10 када је реч о додатном капацитету биле су Француска, Мексико, Шведска и Канада. Што се тиче кумулативног капацитета, првих 10 земаља је остало непромењено у односу на 2017. годину (слика 8).



Слика 8. Капацитет енергије ветра и додаци, првих 10 земаља, 2018 [7]

Кина је 2018. године постала прва земља која је премашила 200 GW капацитета енергије ветра, и забележила је пораст нових инсталација (пораст од 7,5%) након две године опадања. Додато је приближно 21,1 GW (19,5 GW на копну и скоро 1,7 GW у близини обале) што је довело до укупног инсталираног капацитета од скоро 210 GW. Око 20,6 GW је интегрисано у националну мрежу почевши да прима FIT премију 2018. године, с приближно 184,3² GW који су сматрани службено повезаним на мрежу до краја године [7].

² Статистички подаци се разликују међу кинеским организацијама и агенцијама као резултат онога што рачунају и када рачунају.

3.4. Потенцијали енергије ветра у Србији

Србија је земља која се не налази на врху списка земаља које имају висок степен искоришћења потенцијала ветра. Од свих расположивих извора енергије у нашој земљи, налети ветрова, ма колико се чинили силовитим, имају најмањи потенцијал. Међутим, постоје подручја у којима се енергија ветра може искористити.

Најпогодније локације за коришћење енергије ветра су:

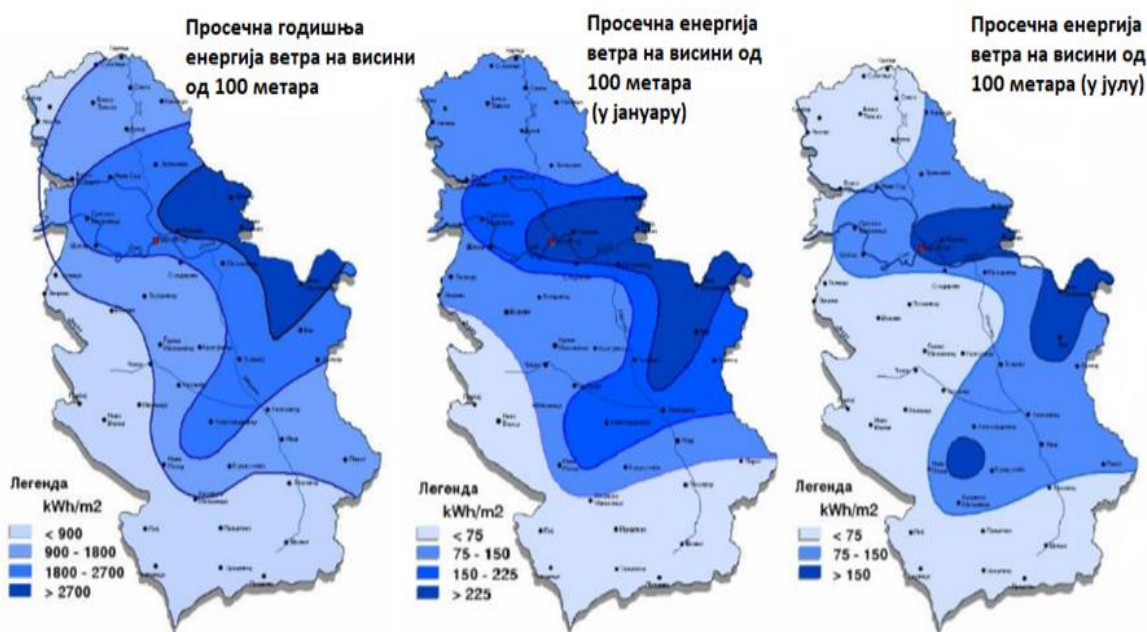
- Панонска низија, северно од Дунава и Саве. Ова област покрива око 2000 km² и погодна је за изградњу ветроелектране јер је изграђена путна инфраструктура, постоји електрична мрежа, близина великих центара потрошње електричне енергије.
- Источни делови Србије - Стара планина, Власина, Озрен, Ртањ, Црни врх. У овим регионима постоје локације чија је средња брзина ветра преко 6 m/s. Ова област просторно покрива око 2000 km² и у њој би перспективно могле да се изграде ветроелектране значајних инсталисаних снага.
- Златибор, Копаоник, Дивчибаре су планинске области где би мерењем могле да се утврде погодне микролокације за изградњу ветроелектрана. Очекује се да се у овој области, могу инсталирати већи капацитети ветроелектрана.

Резултати ранијих студија показују да је територија Војводине у зони где је брзина ветра од 3,5 – 4,5 m/s. На појединим местима (Фрушка гора, Вршачки брег, Јужни банат) брзина ветра је од 4,5 – 6 m/s. На Вршачком брегу дефинисане су две локације са брзинама преко 6 m/s. Са савременим технологијама ветроелектрана, које омогућују исплативи рад при мањим брзинама (већ изнад 3 m/s), могуће је поставити веће капацитете, па се може рећи да је потенцијал значајан.

Електрична енергија добијена из ветра свакако је најчистији облик енергије. Иако су од 1980. године до данас направљени велики помаци у вези са искоришћавањем овог облика енергије, ипак се мора рећи да је користе оне земље чији су ресурси ветра истражени и што је најважније, оне земље које имају финансијску могућност за таква улагања [4].

Процењено је да је технички искористив потенцијал у Србији око 2.300 GWh годишње. Овај потенцијал може заменити око 2% укупне потрошње електричне енергије. Потенцијал може бити и већи како се овај енергетски сектор буде развијао. Тренутни капацитет је 1.300 MW инсталисане снаге, што је око 15% укупних енергетских капацитета Србије. Интерес страних инвеститора је повећан управо изградњом прве фарме ветрењача у Инђији (11 ветрењача укупне снаге 25 MW) [8] [9].

Највећа просечна годишња брзина ветра забележена је мерењем на територији општине Неготин, док су нешто мањи подаци регистровани у општинама Тител и Велико Градиште. На слици 9 приказана је просечна енергија ветра у Србији.



Слика 9. Просечна енергија ветра у Србији [9]

Највећа енергија ветра (преко 500 W) забележена је у делу Србије у близини границе са Румунијом, на територији општине Вршац, са протежањем до Београда. Нешто ниже вредности, које се крећу у распону од 100 до 500 W забележене су на највећој територији Србије, док су ниже вредности ветра, испод 100 W, које се не могу сматрати прихватљивом са аспекта изградње ветрогенератора, забележене на територије Јужне и Западне Србије.

Први ветропаркови у Србији изграђени су тек у последњих неколико година. Од октобра 2016. године пуштен је у рад ветропарк “*La pikolina*” (слика 10) у месту Загајица код Вршца. Ипак, изградња великих ветрогенератора у Србији припада будућности [9].



Слика 10. Ветропарк “*La pikolina*” у Загајици [9]

3.5. Конверзија енергије ветра у друге облике енергију

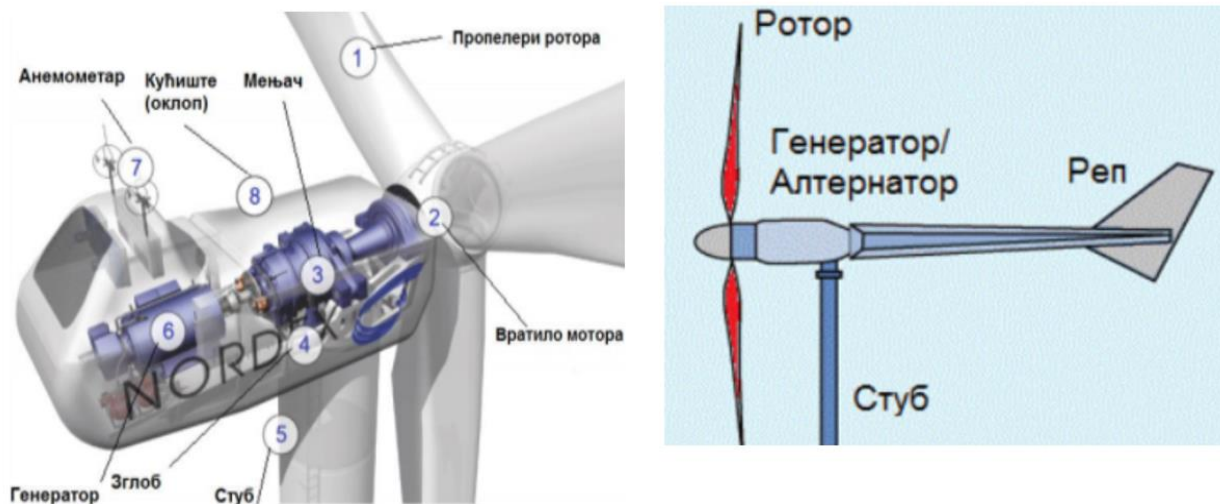
Кинетичка енергија ветра није погодна за директно конвертовање у електричну енергију, већ се мора прво свести на облик, који се може употребити за производњу електричне енергије. Сви конвенционални електрични генератори као улазни облик енергије, користе механичку енергију обртних маса.

Из овога следи да је енергију ветра потребно превести у механичку енергију, користећи турбине на ветар. Конверзија кинетичке енергије ветра у кинетичку енергију вратила генератора одвија се путем лопатица ротора ветротурбине.

При томе је вратило заједничко за турбину и електрични генератор, али се и између њих налази и одговарајући мултипликатор који брзину обртања ветротурбине (која износи неколико десетина обртаја у минути) прилагођава захтеваној брзини генератора.

У генератору долази до конверзије кинетичке енергије ветра у електричну енергију, па се цело постројење често назива и ветрогенератором. Генератор може бити синхрони или асинхрони, при чему се може радити са фиксном или променљивом брзином обртања.

Повезивање ветрогенератора на електроенергетску мрежу остварено је помоћу енергетског трансформатора. Једна или више ветротурбина са припадајућом опремом (генератор, редуктор, кућиште, стуб, регулација, трансформатор итд.) чини ветроелектрану [10].



Слика 11. Основни делови мале и велике ветротурбине [11]

4. Класификација ветрогенератора

На основу силе која изазива обртање ротора ветрогенератори се класификују у две групе:

- ветрогенератори чији су ротори погоњени претежно силом отпора, и
- ветрогенератори чији су ротори погоњени претежно силом узгона.

На основу снаге ветрогенератора они се класификују у следеће групе:

- мали ($< 25 \text{ kW}$),
- средњи ($< 25 - 100 \text{ kW}$),
- велики ($< 100 - 1000 \text{ kW}$), и
- веома велики ($> 1000 \text{ kW}$).

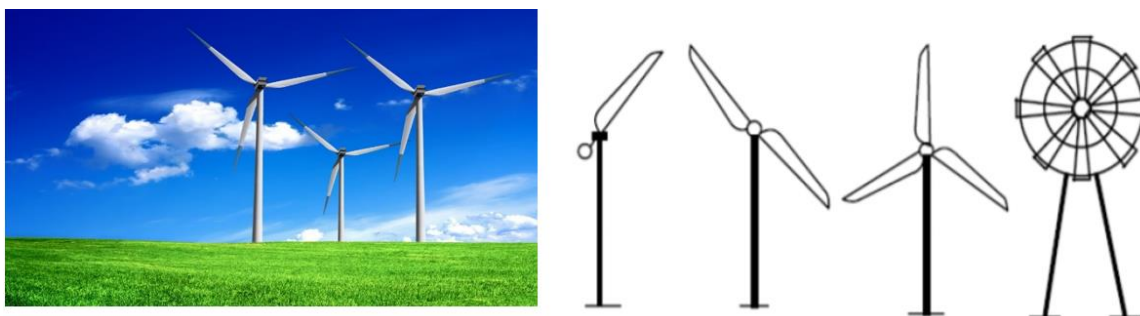
На основу конструкције ветрогенератори се могу класификовати у две главне категорије:

- ветрогенератори са хоризонталном осом обртања ротора, и
- ветрогенератори са вертикалном осом обртања ротора.

4.1. Ветрогенератори са хоризонталном осом обртања

Ветрогенератори са хоризонталном осом обртања ротора имају осу ротације радног кола паралелну са тлом и скоро паралелну са струјом ваздуха. Већина комерцијалних ветрогенератора спада у ту категорију. Ова врста ветрогенератора одликује се способношћу производње електричне енергије за мале вредности брзина ветра и лако могућношћу искључивања при великим брзинама ветра. Они имају високе коефицијенте снаге. Међутим, генератор и редуктор код ових ветрогенератора неопходно је поставити изнад торња што поскупљује њихову конструкцију. Други недостатак је потреба за заокретањем ротора у правцу дувања ветра.

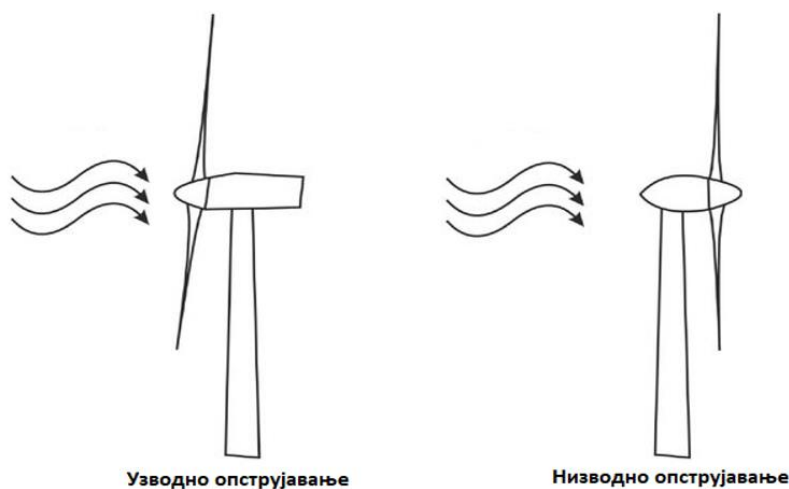
У зависности од броја лопатица ротора, ветрогенератори са хоризонталном осом се даље класификују на ветрогенераторе са једном лопатицом, две лопатице, са три лопатице и са више лопатица (слика 12) [3].



Слика 12. Подела хоризонталних ветрогенератора према броју лопатица [3]

Ветрогенератори са једном лопатицом су јефтинији због уштеде материјала, а такође имају и најмање сила отпора. Међутим, да би се уравнотежио ротор, мора се поставити противтег на супротној страни главчине. Овакав тип ветрогенератора није нарочито популаран због проблема балансирања, као и због визуелне прихватљивости. Ови недостаци су такође присутни, али у мањој мери и код ветрогенератора са две лопатице. Већина садашњих комерцијалних ветрогенератора за производњу електричне енергије има роторе са три лопатице. Такође постоје и ветрогенератори са већим бројем лопатица. Однос између укупне површине лопатица пројектоване на раван управну на осу обртања ротора и површине ротора назива се солидност. Овај фактор везан је за број лопатица па ветрогенератори са већим бројем лопатица имају велику солидност ротора. Ротори са великом солидношћу могу стартовати раније, јер је већа површина ротора иницијално у интеракцији са ваздушном струјом, док ротори са малом солидношћу могу захтевати иницијално стартовање од стране неког извора.

У зависности од начина на који ветар наилази на лопатице ротора, ветрогенератори са хоризонталном осом обртања могу се класификовати на ветрогенераторе са узводним опструјавањем и ветрогенераторе са низводним опструјавањем ветра (слика 13).



Слика 13. Класификација ветрогенератора са хоризонталном осом према начину опструјавања ветра [12]

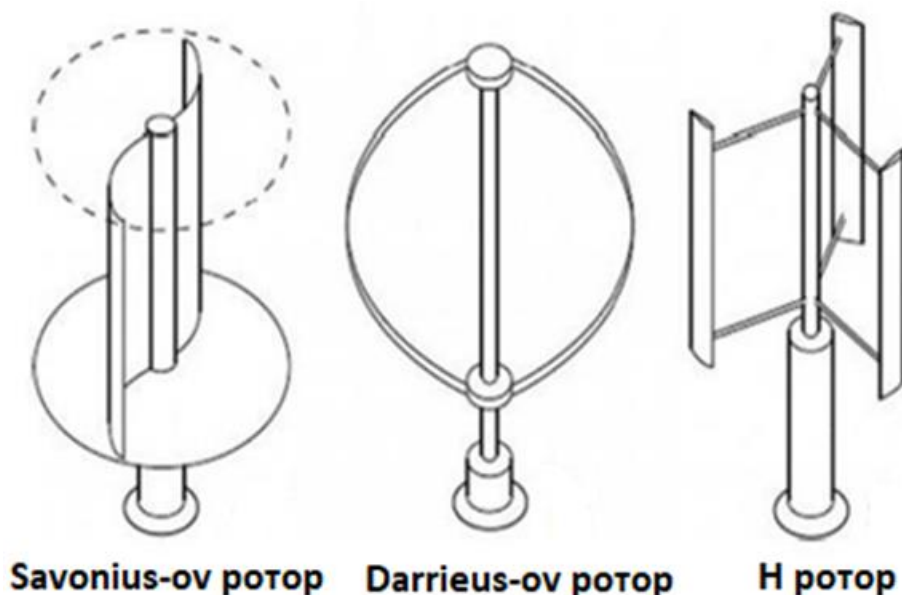
Ветрогенератори са низводним опструјавањем немају потребу за активним системом заокретања ротора у правцу дувања ветра, пошто се сам ветрогенератор понаша као ветроказ. Са друге стране, торањ и кућиште производе талас у низводном правцу кроз који пролазе лопатице ротора и који представља извор периодичног оптерећења, што може да проузрокује замор. Такође пролазак лопатица кроз тај талас представља и извор буке. Овај ефекат таласа који се још назива и „сенка торња“ (*tower shadow*), може се до извесне мере ублажити дизајном торња који обезбеђује минималну опструкцију струје ваздуха.

Ветрогенератори са узводним опструјавањем су чешће у примени и њихова основна предност је што струја ваздуха прво наилази на ротор тако да не постоји проблем око ефекта „сенке торња“. Ова предност огледа се у мањој буци, мањем замору лопатица и уједначеној излазној снази. Међутим, они захтевају механизам за заокретање ротора у правцу ветра [12].

4.2. Ветрогенератори са вертикалном осом обртања

Ветрогенератори са вертикалном осом обртања ротора имају осу ротације радног кола која је вертикална или приближно нормална на правац струје ваздуха. Ветар из било којих праваца може покренути ове ветрогенераторе тако да не постоји потреба за сложеним системима за заокретање ротора. Генератор и редуктор код оваквих система могу се поставити на тлу, што чини конструкцију торња једноставном и економичном. Одржавање ових ветрогенератора углавном је на нивоу тла. Главни недостатак ветрогенератора са вертикалном осом је што они углавном не могу самостално стартовати, већ је неопходан додатни механизам који ће покренути ротор када је у стању мировања. Постоји опасност да се ротор обрће великим бројем обртаја уколико се не контролише, што може представљати проблем.

Ветрогенератори са вертикалном осом (слика 14) се класификују према својој конструкцији на ветрогенераторе са *Savonius* - овим ротором, ветрогенераторе са *Darrieus* - овим ротором, и ветрогенераторе са Н ротором [12].

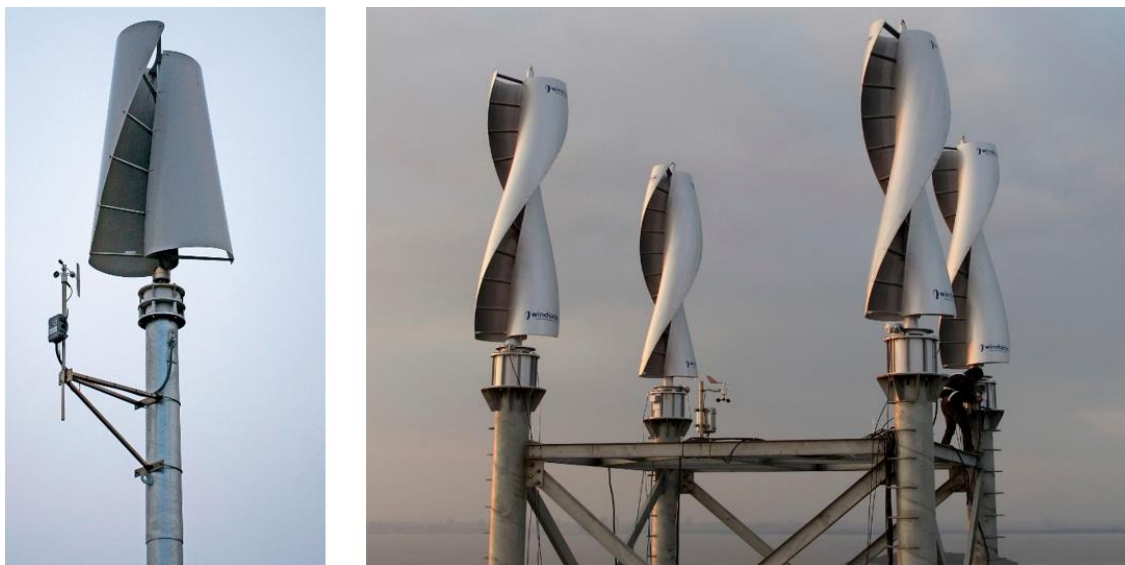


Слика 14. Класификација ветрогенератора са вертикалном осом [12]

4.2.1. Ветрогенератор са Savonius-овим ротором

Ветрогенератори са Savonius-овим ротором (слика 15) имају једну од најједноставнијих конструкција. Ови ветрогенератори носе име по финском инжењеру Savonius-у, који их је изумео 1922. године. Ротор ових ветрогенератора састоји се од две полуцилиндричне лопатице које формирају попречни пресек ротора у облику слова „S“. Оваква конфигурација ротора омогућава да ветар наилази на конвексну страну једне лопатице и на конкавну страну друге лопатице. Обртање Savonius-овог ротора засновано је углавном на дејству сила отпора. Коефицијент отпора конкавне површине већи је него

коэффициент отпора конвексне површине. Због тога је сила отпора на оној лопатици чија је конкавна страна усмерена ка ветру већа од силе отпора која делује на лопатицу чија је конвексна страна усмерена ка ветру, што проузрукује ротацију ротора. Да би се ублажиле флукуације момента током ротације ротора, често се постављају два или више ротора фиксирана један изнад другог под различитим угловима у односу на осу обртања.

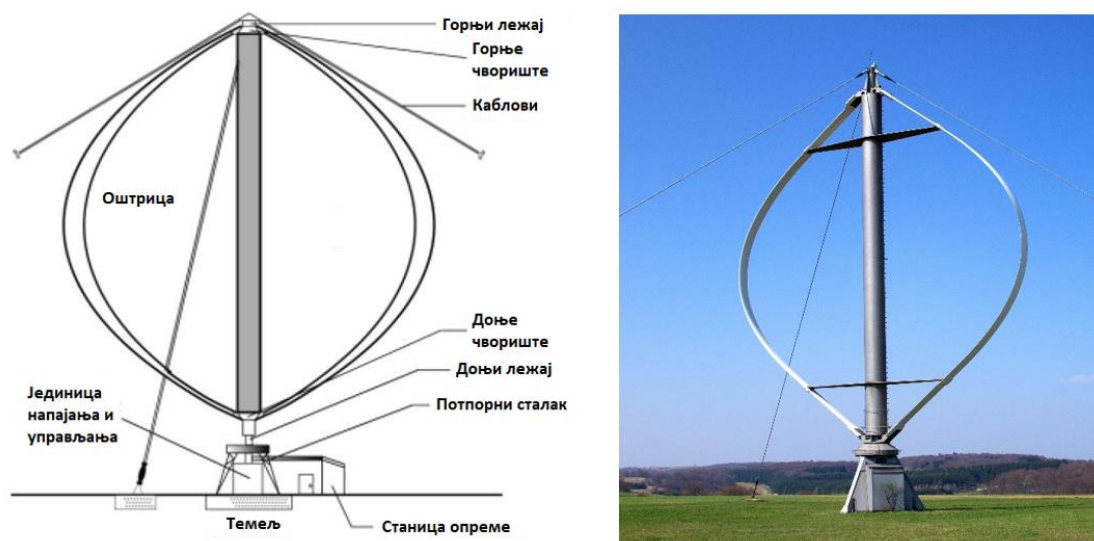


Слика 15. Savonius-ов ветрогенератор [12]

Када је ротација Savonius-овог ротора заснована на сили отпора, а не на сили узгона, ветрогенератори имају мањи коэффициент снаге. Ови ротири имају велику солидност и због тога и велики стартни момент, па су погодни за примене које захтевају мале брзине обртања и високе вредности момената, као што је пумпање воде [12].

4.2.2. Ветрогенератори са Darrieus-овим ротором

Ветрогенератори са Darrieus-овим ротором (слика 16) носе име по француском инжењеру Darrieus-у, који их је изумео 1931. године. Сила која проузрукује обртање ротора Darrieus-овог ветрогенератора представља узгонску силу која се генерише на лопатицама аеродинамичког профила. Darrieus-ов ротор обично се обрће великим обимским брзинама, што га чини погодним за генерисање електричне енергије. Међутим они се не могу самостално стартовати и захтевају спољашњи извор енергије за постизање минималне брзине ротора. Постоје проблеми заштите Darrieus-овог ветрогенератора у условима екстремно јаких ветрова. Како се већина масе ветрогенератора налази у периферном делу, јављају се велике центрифугалне силе, па цела конструкција мора бити довољно јака да ове силе издржи.



Слика 16. Darrieus-ов ветрогенератор [12]

4.2.3. Ветрогенератор са Н- ротором

Једна од најчешће коришћених конструкција је такозвани жиромил, односно ветрогенератор са Н ротором, код кога је уобичајни јајасте облик ротора замењен вертикалним лопатицама. Конструкција ветрогенератора са Н-ротором је много једноставнија од класичног Darrieus-овог ветрогенератора, али је структура знатно масивнија да би могла да издржи додатна оптерећења [12].

5. Управљање радом ветрогенератора

У овом делу поглавља биће најпре дат појмовник основних структурних делова ветроагрегата, а затим изнете важне чињенице које су од велике важности за управљање радом ветротурбина, и битно зависе од врсте примењеног генератора електричне струје.

Анемометар (*anemometer*): Мери брзину ветра и тај податак прослеђује до контролера.

Елисе (*blades*): Већина турбина има две или три елисе. Ветар дува преко елиса подижући их, што доводи до ротације (јер су елисе причвршћене једним крајем)

Кочница (*brake*): Диск кочница која служи да заустави ротор у случају опасности или сервисирања и може бити механичка, електрична или хидраулична.

Контролер (*controller*): Контролер стартује машину при брзини ветра од око 16-26 km/h и зауставља при брзини од око 100 km/h. Турбина не сме да буде у погону при брзинама већим од 100 km/h због могућности прегревања и тзв. разлетања ротора услед дејства центрифугалних сила.

Мењач (*gear box*): Повезује зупчаницима вратило мале брзине са вратилом велике брзине и уједно повећава брзину ротације 20-60 o/min на отприлике 1200-1500 o/min, колико захтева већина генератора за производњу електричне енергије. Мењач је врло скуп и тежак део турбине и истражују се генератори који раде на нижим ротационим брзинама и не захтевају мењаче.

Генератор: Синхрони или асинхрони генератори. Који ће тип бити изабран зависи од начина везивања генератора са мрежом.

Вратило велике брзине (*high-speed shaft*): Директно погони генератор.

Вратило мале брзине (*low-speed shaft*): Директно је везано за ротор и ротира од 20 до 60 o/min.

Кућиште: Ротор је везан за кућиште, које је постављено на торањ и у себи садржи: мењач, вратила велике и мале брзине, генератор, контролер и кочницу. Поклопац штити компоненте унутар кућишта. Нека кућишта су димензија довољних да техничар стоји унутар њих док ради.

Ротор: Елисе и главчина заједно чине ротор.

Торањ (*tower*): Торњеви су направљени од цевастог челика или челичне мреже. Због повећања брзине ветра са висином виши торњеви омогућавају турбини да прихвати више енергије од ветра и генерише електричну енергију.

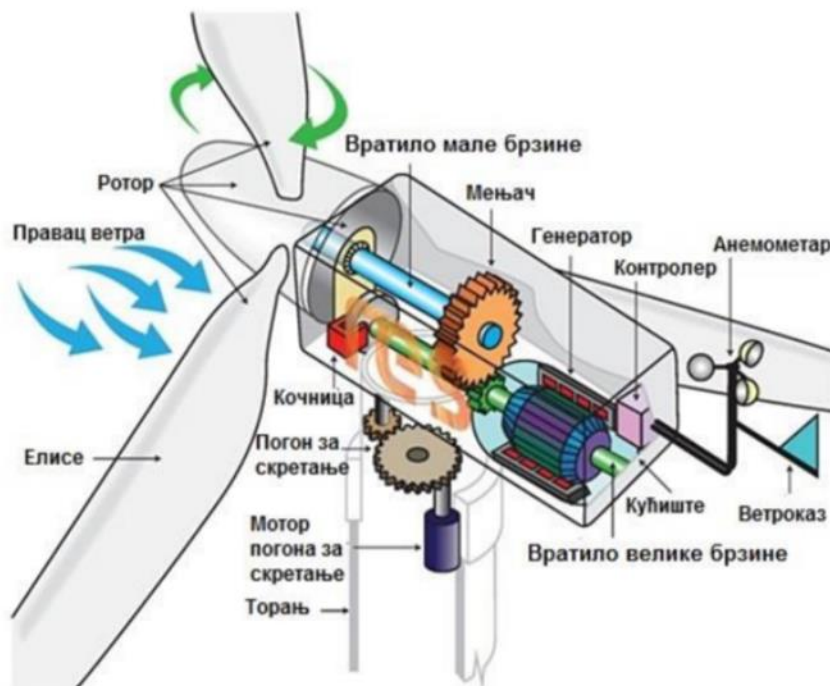
Смер ветра (*wind direction*): На слици је приказана тзв. “upwind“ турбина, зато што је при раду окренута ка ветру. Друга врста турбина је “downwind“ јер је окренута при раду од ветра.

Ветроказ (*wind vane*): Одређује смер ветра и комуницира са погоном за скретање ради исправне оријентације турбине у односу на ветар.

Погон за скретање (*yaw drive*): Окреће upwind турбине према ветру; служи да ротор буде

окренут ка ветру без обзира на смер дувања. Downwind турбине не захтевају погон за скретање.

Мотор погона за скретање (*yaw motor*): Погони скретања кућишта (ротора).



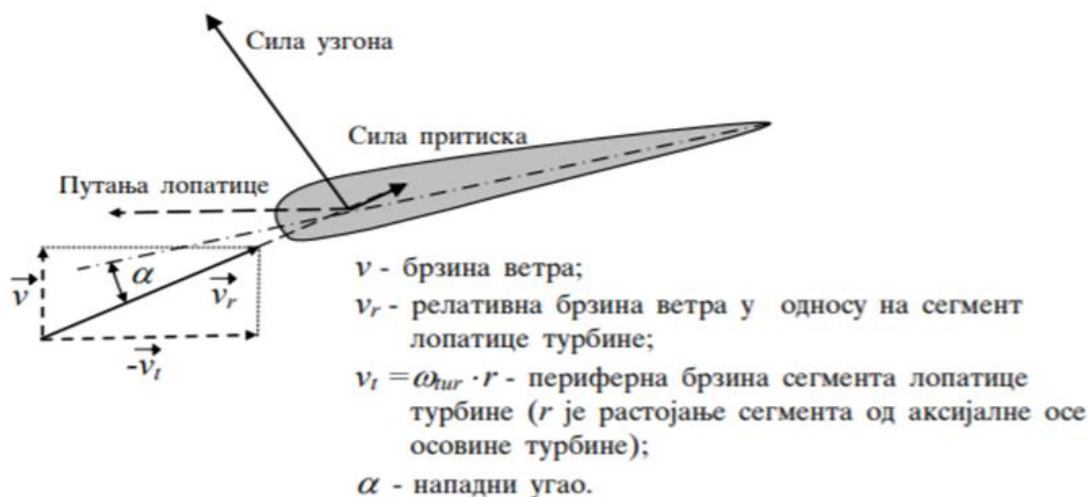
Слика 17. Главни делови ветрогенератора [10]

Последњих деценија 20. века показало се да ветар представља значајан ресурс у генерисању електричне енергије. Али и даље остаје проблематична брзина ветра која варира у времену, а тиме и брзина ротора турбине, што резултира наизменични излазни напон променљиве учесталости, који је непогодан за везивање на стандардну дистрибутивну мрежу [10].

6. Механичка карактеристика ветротурбине

Конверзија кинетичке енергије ветра у обртно кретање турбине се врши захваљујући аеродинамичком профилу лопатица ветротурбине. На слици 18 приказан је попречни профил лопатице ветротурбине и означене су силе које делују на њу. Лопатица турбине има аеродинамички профил, ваздух са задње стране лопатице струји брже од ваздуха са предње стране, посматрајући у смеру ветра. Услед разлике у брзинама струјања ваздуха јавља се разлика у притисцима са предње и задње стране лопатице турбине, што узрокује узгонску силу, чија пројекција на раван ротације генерише обртни момент. Поред ове силе делује и сила директног притиска ветра на лопатицу али је њен утицај на обртни момент много мањи.

За све силе које делују на лопатицу релевантна је брзина ветра (v) и обимна брзина (v_t) посматраног сегмента дела лопатице, односно релевантна брзина ветра у односу на лопатицу турбине. Сваки сегмент лопатице има различиту брзину (сегменти даљи од осе ротације имају већу обимну брзину) релевантна брзина се такође мења дуж лопатице.



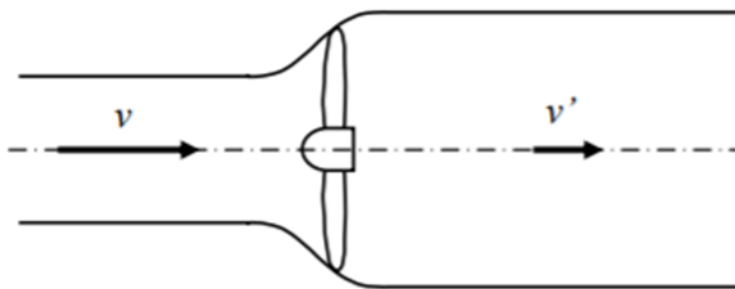
Слика 18. Дијаграм сила које делују на лопатицу ветротурбине [13]

Идући од осе ротације ка периферији лопатице релевантна брзина ветра се повећава а њен нападни угао у односу на осу ротације се смањује. Зато су лопатице ветротурбине увијене дуж аксијалне осе. Сегменти лопатице блиски оси ротације имају већи угао у односу на раван ротације, док периферни сегменти имају мали угао у односу на раван ротације.

На ефикасност ветротурбине утичу: ламинираност струјања ветра, стање површине лопатица, густина, влажност и температура ваздуха и други фактори.

При проласку ветра кроз ветротурбину један део његове кинетичке енергије се предаје ротору. Макроскопски гледано ветротурбина успорава ветар. Количина ваздуха која улази у ветротурбину једнака је количини ваздуха која из ње излази. Излазна брзина ветра је мања од улазне, те ваздух који излази из турбине захвата пресек већег пречника. Овај ефекат се назива преламање ветра (слика 19).

Како ветра прилази ветротурбини притисак испред ње постепено расте, јер се она понаша као баријера која је на путањи ветра. Струјнице ваздуха услед тога почињу да се преламају тежећи да “обиђу” ветротурбину. Услед таквог опструјавања, притисак изнад турбине нагло опада, а затим постепено расте до вредности која одговара атмосферском притиску [13].



Слика 19. Преламање ветра у ветротурбини [13]

Енергетски посматрано ветротурбина одузима енергију ветру која је сразмерна разлици кинетичких енергија ветра пре и након проласка кроз турбину. Снага којом се врши конверзија енергије ветра, односно механичка снага P_{meh} коју развија ветротурбина на свом вратилу је:

$$P_{meh} = \frac{1}{2} c_p \rho \pi R^2 v^3$$

где је:

v – брзина ветра на улазу у ветротурбину,

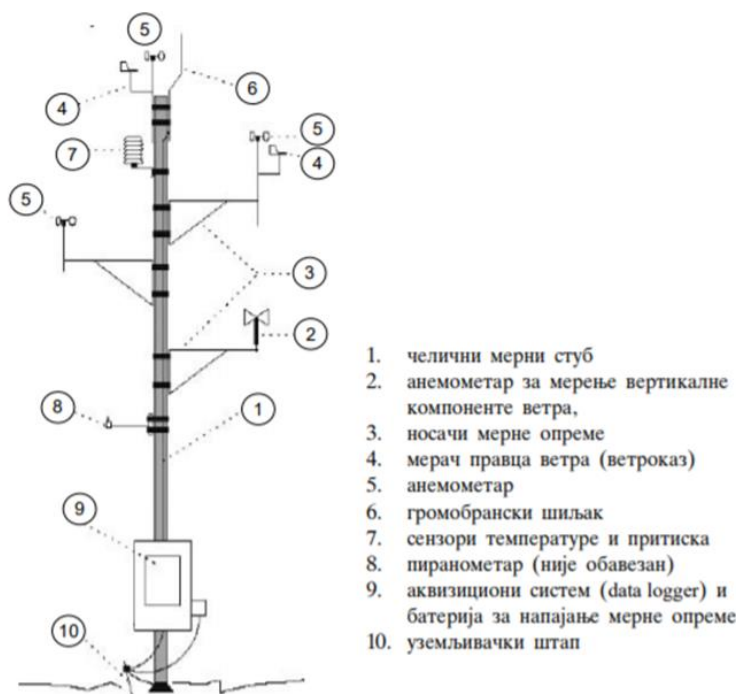
R – радијус ветротурбине,

ρ – густина ваздуха,

c_p – коефицијент искоришћења снаге ветротурбине, која се дефинише као однос механичке снаге ветротурбине према одговарајућој снази ветра на улазу у ветротурбину.

7. Анализа и одабир локације за постављање ветрогенератора

Избор локације за постављање ветроагрегата је најважнија фаза при планирању изградње ветроелектране. Најбитнији параметар при анализи погодности локације за постављање ветроагрегата је брзина ветра. У почетној фази одређивања локације најчешће се располаже само метеоролошким подацима. На основу тих података, односно средњих годишњих брзина ветра, потребно је издвојити регионе у којима постоје потенцијално погодне микролокације за постављање ветроагрегата. Од интереса су локације у којима је средња годишња брзина ветра мерена на 10 m изнад тла (стандардна висина на коју се постављају анеомонетри у хидрометеоролошким станицама) $v_{sr} \geq 5 \text{ m/s}$. На основу конфигурације терена, прелиминарних мерења и консултација са метеоролозима треба одабрати микролокације на којима се морају извршити наменска мерења параметара ветра. На основу ових мерења, са одговарајућом опремом, могу се проценити енергетски ресурси ветра. Постоје различити системи за мерење релевантних параметара за естимацију ресурса ветра. На слици 20 приказана је конфигурација система за мерење ресурса ветра ради процене погодности локације за постављање ветроагрегата.



Слика 20. Мерно-аквизициони систем за одређивања ветроенергетског потенцијала [13]

Број анеометара и мереча праваца ветрова зависе од висине мерног стуба. Од велике важности је да инструменти буду поуздани и тачни. Грешка од 10% у мерењу брзине се, одражава са грешком од преко 30% у прорачуну снаге ветра. Мерење се мора спроводити континуално најмање једну годину. Уз мерни систем користи се софтвер за обраду мерних величина. На основу измерених величина за сваку висину анеометра даје се за посматрани интервал времена графички приказ правца, брзине и снаге ветра у виду тзв. *руже ветрова*. Већим бројем анеометара и мереча праваца на различитим висинама утврђује се вртложно

струјање и висински профил брзине ветра. Услед трења ваздуха о тло и унутрашњег вискозног трења, брзина ветра расте са повећањем висине. На брзину ветра утиче храпавост терена, присуство природних и вештачких препрека као и други елементи рељефа. Ови параметри разликују се од локације до локације, те је профил брзине различит за различите локације.

Поред ветровитости, при избору локације ветроагрегата мора се водити рачуна и о другим битним елементима, као што су постојећа електроенергетска, путна и телекомуникациона мрежа. Треба водити рачуна и о визуелном уклапању ветроагрегата и буци коју они стварају при раду, што је битно када је локација у близини насеља [13].

Енергију ветра користе оне земље чији су ресурси ветра истражени и што је најважније, оне земље које имају финансијске могућности за таква улагања, јер изградња ветропаркова није јефтина и углавном је повезана са високим инвестиционим трошковима, при чему не треба занемарити чињеницу да се цена изградње ветропаркова током последње деценије перманентно смањује.

У укупним трошковима изградње ветроенергетског постројења: око 75,6 % чине инвестициони трошкови који укључују трошкове: изградње ветрогенератора или ветропарка, прикључења на електроенергетски систем и изградње инфраструктуре (прилазних путева).

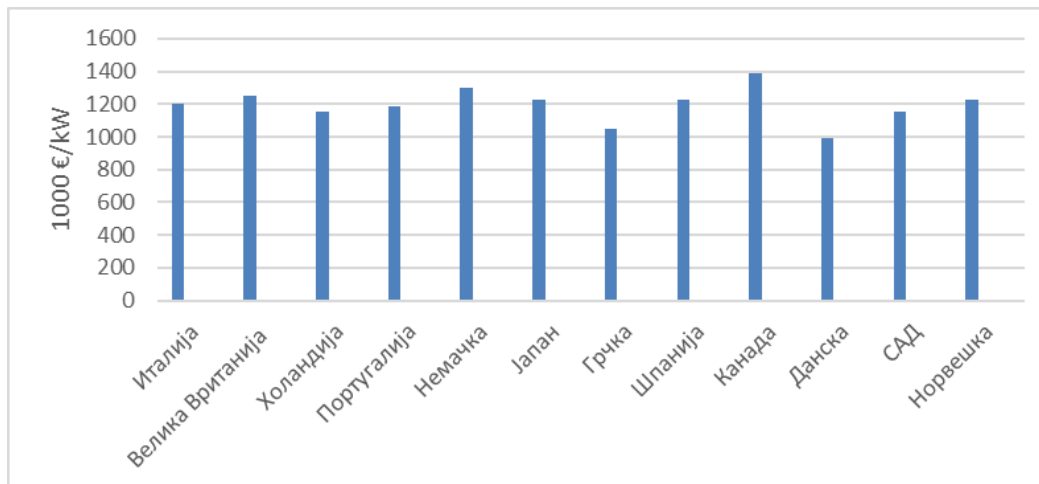
У табели 2 је приказана структура инвестиционих трошкова ветроенергетских постројења снаге 2MW у Европској унији.

Табела 2. Структура инвестиционих трошкова ветроенергетских постројења снаге 2MW у ЕУ [14]

	Инвестиција (€/ kW)	Удео у инвестиционим трошковима [%]
Турбина	928	75,6
Трошкови повезивања на дистрибутивну мрежу електроенергетски систем	109	8,9
Израда темеља	80	6,5
Куповина земљишта	48	3,9
Електричне инсталације	18	1,5
Пројектовање	15	1,2
Финансијски трошкови	15	1,2
Трошкови инфраструктуре	11	0,9
Трошкови система контроле	4	0,3
Укупно	1227	100

Инвестициони трошкови нису једнаки у свим државама. У Земљама ЕУ инвестициони трошкови варирају између 970 и 1350 €/kW за *on – shore* ветрогенераторе, односно од 1500 – 3500 €/kW за *off – shore* ветрогенераторе. Као што је приказано на дијаграму 1, најнижи трошкови изградње ветрогенератора су у Данској, док су незнатно виши у Грчкој и Холандији.

На дијаграму 1 су приказани инвестициони трошкови изградње ветрогенератора у свету.



Дијаграм 1. Инвестициони трошкови изградње ветрогенератора у свету [14]

Обзиром да при коришћењу енергије ветра, као и код многих других обновљивих извора енергије, нема трошкова за гориво, након инвестиционих трошкова, једини трошкови су трошкови радне снаге и одржавања. Иако је време расположивости ветроелектрана изузетно велико (до 98%) прегледи и поправке ветроелектрана морају бити редовни и одржавати се на око 6 месеци. Трошкови одржавања су веома ниски код нових турбина, али расту са "старењем" турбине. Процењује се да трошкови рада и одржавања ветротурбина на копну током времена експлоатације ветротурбине од 25 година (модерне ветротурбине су конструисане тако да раде 120000 часова) износе од 1,2-1,5 €/kWh произведене електричне енергије.

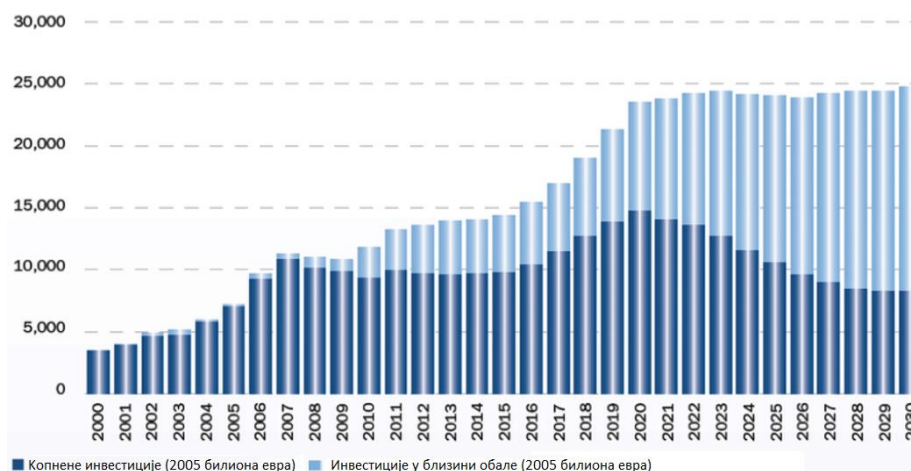
Економичност рада ветротурбине зависи првенствено од локације, при чему, као што је већ наведено, предност имају локације са сталним и јаким ветровима, обзиром да са повећањем брзине ветра расте и коефицијент корисног дејства.

Тренутно, цене електричне енергије добијене у ветропарковима у областима са слабијим интензитетом износе од 7 – 10 €/kWh, око 7 €/kWh у областима са просечном брзином ветра, односно 5 – 6,5 €/kWh у ветровитим, обалским подручјима.

Цена електричне енергије која би била генерисана у ветропарковима Србије износила би око 8 €/kWh, имајући у виду чињеницу да ветрови у Србији припадају "другој класи" ветрова. Једна од локација која је погодна јесте врха Старе планине – Миџор са утврђеним годишњим просеком брзине ветра од 7,66 m/s.

Обзиром да се цена електричне енергије произведене у ветрогенераторима перманентно смањује (80-тих година прошлог века цена електричне енергије произведене у ветрогенераторима износила је око 38 €/kWh), очекује се да ће ова цена у наредном периоду износити од 2-3 €/kWh, чиме би ветар као енергетски постао конкурентан традиционалним електранама на фосилна горива [14].

На слици 21 је приказан сценарио EWEA (*European Wind Energy Association*) очекиваних инвестиција у ветроенергетику ЕУ у периоду до 2030. године [15] [16] [17].



Слика 21. Очекивана улагања у ветроенергетику до 2030. године *European Wind Energy Association* [16]

До 2015. године, у ветроенергетику ЕУ се улагало око 10 милијарди €/год и по углавном у ветропаркове на копну, а од 2021. године око 10-15 милијарди €/год, при чему ће половина инвестиција бити у *off-shore* ветропаркове. Тренд повећања инвестиција у ветроенергетику ЕУ ће се наставити до 2030. године када ће годишње бити инвестирано готово 20 милијарди €, од чега ће преко 60% бити инвестирано у *off-shore* ветропаркове [16].

8. Систем малих ветротурбина

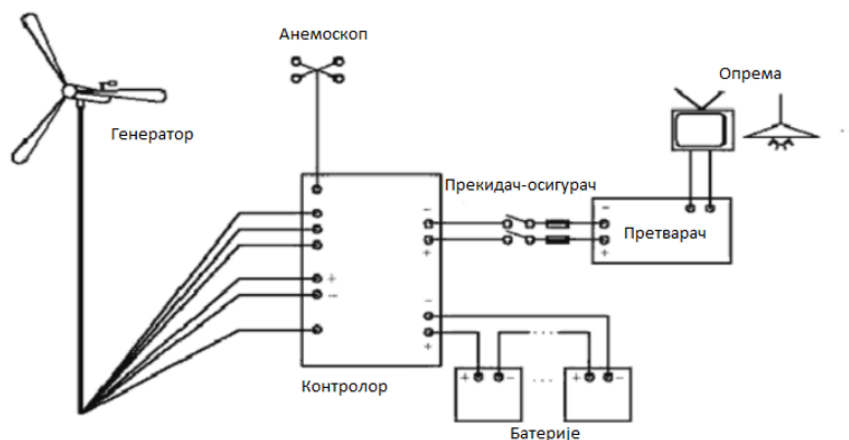
Мали ветрогенератори су по начину рада једнаки великим ветрогенераторима и са развојем индустрије примењују се нови материјали, чиме се битно побољшала поузданост и расположивост уређаја. Паралелно са развојем великих ветрогенератора почели су се развијати и мали ветрогенератори као засебно тржиште. Иако овакав састав захтева прилична почетна улагања, ценом је постао конкурентан традиционалним изворима енергије, ако се у обзир узме цели животни век постројења и изузеће трошкова прикључка на електричну мрежу. Малим ветроагрегатима се сматрају јединице до 10 kW, које су намењене задовољењу енергетских потреба на нивоу домаћинства.

Ветротурбине углавном нису директно повезане са електричним оптерећењима. То је зато што се снага ветра стално мења, па се самим тим, напон као и фреквенција упоредо мењају. Најједноставније решење је коришћење батерија, као и претварача у зависности од тога који се систем примењује. У зависности од потрошње места, које се мора напајати као и снаге турбине која се користи постоје:

- самостални систем и
- систем повезивања на мрежу.

Самостални систем повезивања

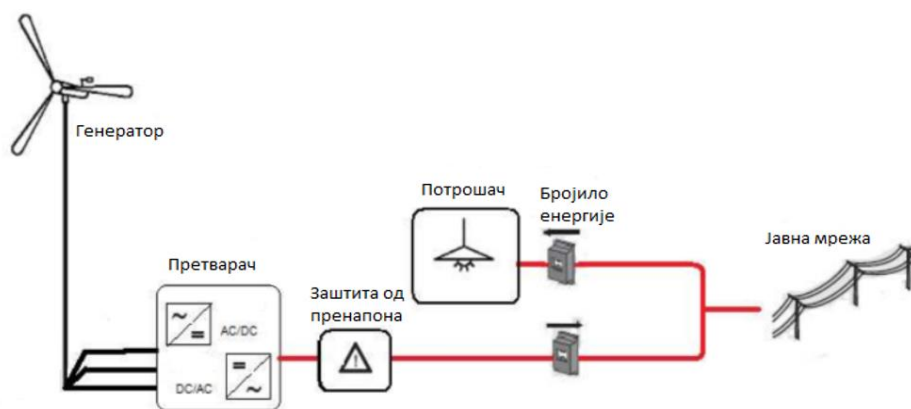
Овај систем не захтева повезивање на мрежу али је потребна употреба батерија за складиштење вишка генерисане енергије и употребу исте када нема присуства ветра (слика 22). Такође, потребно је користити контролер ради заштите батерије приликом прекомерног пуњења. Батерије треба инсталирати одвојено од животног простора јер садрже корозивну и експлозивну материју. Такође, оловне батерије треба заштити од екстремно високих температура [18].



Слика 22. Шематски приказ самосталног система [18]

Мрежни систем повезивања

Мрежни систем повезивања не захтева употребу батерија чиме се елиминишу трошкови опреме за складиштење електричне енергије. У таквим системима, једина потребна опрема је електрична енергија произведена уз помоћ турбине и касније преко система мреже доведена до потрошача. Вишак електричне енергије који се произведе, враћа се назад у мрежу и касније поново користи, када је то потребно.



Слика 23. Шематски приказ мрежног система повезивања [18]

8.1. Истраживање тржишта малих ветрогенератора

Индустрија малих турбина, је мала компонента много већег система енергетског тржишта ветра, али темпо којим тржиште расте показује да ће бити вредна око 0,48% тржишта до 2021. године тврде стручњаци. Извештаји везани за мале ветротурбине (мање од 100 kW), показују да је будућност малих ветрогенератора загарантована. Стратешка анализа тржишта, укључујући величину, сегментацију, производњу, тражњу као и историјски и садашњи развој, прогнозу и информације до 2021. године, говори да је све већа заинтересованост људи за уградњу генератора малих снага на кућама, сеоским домаћинствима, фармама и у производним капацитетима. Предвиђања су да су инсталирани капацитети у свету порасли од 105,9 MW (2006.) до 275,8 MW у (2010.) и очекује се да достигне 3.726,5 MW до 2021. године. Иако мала снага ветра представља само 0,14% тржишта у 2010. години очекује се повећање на 0,48% до 2021.године услед државних подстицајних мера [19].

На просторима наше државе и региона, не постоји озбиљно тржиште ветрогенератора мале снаге. Биће потребно доста времена како би зелени облици енергије код нас у потпуности заживели. Временом је почела да се шири идеја о зеленој енергији све више. Почину и пројекти ветропаркова, а са њима под руку иду и пројекти ветрењача мале снаге, за индивидуално коришћење.

Ветрогенератори мале снаге су довољни за генерисање довољно снаге за делимично задовољење енергетских захтева кућа, фарми или малих бизниса.

Системи малих ветрогенератора пропадају технологији за коришћење обновљивих извора који настављају да расту и стасавају.

Комерцијални корисници, нарочито мала и средња предузећа, треба да буду упознати са њиховим предностима, посебно из разлога што се на овај начин укључују нове фирме у пословање, али и због тога што се пословање шири на један виши ниво.

У распону од 400 W до 100 kW (или до 500 kW, у зависности како дефинишемо „мали“ ветрогенератор) системи се састоје од вертикалних или хоризонталних осних турбина, инсталираних на или ван мреже.

Последњих година приметан је значајан технолошки напредак који је направљен у глобалним размерама развоја спектра малих ветрогенератора, што доводи до све већих и снажнијих турбина.

Системи малих ветрогенератора сада су поузданији, тиши и сигурнији од оних произведених у последњих неколико деценија. Већина произведене електричне енергије се користи на лицу места, вишак енергије може да одлази у далековод чиме се јача електрична мрежа [19].

Тренутно, око 250 компанија у 26 земаља производе, или планира да произведи мале ветротурбине. Према најновијим подацима објављеним од стране Америчког удружења за енергију (AWEA), од ових предузећа, 95 (36%) су са седиштем у САД-у. Важно је напоменити да највећи удео на светском тржишту држи мање од 10 америчких произвођача.

Ипак, ако постоји наведени тренд који је настао из глобалне економске кризе, онда се мора успоставити тренд коришћења зелене енергије и њене штедње. Број фирми које се баве производњом малих ветрогенератора знатно се увећава из године у годину, а спектар производа се стално шири. Водећи произвођачи сада нуде више од три или четири модела и фокусирају се на мање предузетнике који се баве производњом.

Штавише, произвођачи пријављени светским организацијама за ветроенергију тврде да је интерес људи за мале ветрогенераторе порастао током економске рецесије.

У Европи, Европска комисија (SWIS) финасира развој индустрије малих ветрогенератора са намером стимулисања раста. SWIS пружа техничке, тржишне и контакт информације као и одељак који служи да обавести нове фирме о тренутном статусу и будућем правцу индустрије. SWIS, такође, настоји да утврди зашто индустрија малих ветрогенератора споро достиже свој пуни потенцијал и труди се да смањи баријере у области знања и маркетинга.

Кључни циљеви пројекта организације су да: обезбеде свеобухватне информације, да се покрију сви аспекти индустрије малих ветротурбина, да се информишу индустрија, стручњаци и шира јавност. Настоји се да енергија ветра промовише као тржиште које показује снажан раст и да информише јавност о реалности енергије ветра као зреле и корисне технологије и што је најважније, да се иницира редовно ажурирање интернет база као извора информација.

Европа је јако богата ветром. Велика Британија има више од 40% европских ресурса. Ветар се само мора уз помоћ најновије генерације малих ветрогенератора оптимално искористити. *BritishEco* је само једна од бројних специјализованих фирми које тврде да када се инсталира на правој локацији, мала ветротурбина може дати највећи повраћај улагања од свих обновљивих енергетских технологија са периодом отплате од само три до пет година.

Тржиште малих ветрогенератора на Балкану и даље је далеко од европског и светског нивоа. Код нас чак и не постоје националне компаније које се баве производњом малих ветротурбина, већ се производња своди на самостално прављење, или на покушаје људи да преко интернета пласирају свој производ у полусеријску производњу, ако би се за то створили услови и потражња. Од стране државе се помоћ не може још увек очекивати, као што је то случај у Европи. Тарифе и бенефиције које поспешују производњу и тржиште морају прво да заживе како би заживела цела прича око малих ветротурбина али наравно пре мини издања морају прво да се одобре изградње великих ветропаркова, после кога долазе на сцену њихове мале копије [20].

8.2. Технологија рада малих ветрогенератора

Кинетичка енергија ветра није погодна за директно конвертовање у електричну енергију, већ се мора прво свести на облик, који се може употребити за производњу електричне енергије. Сви конвенционални електрични генератори као улазни облик енергије, користе механичку енергију обртних маса.

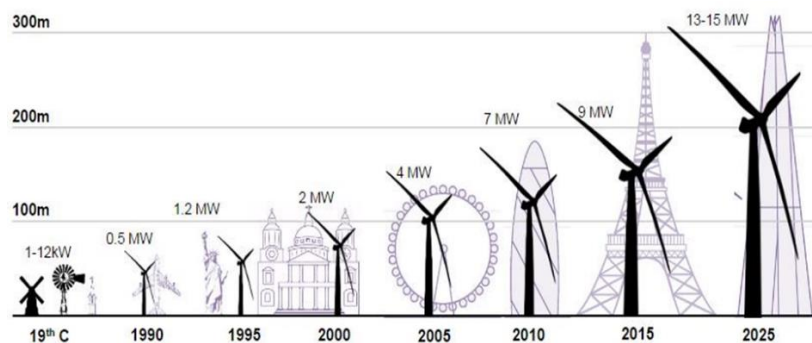
Из овога следи да је енергију ветра потребно превести у механичку енергију, користећи ветротурбине. Основни елементи турбине су лопатице, од чијег облика зависе силе које се развијају на турбини а самим тим и степен корисности турбине. Пошто се брзина ветра често мења, а циљ је максимална искористивост турбине потребно је контролисати излазну снагу.

У стандардима су специјализовани заштитни уређаји који су неопходни за погод јединице. Управљачки систем ветроелектране може бити изведен са различитим нивоима сложености. Са годинама мењала се и њихова величина, код ветрогенератора малих снага габарити нису могли да расту, али се зато ефикасност генератора са временом повећавала. Остала побољшања укључују употребу различитих комбинација композитних материјала за производњу, посебно како би се обезбедило да се тежина делова сведе на минимум, као и модеран систем контроле за бољу компатибилност због прикључка на мрежу.

Иако је много времена и ресурса потрошено на побољшање ветротехнологије, од самог почетка њеног коришћења у комерцијалне сврхе раних 1980-тих година основна архитектура и дизајн задржали су свој првобитни концепт. Технологије енергије ветра могу се груписати у следеће три групе:

- велике ветротурбине које су повезане на мрежу,
- мале „*stand-alone*“ турбине за пумпање воде, пуњење батерија, грејање, и
- хибридни енергетски системи ветрогенератора у комбинацији са другим изворима енергије.

У корак са напредовањем ветротурбина велике снаге, развијају се и ветротурбине мале снаге. Пошто су оне, донекле, органичене у габаритном и производном смислу, њихов напредак се може испољити у степену корисности, лакшој изради, дизајну и модерним материјалима. Наравно, сваки нов и савремени детаљ више се манифестује и примећује на великим турбинама, него на малим. Разлог за то су габарити [21] [22].



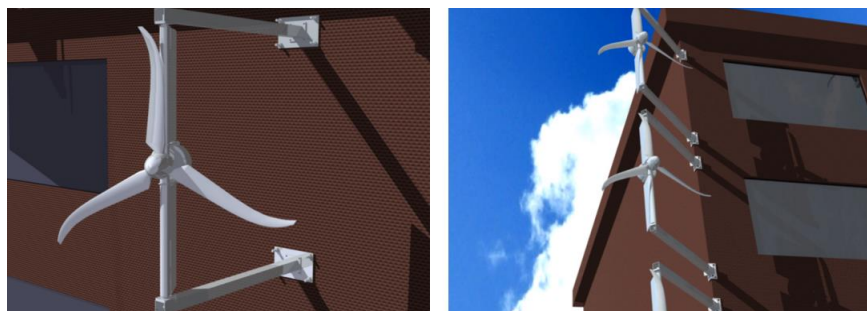
Слика 24. Напредовање ветротурбина кроз временски период [22]

8.3. Место постављања ветрогенератора малих снага

Ветротурбине дизајниране за урбано окружење могу бити инсталиране директно на крововима или се могу инсталирати на простору поред зграда. Локација инсталације зависи од величине и тежине турбине која зависи од њеног типа, примене и излазне снаге. Стога, у зависности од већ наведених фактора, узимају се у обзир различити параметри у погледу опреме за монтажу, структурних оптерећења и потребних делова.

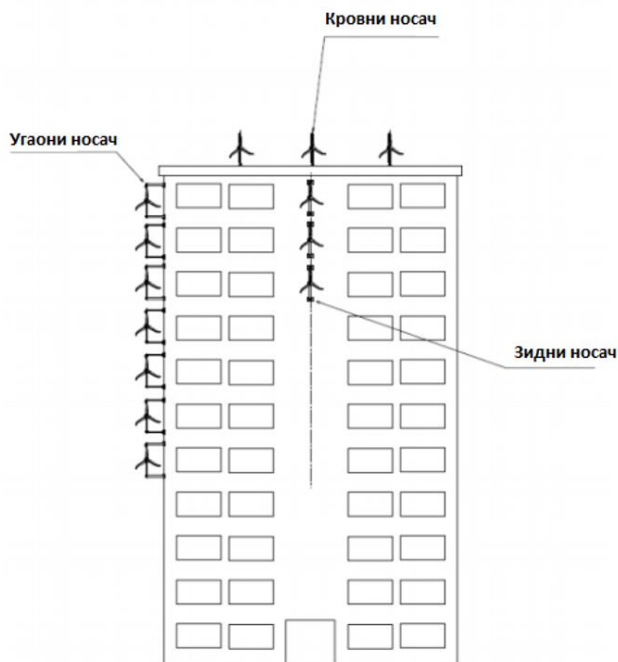
Један од најважнијих параметара је висина куле која ће сместити лопатице и генератор на врх (HAWT - „horizontal axis wind turbine“) или ће деловати као оса ротације (VAWT - „vertical axis wind turbine“). Опште је мишљење да што је торањ већи, то је квалитет ветра (низак ниво турбуленције) бољи што ће резултирати ефикаснијим и глатким радом турбине. Без обзира на то што је торањ већи, биће потребно више материјала да се издрже све гравитационе и аеродинамичке силе како би се осигурала сигурна конструкција. Више материјала директно утиче на укупну тежину. Ако се турбина налази на земљишту поред зграда где је тежина мање важна од максимизирања производње енергије, торањ може досећи и до 25 m како би се избегла индуцирана турбуленција стабла, зграда и других конструкција.

У окружењу са малом брзином ветра, избор локације за постављање ветрогенератора је најважнији фактор успешног рада малих ветротурбина. Флексибилност монтирања омогућава постављање малих ветрогенератора на места са највећим ресурсима ветра. На слици 25 приказано је неколико малих ветротурбина постављених на зидове и углове зграда.



Слика 25. Ветрогенератори постављени на угловима и зидовима зграда- Catia V5 render [23]

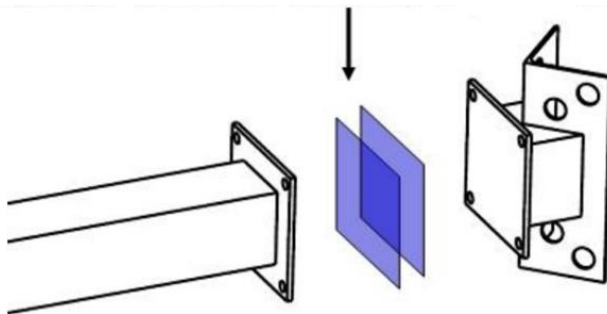
Постављањем малих система ветротурбина на угао или блок зграде се може искористити повољан проток ветра између зграда. Док, кровни мали системи ветротурбина могу искористити висину зграде. На слици 26 је приказано неколико конфигурација које су могуће за постављање малих система ветротурбина на зграде [23] [24].



Слика 26. Алтернативе постављања малих ветрогенератора на кров, углове и бочне стране зграде [24]

Проблеми вибрације у зградама

Познато је да ветротурбине малих снага које се постављају на зграде узрокују звучне проблеме. Постављање ветрогенератора малих снага је било онемогућено због прекомерне буке и вибрација које су се преносиле у унутрашњост зграде. Један од начина спречавања овог проблема јесте употреба подметача од гуме.



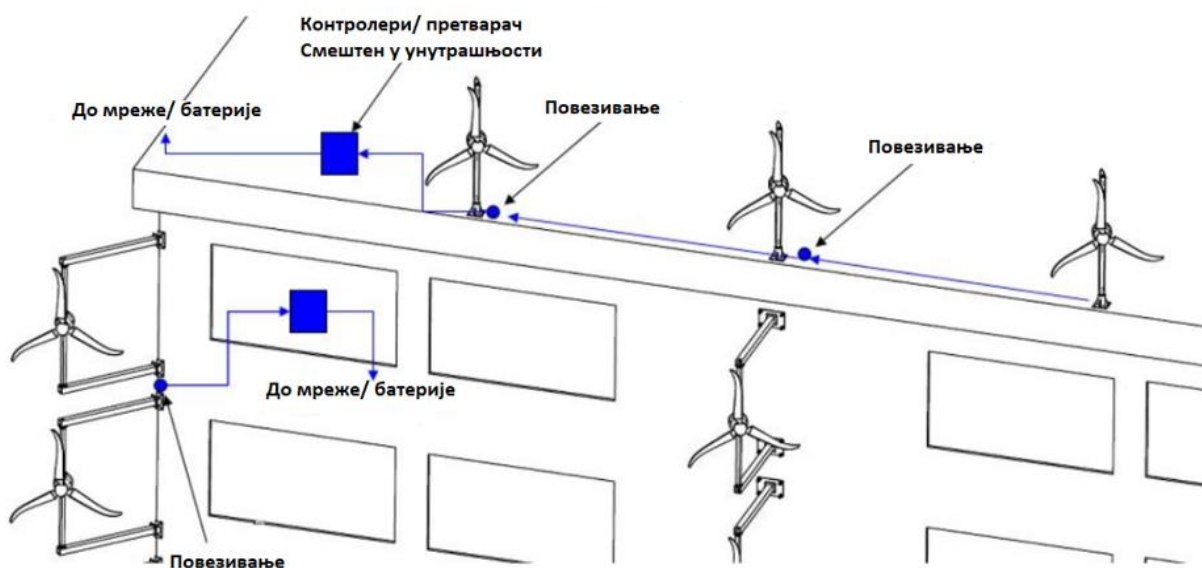
Слика 27. Подметач од гуме постављени између носача и монтажни хардвер [24]

Терети на конструкцији

Конструкција зграде, може да поднесе оптерећења ових малих ветрогенератора. Могући проблем може бити компатибилност са спољним материјалом. Материјал као што је цигла, не би требало да представља проблем, међутим облоге и други неконструктивни материјали могу захтевати посебне технике монтирања. За зидне носаче потребне су претходно избушене рупе са металним уметцима како би се спречило распадање материјала и пад са зида. Сваки прилагођени носач би се свакако требало причврстити на универзални носач [23].

Усмеравање и повезивање

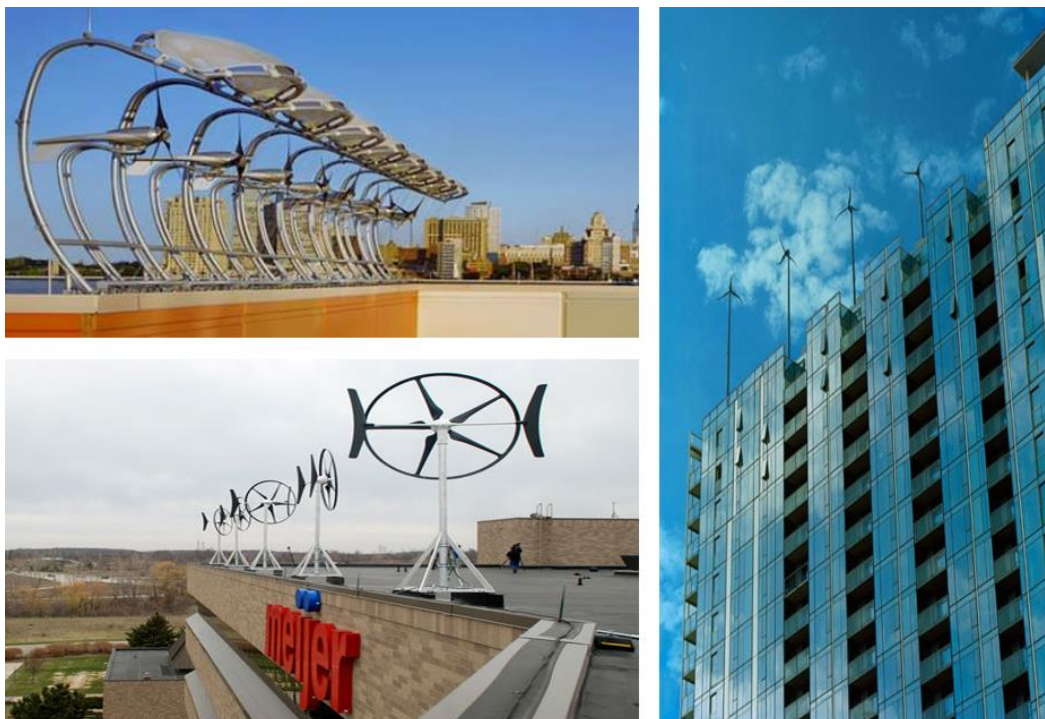
Усмеравање и спајање у мрежу је слично повезивању сателитске антене. Више турбина се може повезати заједно, а спојнице се повезују у разводну кутију која се налази углавном на крову ради лакшег одржавања (слика 28). Ове разводне кутије садрже регулатор и претварач, затим се енергија шаљу у мрежни вод или у батерију [23].



Слика 28. Конфигурације мрежног усмеравања за ветрогенераторе инсталиране на зградама [23]

8.4. Ветрогенератор са хоризонталном осом обртања ротора у зградарству

Тип ротора са хоризонталном осом обртања обично се поставља на торањ, а затим на кровну конструкцију. На слици 29 приказани су различити примери монтираних ветрогенератора у зградарству. Положај на врху зграде често представља идеалан избор како би се минимализовали визуелни утицаји. У идеалном случају, мерење доступности ветра треба извршити пре монтирања [25].



Слика 29. Ветрогенератори са хоризонталном осом обртања постављене на крововима зграда [25]

8.5. Ветрогенератори са вертикалном осом обртања ротора у зградарству

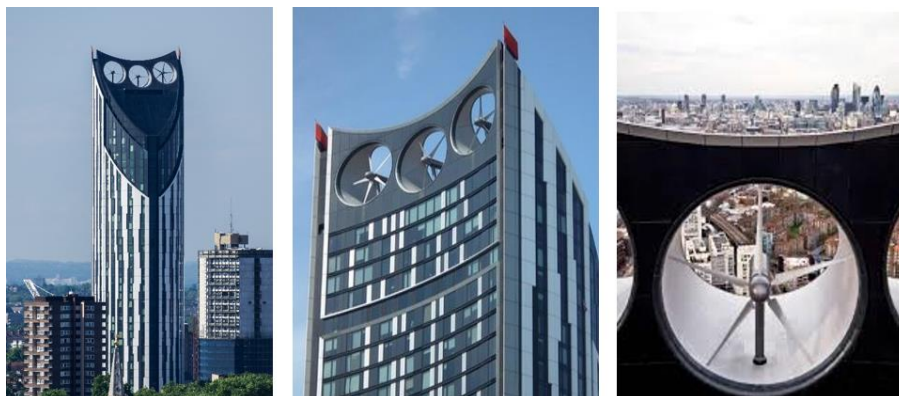
На слици 30 су приказани потенцијални начини за постављање ветрогенератора са вертикалном осом обртања ротора на кровну конструкцију зграде. Ветрогенератор се поставља на потконструкцију, а затим на кровну конструкцију.



Слика 30. Вентурбине са вертикалном осом обртања, монтиране на крову зграде [25]

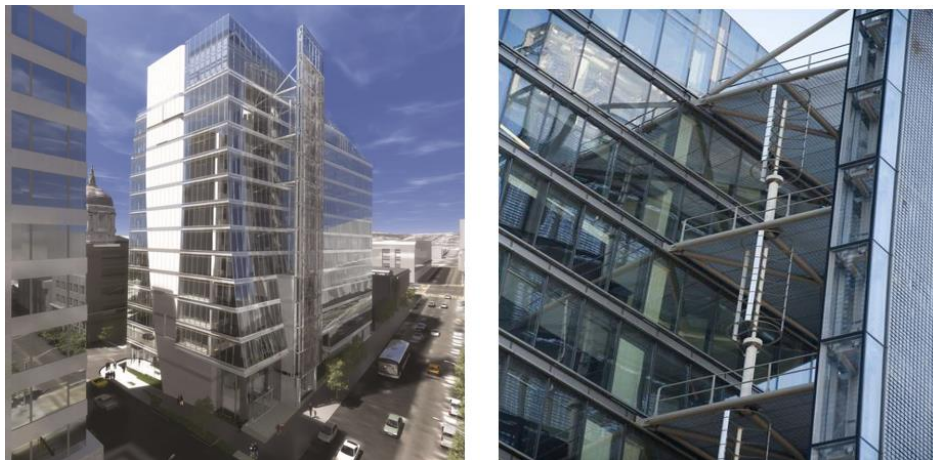
Ветротурбине са хоризонталном осом обртања постављене као део грађевинске конструкције

Постављање ветрогенератора око и на зградама је од великог значаја, али такође постоји и интересовање за уградњу где је турбина део грађевинске конструкције или фасаде. Мале ветротурбине је лакше уградити него турбине већих размера. Они могу бити примењене са грађевинске, архитектонске па чак и са електричне или енергетске тачке гледишта. Ова врста постављања ветротурбина се може наћи у већим грађевинским пројектима. На слици 31 је приказан добар пример ветрогенератора са хоризонталном осом који је постављен у склопу кровне конструкције.



Слика 31. Ветрогенератори са хоризонталном осом уграђени на кровну конструкцију зграде (Strata SE 1, London) [25]

На слици 32 приказан је један од бољих примера уградње ветрогенератора са вертикалном осом обртања ротора у фасаду зграде. Зграда се налази у Сан Франциску чија је изградња завршена 2012. године. Ово је административна зграда која има 13 спратова и представља један од захтевнијих подухвата када је реч о самој изградњи.



Слика 32. Административна зграда у Сан Франциску [25]

Ветрогенератори као део дизајна у зградарству

Иако се ветрогенератори инсталирају у грађевину из интересних разлога, све је чешћа појава да се они уграђују као саставни део грађевине како би се обогатио сам дизајн зграде.

На слици 33 дат је пример пројекта ветротурбине са хоризонталном осом ротора инсталираног у згради. Две куле повезане су преко мостова на којима се налазе ветрогенератори снаге 225 kW. Свака од ових турбина има пречник од 30 m и орјентисане су према северу, због правца струјања ветра из Персијског залива. Дизајн зграде је унапређен како би се обезбедио ефекат усмеравања и на тај начин повећала брзина ветра. Објекат је у облику једра, поседује отворе како би се обезбедио убрзано струјање ветра који пролази кроз турбине. Зграде које стварају проток ваздуха у облику слова „S“, осигуравају да ветар који долази под углом од 45° на било коју страну централне осе ствара струјање које делује на ефикасност рада турбине, чиме се значајно повећава потенцијал за производњу електричне енергије [25].

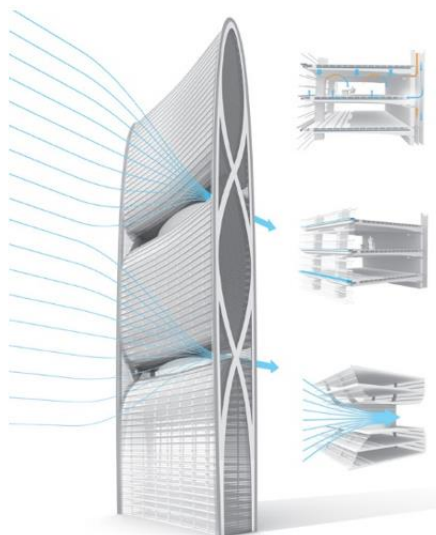


Слика 33. Ветротурбина са хоризонталном осовином (World Trade Center, Bahrain) [26]

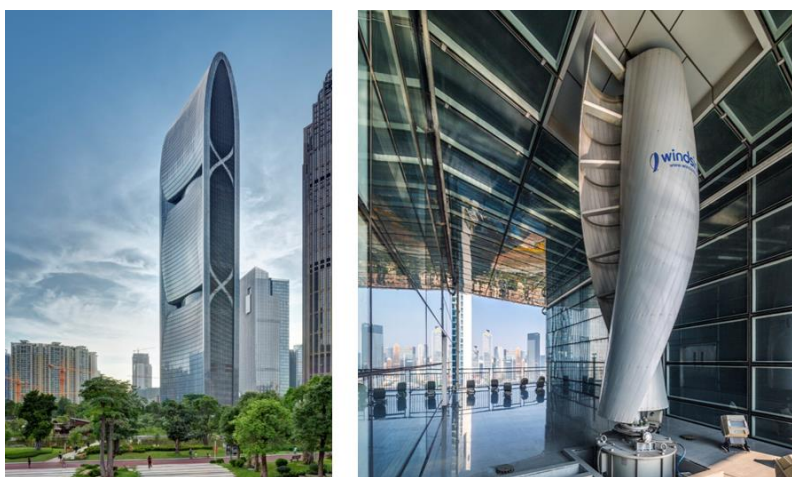
Торањ Бисерне реке (*Pearl River Tower, Guangzhou, China*) изабран је на конгресу 2005. године као зграда високих перформанси висине 309 m и дизајнирана са енергетском ефикасношћу као главним приоритетом. Енергију генерише систем ветрогенератора који је интегрисан у структуру и дизајн зграде (слика 33). Guangzhou је регион релативно јаког ветра због близине обале. Брзина ветра у Guangzhou- у у просеку 4,3 m/s на висини од 50 m, док на висинама од 300 m брзина је 5,3 m/s.

Закривљени облик торња побољшава перформансе избацивањем ваздуха кроз турбинске улазе на фасади. Студије су показале да отвори на фасади убрзавају кретање ветра, што резултира већом производњом енергије у поређењу са турбинама које се налазе на отвореном пољу. Снага која се производи, претвара се у електричну и користи се унутар зграде [26] [27].

Источна и западна страна грађевине су симетричне, док је јужна страна конкавна а северна конвексна (слика 34). Јужна страна је конструисана тако да усмери ветар кроз четири отвора који се налазе на фасади и на тај начин убрза кретање ваздуха који пролази кроз ветротурбину са вертикалном осом обртања ротора која производи енергију и налази се унутар сваког отвора зграде. Геометрија зграде значајно побољшава перформансе турбине. Лед светла, која су у саставу фасаде зграде, ноћу приликом продора ветра у тунел, мењају боју како би се на тај начин указало на количину енергије коју ствара ветар [26].



Слика 34. Скулптура на фасади која усмерава ветар који пролази кроз ветротурбину са вертикалном осом [26]



Слика 35. Pearl River Tower, Guangzhou [26]

9. Ветропаркови и могућност њиховог повезивања на мрежу

Ветропаркови представљају посебан вид ветротурбина у којима се кинетичка енергија претвара у механичку енергију, а потом у електричну енергију. Ветропарк чини низ ветрогенератора, најчешће истог типа, изложених струји ветра и прикључених на електричну мрежу. Просторни распоред и међусобни размак ветрогенератора у ветропарку зависи од конфигурације терена и доминантног правца дувања ветра и треба бити усклађен тако да све јединице могу максимално користити енергију ветра. Услед међусобне компатибилности растојање између ветрогенератора треба пројектовати тако да на 3-4 km² слободног простора буде постављено максимално 20 ветрогенераторских јединица снаге 500 kW. Наведени подаци су значајни услед чињенице да на рад турбина у заветрини делује ветар мање брзине и лошијег квалитета, услед чега се смањује ефикасност осталих ветрогенератора у ветропарку. Реч је о тзв. ефекту заветрине, који је израженији код већих турбина. Мале разлике у брзини ветра могу да представљају велике разлике у продуктивности и трошковима производње електричне енергије. Тако на пример, при брзини ветра од 5,5 m/s савремени ветрогенератор снаге 1,5 MW генерише око 1000 MWh/god електричне енергије. При брзини ветра 8,5 m/s исти ветрогенератор генерише око 4500 MWh/god, а при брзини 10,5 m/s око 8000 MWh/god електричне енергије, што указује на чињеницу да је избор локације за постављање ветрогенератора (ветропарка) од великог значаја.

Ветропаркови представљају туристичку атракцију, а већи део земљишта на коме је изграђен ветропарк се може користити за пољопривредне делатности. Проблеми који се јављају при раду ветротурбина у ветропарку јесу бука која настаје при кретању елисе ротора кроз ваздух, механичке вибрације, ометање пријема телевизијског сигнала, заузимање пољопривредног и најпогоднијег земљишта на обали мора или река. Велике ветроелектране у склопу ветропаркова могу се градити на копну (*on-shore*), али и у приобалном морском појасу (*off-shore*). Како ветроелектране постају све веће, проналажење прикладних места на копну без еколошких и других већ наведених проблема, постаје све теже, услед чега се све већи број ветрогенератора поставља на мору.

До 2007. године ветрогенератори су се углавном постављали на земљишту изван градских зона. Међутим, постављањем три аеродинамичка моста са три ветрогенератора (највиши је на висини од 133 m), између два небодера у *Bahreinu*, у "срцу" града, почиње ново поглавље у ветроенергетици.

Мале ветроелектране са производњом од 5 kW углавном се користе за пуњење акумулатора и могу послужити за напајање електричном енергијом посебно зими када је повећана потрошња електричне енергије. Акумулирана електрична енергија користи се за освету, радио и ТВ пријемнике, као и за разне друге апарате у кући који су малих снага. Такође се примењују и у објектима који се из разних разлога не могу прикључити на електроенергетску мрежу [28].

Ветрогенератори у домаћинству се могу користити као независни извор енергије, или могу бити прикључени на постојећу дистрибутивну мрежу електроенергетског система. Вишак електричне енергије добијен на овај начин може да се испоручи електродистрибутивној мрежи, или уколико нема присуства ветра, за потребе домаћинства се може користити електрична енергија из дистрибутивне мреже.

На постојећу дистрибутивну мрежу електроенергетског система могу бити повезани и мањи ветропаркови, мањих снага. Прикључење ветрогенератора на електродистрибутивну мрежу подразумева да у систему морају постојати електране (нпр. гасне електране или реверзибилне хидроелетране - зависно од енергетских извора) које омогућавају испоруку балансне енергије.

У Србији постоји реверзибилна хидроелектрана Бајина Башта а планирана је и изградња још једне реверзибилне хидроелектране као и електране на природни гас. Услед тога пројектовани удео ветроелектрана не би требало да пређе 10% од укупне производње електроенергетског система. Наведени удео није стриктна вредност, јер постоје државе, као нпр. Данска која користећи енергију ветра производи просечно око 19% укупне електричне енергије. У Данској се планира да учешће енергије ветра достигне 50% од укупно произведене количине електричне енергије. Треба посебно навести и податак да и данас, када су временске прилике идеалне, удео електричне енергије коју производи Данска ветроенергетика износи и до 40%. Поређења ради, удео ветроелектрана у производњи електричне енергије у Шпанији и Португалији износи око 9%, док у Немачкој и Ирској износи 6% [29].



Слика 36. Изглед мале ветротурбине [28]



Слика 37. Фарма ветроелектрана у Јужној Калифорнији [28]

Највећа приобална ветроелетрана на свету *Walney*

Приобална ветроелектрана *Walney* се налази 14 km западно од острва *Walney* на обали *Cambrie* у Ирском мору, а налази се у територијалним водама Велике Британије.

Укупна снага ветроелектране *Walney* је 367,2 MW а састоји се од 102 Siemens-ова ветроагрегата појединачне снаге 3,6 MW. Сваки агрегат има 550 t, а ради при брзинама ветра од 4 m/s до 25 m/s . Пројекат је коштао око 1,2 милијарде еура, а производиће довољно електричне енергије за напајање 320.000 домаћинстава у Великој Британији [28].



Слика 38. Приобална ветроелектрана Walney [30]

Закључак

Глобални развој друштва у будућности ће у огромној мери зависити од стања у области енергетике. Проблеми са којима се суочавају у мањој или већој мери све земље света су повезани са обезбеђивањем енергије и очувањем животне средине. Експлозија људске популације на земљи узрокује стално повећање потреба за енергијом, нарочито електричном енергијом. Тренд раста потреба на глобалном нивоу износи око 2,8 % годишње. Са друге стране, тренутна структура примарних извора електричне енергије не може на глобалном нивоу обезбедити такав тренд повећања производње електричне енергије. Разлог за то су актуелни еколошки проблеми директно узроковани сагоревањем фосилних и нуклеарних горива, на којима се базира садашња производња електричне енергије у свету. Осим тога, постојећа динамика којом се експлоатишу фосилна горива ће у блиској будућности довести и до исцрпљења њихових резерви.

Ветар представља неисцрпан еколошки извор енергије чији глобални потенцијал вишеструко превазилази светске потребе за електричном енергијом. Око 2% дозрачене сунчеве енергије се претвори у ветар. Коришћење енергије ветра у производњи електричне енергије је почело да се развија тридесетих година двадесетог века и тада је почела изградња првих ветроелектрана – постројења за електромеханичку конверзију енергије ветра. Производња електричне енергије из ветра у то време је била неефикасна, непоуздана и скупа. Са развојем великих хидроелектрана и термоелектрана ветроелектране су брзо пале у заборав. Велика енергетска криза седамдесетих година прошлог века, а касније и све озбиљнији глобални еколошки проблеми су довели до ренесансе ветроелектрана. Данас ветроенергетика представља грану енергетике која се најбрже развија, како у погледу технологије, тако и у погледу пораста инсталираних ветроелектрана у свету. Највећи допринос развоју модерне ветроенергетике дала је Данска у којој је индустрија ветрогенератора постала једна од водећих индустрија.

Литература

- [1] *Обновљиви извори енергије*; Интернет страница: http://www.izvorienergije.com/obnovljivi_izvori_energije.html; Приступљено: 07.09.2020.
- [2] *Renewable energy in 2018.*; Интернет страница: <https://switchme.co.nz/blog/renewable-energy-in-2018>; Приступљено: 07.09.2020.
- [3] Проф. др Милан Деспотовић; Обновљиви извори енергије; Факултет инжењерских наука, Крагујевац; 2011.
- [4] Душан Гвозденац, Бранка Накомчић, Бранка Урошевић; Обновљиви извори енергије; Факултет техничких наука, Нови Сад; 2010.
- [5] Петар Гверо, Срђан Васковић; Обновљиви извори енергије и одрживи развој локалних заједница; Бања Лука; Мај 2016.
- [6] Erich Nau; Wind turbines
- [7] *Renewables 2019.*; Global Status Report; https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf, приступљено: 11.09.2020.
- [8] Интернет страница: <http://www.esco.rs/energija-vetra.html>, приступљено: 11.09.2020.
- [9] Ж. Деспотовић; Обновљиви извори енергије и стање и перспективе у свету и Србији, Београд, 2012.; https://www.schrack.rs/fileadmin/f/rs/pictures/companycontact/events/Schrack_Info_dani/Prezentacije/Dr_ZeljkoDespotovic_Info_dani_april_2012_SCHRACK.pdf
- [10] Проф. др Слађана Степић; Анализа добијања електричне енергије из енергије ветра; Факултет техничких наука; Чачак; 2015. http://www.ftn.kg.ac.rs/download/SIR/SIR%20Sladjana%20Stepic%20521_2012.pdf Приступљено: 17.09.2020.
- [11] Интернет страница: <http://www.coriolis-energy.com/> ; Приступљено: 17.09.2020.
- [12] Мухамед Хациабдић; Енергија ветра; Сарајево; 2011.
- [13] Интернет страница: <http://www.vetrogeneratori.co.rs/> ; Приступљено: 20.09.2020.
- [14] Велимир Шчекић, Сања Маринковић, Марина Карић; Енергија као алтернативни извор; Висока струковна машинска школа; Трстеник; 2011.
- [15] *Wind Europe*; Интернет страница: <https://windeurope.org/data-and-analysis/statistics/> Приступљено: 20.09.2020.

- [16] Krohn, S. Awerbuch, S. Morthorst; *The Economics of Wind Energy*; 2009.
- [17] N. Schlager., J. Weisblat; *Alternative Energy*, New York, Detroit, London ; 2006.
- [18] Didier Vélez Castellanoa , Alfredo Ursúa Rubio Pamplona; *Small wind turbine*; Escuela tecnica superior de ingenieros industrials; 2010.
- [19] Интернет страница:
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2011/03/small-wind-market-update>
Приступљено: 21.09.2020.
- [20] Интернет страница: https://issuu.com/iipp/docs/casopis_4-2011-9;
Приступљено: 22.09.2020.
- [21] G. Dutton, A. Halliday, M. Blanch; *The Feasibility of Building-Mounted/ Integrated Wind Turbines*; 2005. https://ukerc.rl.ac.uk/pdf/BUWT_final_v004_full.pdf ;
Приступљено: 25.09.2020.
- [22] Liliana Campos-Arriaga; *Wind Energy in the Built Environment*; The University of Nottingham, 2009.; <http://eprints.nottingham.ac.uk/10806/1/CamposArriagaPhDThesis.pdf>
Приступљено: 25.09.2020.
- [23] Michael James Duffy; *Small Wind Turbines Mounted to Existing Structures*; Georgia Institute of Technology; 2010.;
https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/34765/duffy_michael_j_201008_mast.pdf
Приступљено: 27.09.2020.
- [24] Musadag El Zein; *Off-grid wind power systems*; Uppsala Universitet; 2019.
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1366558/FULLTEXT01.pdf>
Приступљено: 27.09.2020.
- [25] Matthias Haase, Erica Lofstrom; *Building augmented wind turbines- BAWT*; Sintef Research; 2015. <https://core.ac.uk/download/pdf/52132946.pdf>; Приступљено: 27.09.2020.
- [26] Luke Leung, Yue Zhu, William Backer; *Case Stady: Pearl River Tower, Guangyhou*; 2014.
<https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/1629-case-study-pearl-river-tower-guangzhou.pdf> ; Приступљено: 27.09.2020.
- [27] Младен Бошњаковић; *Wind power buildings integration*; University od Applied Science of Slavonski Brod; 2013.
https://bib.irb.hr/datoteka/731699.Bosnjakovic-wind_turbine_journal.pdf
Приступљено: 28.09.2020.

[28] Дистрибутивни извори електричне енергије; <https://www.ucg.ac.me/skladiste/.pdf>; Приступљено: 28.09.2020.

[29] Didier Velez Castellano, Alfredo Ursua Rubio; *Small Wind Turbine*; Escuela tecnica superior de ingenieros industriales y de telecommunication; 2010.
<http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/2053/577195.pdf;sequence=1>;
Приступљено: 30.09.2020.

[30] Интернет страница: <https://www.ekovjesnik.hr/clanak/929/priobalna-vjetroelektrana-walney-extension-najveca-je-na-svijetu> ; Приступљено: 01.09.2020.

[31] *Small Wind Turbines*; Интернет страница:
https://www.researchgate.net/publication/307434882_Small_Wind_Turbines_Specification_Design_and_Economic_Evaluation ; Приступљено: 01.09.2020.