

VETROTURBINE OBLIKA LALE

TULIP-SHAPED WIND TURBINES

**Dragan KRECULJ^{1*}, Đorđe DIHOVIČNI²,
Nada RATKOVIĆ KOVAČEVIĆ³**

¹Senior Lecturer, ²Professor of Vocational studies, ³Professor of Vocational studies

Vetroturbine se dugo koriste za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora. Težnje konstruktora istih su da se unaprede performanse takvih energetske sistema. Jedno od novih rešenja za male vetroelektrane, prilagođeno naseljenim mestima, predstavljaju vetroturbine u obliku cveta lale, koje proizvodi kompanija Flower Turbines iz Holandije i koje su prikazane u radu. One implementiraju više tehnoloških inovacija, jer se za turbine koriste inovativna aerodinamička rešenja i adaptibilni dizajn. Konstruktivno sadrže dve specijalne lopatice, a trenutno se proizvode u tri različite visine lopatica, i to od 1, 3 i 6 m. One ne narušavaju izgled urbanih sredina, ne prave više buke od vetra koji ih pokreće, počinju da proizvode struju već pri brzinama vetra od 1.2 m/s, a grupisanje više njih povećava njihovu efikasnost od 20 – 50 %. Postoje konfiguracije od 2, 3.5 i 5 kW, nema vibracija i dugotrajne su. Pored toga ptice nisu ugrožene kao kod klasičnih vetrogeneratora jer ih jasno uočavaju, materijali od kojih se izrađuju su čelik ili aluminijum (reciklabilni), dok je povraćaj uložene investicije od 2 do 10 godina (zavisno od brzine vetra, broja turbina, cene elektroenergetske mreže). U radu su predstavljeni rezultati eksperimentalnih ispitivanja i numeričkih simulacija strujanja oko lopatica turbina. Jedna elektrana, napravljena od tih vetroturbina, može da proizvodi više struje po m² od konkurentnih solarnih panela. Vetroturbine u obliku lala postavljene su na različitim lokacijama u Holandiji i Nemačkoj. Navedeni sistemi za proizvodnju zelene i čiste energije, koji uz to nisu skupi, važan su doprinos održivom razvoju.

Ključne reči: vertikalne vetroturbine; testiranja; vetroelektrane; proizvodnja električne energije.

Wind turbines have been used long for the production of electrical energy from renewable sources. The aspirations of their designers are to improve the performance of such energy systems. One of the new solutions for small wind farms, adapted to populated areas, are tulip-shaped wind turbines, manufactured by company Flower Turbines from the Netherlands and which are presented in the paper. They implement more technological innovations, because innovative aerodynamic solutions and adaptive design are used for turbines. Constructively, they contain two special blades, and are currently produced in three different blade heights, namely 1, 3 and 6 m. They do not disturb the appearance of urban environments, do not make more noise from the wind that drives them, they start to produce electricity at wind speeds of 1.2 m/s, and grouping more of them increases their efficiency by 20 – 50 %. There are configurations of 2, 3.5 and 5 kW, no vibration and are long lasting. In addition, birds are not endangered as with classic wind turbines because they are clearly visible, the materials from which they are made are steel or aluminum (recyclable), while the return on investment is 2 to 10 years (depending on wind speed, number of turbines, electricity grid price). The paper presents the results of experimental tests and numerical simulations of the flow around the turbine blade. One power plant, made of these wind turbines, can produce more electricity per m² than competing solar panels. Tulip-shaped wind turbines are being installed at various locations in the Netherlands and Germany. The listed systems for the production of green and clean energy, which are also not expensive, are an important contribution to the sustainable development.

Key words: vertical wind turbine; tests; wind farm; electrical energy production.

* Corresponding author's email: dragan.kreculj@visokatehnicka.edu.rs

1 Uvod

Vetar je svakako veoma važan izvor obnovljive energije, dok male turbine dobijaju sve više na značaju. Razvoj energetskih sistema na vetar u poslednjim godinama intenzivan je. Vetroelektrane postaju sve veće i efikasnije, što je omogućilo da cena električne energije dobijene pomoću njih opada, dok kapaciteti navedenih neprekidno rastu iz godine u godinu. Pored toga Evropa uveliko radi na konceptu da postane klimatski neutralna do 2050. godine, tj. bez emisije štetnih gasova pri proizvodnji električne energije. Uopšte postoje različite konstrukcije vetroturbina.

Kod vetrogeneratora sa vertikalnom osovinom osa rotacije propelera postavljena je vertikalno. Ovakvi uređaji se lako izrađuju, izdržljivi su, imaju veliki obrtni momenat, te se lako održavaju, zato što se njihov generator nalazi bliže tlu. Ipak, vetrogenerator sa vertikalnom osovinom ima i neke nedostatke. On je manje efikasan od vetrogeneratora sa horizontalnom osovinom. Zatim kod ovog vetrogeneratora potreban je mnogo veći stepen mehaničkog prenosa za proizvodnju električne energije zbog manje brzine rotacije. [1]

Horizontalne vetroturbine, kao što je poznato, su u stanju da proizvedu velike količine čiste energije, ali imaju i određene nedostatke. Kada su velikih dimenzija proizvode buku, zauzimaju puno prostora, a mogu naškoditi i pticama, pogotovo ukoliko se nalaze na njihovim migratornim putevima. Zato se najčešće grade samo na izolovanim lokacijama i daleko od naseljenih mesta. [1]

Kako bi rešila neke od navedenih tehničkih problema američko-evropska kompanija Power Turbines razvila je vertikalnu vetroturbinu u obliku cveta lale. One mogu poslužiti za izradu malih vetroelektrana u naseljenim mestima. Ove vetroturbine poseduju tehničke karakteristike koje im daju specifične prednosti među postojećim konstrukcijama vetrogeneratora.

2 Vertikalne vetroturbine

Vetroturbina sa vertikalnom osovinom je u osnovi turbina kojoj je osovina rotora postavljena u vertikalni položaj, te ona može da generiše električnu energiju bez obzira iz kog smera vetar dolazi. Prednost ove vrste vetrogeneratora je u tome što oni mogu da generišu električnu energiju na mestima sa malo vetra i u urbanim područjima, u kojima građevinski propisi generalno zabranjuju postavljanje horizontalnih vetroturbina. Vertikalne vetroturbine nemaju potrebe za mehanizmom orijentacije, električni generator može biti smešten i na zemlji i on proizvodi manje energije, a nedostatak mu je u načinu pokretanja i stavljanja u pogon. [2]

Uopšte postoje tri vrste vertikalnih turbina koji za svoj rad koriste energiju vetra, i to su: Savonije, Giromill i Darrieus. Sve one odlikuju se specifičnim karakteristikama i prema tome opsegom primene, koja je i dalje ograničena. [1]

U vertikalnim turbinama, lopatice se okreću silom koju pokreće vetar. Vertikalne vetroturbine, za razliku od horizontalnih, uvek su poravnate sa pravcem vetra. Pri tome nije bitno u kom smeru vazduh struji, jer one mogu da rade i kada vetar duva malom brzinom. Ovi vetrogeneratori se lako izrađuju, izdržljivi su, imaju veliki obrtni momenat, lako se održavaju. Prednost takvih vertikalnih vetroturbina je u tome što su one manje i lakše od turbina koje imaju horizontalnu osovinu. Ali budući da su male veličine, generišu i manje energije. [3]

Pronalazač dr Vojislav Kujundžić iz Ivanjice 2020. godine osmislio je i registrovao originalno tehničko rešenje „Leptirasta vetroturbina sa vertikalnom osom rotacije”. Ono se zasniva na ostvarivanju velike razlike u aerodinamičkom otporu dvodelnih lopatica rotora vetroturbine, pri rotaciji oko vertikalne ose. Oblik lopatice je promenljiv, a delovi se šire, ili sklapaju, u odnosu na njihov radijalni nosač zavisno od položaja prilikom rotacije oko vertikalne ose i smera dejstva vetra. U aktivnom režimu rada, vetar otvara lopatice, prethodno sklopljene u horizontalni paket, zatim ih širi, i sa vertikalnom aerodinamičnom površinom radijalnog nosača povećava otpor lopatice. Otvorena lopatica velike površine, zajedno sa nosačem, prolazi kroz aktivnu zonu dejstva vetra, dok pri prelazu u neaktivnu zonu vetar sa zadnje strane dvodelne lopatice sklapa krilca u horizontalni paket, i sakriva ih iza radijalnog nosača. [4]

Postoje i vertikalni vetrogeneratori koji koriste novu Maglev magnetnu tehnologiju, zasnovanu na generatorima sa stalnim magnetima. Takvi modeli vetrogeneratora napravljeni su od ultralakog aluminijuma, FRP, titana ili čelika. Oni rade stabilno i počinju rad na niskoj brzini vetra. [5]

3 Modeli vetroturbina - lala

Vetroturbine oblika lale nazvane turbine – lale novo su tehnološko rešenje u domenu proizvodnje električne energije uz pomoć vetra u urbanim sredinama. Ekspanzija njihove primene tek se očekuje, a one su i dalje u procesu razvoja i unapređuju se. Trenutno se izrađuju u tri karakteristična konstruktivna modela, a to su: mali, srednji i veliki model vetroturbine.

3.1 Mali model

Mali model vetroturbine, sa dužinom lopatice od 1 m (slika 1), kompaktan je i lak, idealan za projekte izvan elektroenergetske mreže. Iako je najmanji model, ima nenadmašnu efikasnost za mrežna rešenja sa niskim energetske zahtevima. Pritom vetar ulazi u turbinu i menja smer, kako bi pogodio i narednu lopaticu. Što je veća efektivna brzina kojom vetar udara u lopatice, to turbina proizvodi više energije. [6]



Slika 1. Mali model vetroturbine

3.2 Srednji model

Srednji model vetroturbine, čija je dužina lopatice 3 m (slika 2), najcelishodniji je izbor za manje objekte rezidencijalnog tipa, ali oni i dalje imaju klaster efekat, i gotovo idealan odnos isplativosti i produktivnosti. Zahvaljujući svojoj kompaktnoj veličini, turbina se može ugraditi na tlo, ili na dovoljno jake ravne krovove. Lopatice vetroturbina su izrađene od staklo plastike. One imaju moćni generator, kontroler punjenja, bateriju (uz doplatu) i mrežni pretvarač. To je estetski oblikovana i tiha turbine, primerena za područja sa dobrim brzinama vetra. Može se odabrati boja iste, koja će se stapati s okolinom, ili da odgovara korporativnom identitetu objekta na kojem je. [6]



Slika 2. Srednji model vetroturbine

3.3 Veliki model

Veliki model vetroturbine ima dužinu lopatica od 6 m (slika 3): Ovaj tip turbine omigućava proizvodnju električne energije veće snage, jer njihovo postavljanje u međusobno bliske grupe -

klastera povećava produktivnost. Naročito su pogodne za preduzeća sa većim krovovima na objektima, ili uz parkinge i inače neiskorišćena područja. Trenutno dostupne su samo lopatice od stakloplastike, a vetroagregat dolazi sa generatorom snage od 5 kW. [6]

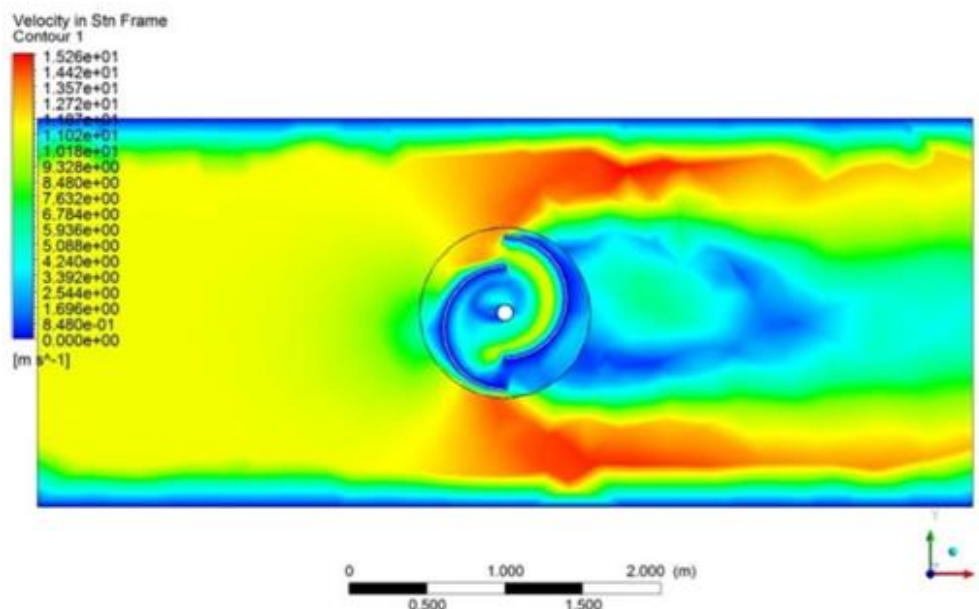


Slika 3. Veliki model vetroturbine

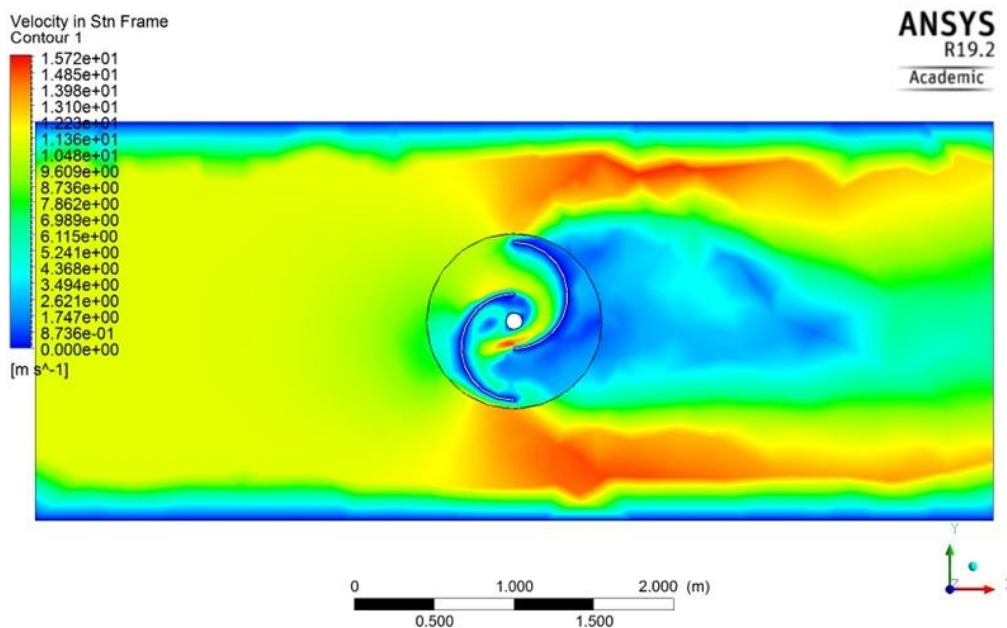
4 Rezultati testiranja vetroturbin oblika lale

Za testiranja modela turbina, pored onih realnih, upotrebljavaju se i specijalni softveri za simulaciju i numeričku analizu parametara. Vazdušni prostor u sredini vetroturbine mora biti podešen pravilno, tako da se iskoriste prednosti dizajna vetroturbine tipa Savonius, sa dve lopatice u obliku preklapajućih polukrugova. Ovo je i važna inovacija koja je nedostajala vertikalnim vetroturbinama ranije.

Na narednim ilustracijama (slike 4 i 5) vide se horizontalni poprečni preseki kroz sredinu turbine sa osovinom u sredini (beli kružić na tim slikama): crvena boja je zona najveće brzine, a plava najmanje, dok je smer vetra sa leve strane na desnu. Slike 4 i 5, prikazuju područja crvene boje uz bok turbine. Kada su turbine pravilno raspoređene, na međuosna rastojanja precizirana patentnim predlogom, kako bi imale koristi od susedne zone vetra veće brzine, ukupna izlazna snaga grupe turbina povećava se.



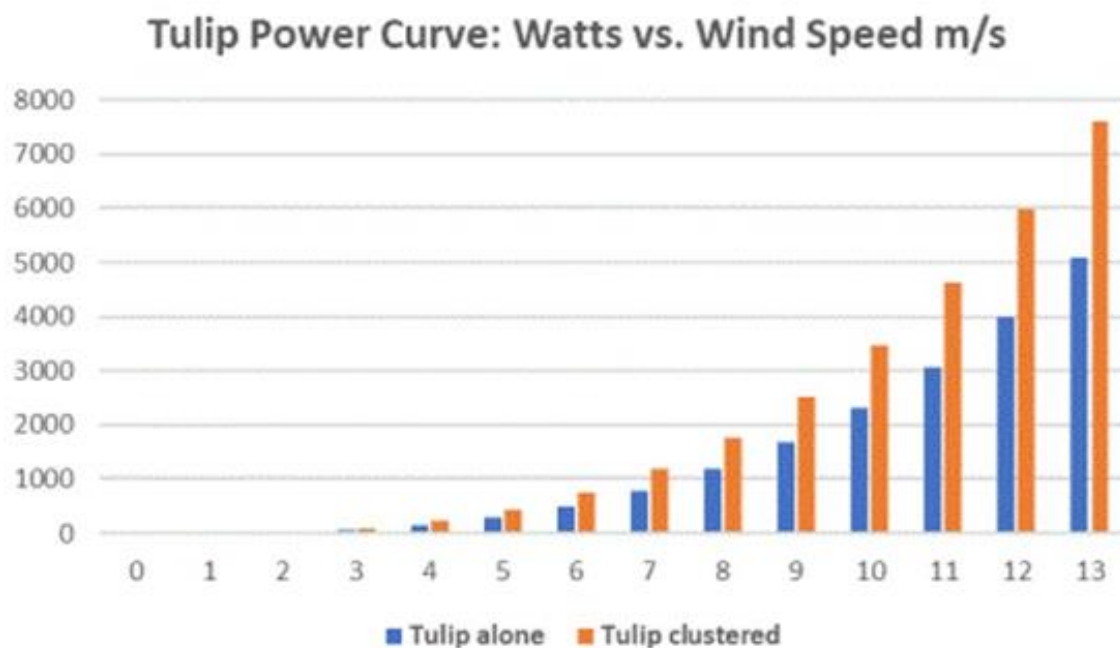
Slika 4. Simulacija brzine strujanja vetra oko lopatice vetroturbine kada položaj turbine nije dobro centriran u odnosu na pravac i smer vetra [6]



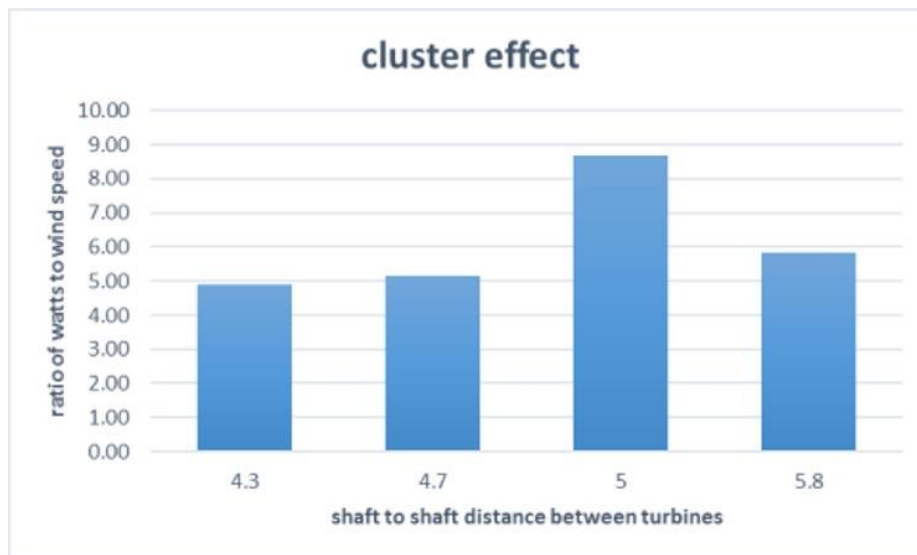
Slika 5. Simulacija brzine strujanja vetra oko lopatice vetroturbine kada je položaj turbine dobro centriran u odnosu na pravac i smer vetra [6]

Treba zapaziti da kako vetar ulazi u prostor između lopatica, on menja smer i pogađa obe lopatice turbine (kao dva dobra po ceni jednog). Na slici 5 vidi se crvena zona velike brzine u sredini turbine, dok na slici 4 toga nema. Što je veća brzina kojom vetar udara u lopatice, to je viša energija, koju turbina proizvodi. [6]

Veća efikasnost vetroturbine ogleda se i u nižoj početnoj brzini za rad (za proizvodnju električne energije), koja iznosi oko 1 m/s. Na sledećem grafikonu (slika 6) vidi se niz podataka za turbine visine 4,5 m postavljene na području sa malom brzinom vetra. Većina vetroagregata započinje rad pri brzini vetra većoj ili jednakoj 3 m/s. Pri toj brzini, Wind Tulip već proizvodi snagu od 25 W - 30 W. Ovo jasno pokazuje pri koliko maloj brzini ova turbina počinje da se vrti. Zavisnosti izlazne snage turbine od brzine vetra, sa i bez efekta klastera, predstavljene su grafički na slici 6.



Slika 6. Snaga vetroturbin, postavljenih pojedinačno ili u klasteru, u funkciji brzine vetra [6]



Slika 7. Zavisnost odnosa snage i brzine vetra od rastojanja između osovina vetroturbina, kada su postavljene u grupi (efekat klastera) [6]

Aerodinamička analiza rada turbina u klasteru, pokazuje da oko ovih turbine nema stvaranja vrtloga, kako se prvobitno očekivalo. Kada se ove turbine stave na tačno definisanu udaljenost jedna od druge, to čini da one susedne rade od 20% do 50% bolje. Testiranje koje je obavljeno, jednom na modelu velike turbine, a drugi put na malom modelu, za ispitivanje broja obrtaja, jasno je pokazalo takav učinak. [6]

Slika 6 prikazuje vrednosti izlazne snage turbine, čije su lopatice visoke 4.5 m, u zavisnosti od rastuće brzine vetra, za dva slučaja: plavom bojom prikazan je bar graf za rad jedne turbine, dok su crvenom bojom date vrednosti za rad više turbina u grupi – klasteru. Više turbina postavljenih blizu jedna druge daju tzv. efekat klastera. Iako se ranije smatralo da postavljanje više vetroturbina u grupi, tako da su jedna blizu druge izaziva vrtloženje vazduha, čime turbine aerodinamički ometaju jedna drugoj rad, za turbine u obliku lale, rad u grupi može biti povoljniji. Druge tipove vetroturbina treba postavljati dovoljno daleko jednu od druge. Kod vetroturbina u obliku lala, rebra turbine su horizontalna, a prema patentiranoj formuli, pravilno postavljanje rebara, uz definisan međuosni razmak, smanjuje turbulenciju i povećava efikasnost. [6]

Na grafikonu iznad (slika 7) vidi se uticaj pomenutog klastera, odnosno grupisanja turbina – prikazana je promena odnosa proizvedene snage prema brzini vetra, u zavisnosti od rastojanja na koje su turbine razmeštene jedna od druge. [6]

Vertikalne vetroturbine imaju više tehnoloških konstruktivnih inovacija. One u osnovi predstavljaju sistem za dobijanje čiste električne energije. Postoji tendencija da se ove turbine postave kao posebne, ili integralne celine drugih objekata i sistema u okviru naselja. Neke od praktičnih primena ovih vetroturbina vide se na slici 8.



Slika 8. Primene vetroturbina oblika cveta lale na objektima u naseljenim mestima [6]

5 Zaključak

Vetroturbine oblika cveta lale predstavljaju inovativno tehnološko rešenje u sektoru energetike. Iako su do danas postojali brojni pokušaji za implementacije, vertikalne vetroturbine nisu našle veću primenu. Trenutno se turbine - lale proizvode u tri različita modela, odnosno od 1 m, 3 m i 6 m visine lopatica. One zbog svog vizuelno lepog dizajna ne narušavaju izgled urbanih sredina, različitih su boja, a tihe su - **ne proizvode više buke od vetra koji ih pokreće**. Pored skladnog izgleda, njih karakteriše i bolja efektivnost, s obzirom na to da počinju da proizvode struju već pri brzinama vetra od 1.2 m/s, a grupisanje više ovakvih vetrenjača u obliku cveta lale zapravo **povećava njihovu efikasnost**. Mala elektrana napravljena od ovakvih vetrogeneratora na povoljnoj lokaciji može da proizvodi više struje po m² od konkurentnih solarnih panela.

Vetroturbine oblika lale imaju više tehnoloških inovacija koje menjaju pretpostavke o ulozi malih vetroagregata sa vertikalnom osom. Testiranjem modela turbina u specijalizovanim softverima analizirani su rezultati i diskutovani su karakteristični parametri istih. Vetrogeneratori oblika lale imaju napredne aerodinamičke karakteristike i vrlo su isplativi. Pri tome aerodinamička slika opstrujavanja lopatica turbina pokazuje da nema generisanja nepoželjnih vrtloga.

Turbine - lale već su postavljene na različitim objektima u Holandiji i Nemačkoj. One proizvode električnu energiju za potrošače, a kompanija je nakon obezbeđivanja početnih finansija u potrazi za novim investicijama, koje bi im omogućile brži rast i prodor na konkurentna i zahtevna energetska tržišta. Ima ih na krovovima, u dvorištima, parkovima, baštama kafića i restorana, na benzinskim pumpama i slično. Ove vetroturbine sa dve lopatice variraju po veličini, pa su pogodne za napajanje čitavih domaćinstava, ali i malih uličnih punjača za električne trotinete, bicikle i ostale električne uređaje.

Za kompletno efikasno rešavanje klimatskih poremećaja biće neophodno da se što više proizvodi potpuno (100%) čista električna energija, kakva je i ona dobijena iz vetrogeneratora. Iako razmatrano tehnološko rešenje vetroturbine - lale verovatno neće moći da zameni velike vetroparkove, ili solarne elektrane, ipak bi ono moglo znatno da unapredi potencijal za proizvodnju električne energije u naseljenim mestima, posebno u vetrovitim područjima, koja imaju manji potencijal za iskorišćenje dobro poznate, raspoložive i besplatne, Sunčeve energije.

6 Literatura

- [1] ***, Princip rada vetrogeneratora, dostupno na <https://greenenergysolution.org/vetrogeneratori/princip-rada-vetroturbine>, preuzeto 27.7.2021.
- [2] **Ivanov T., Simonović A., Svorcan J., Peković O.:** Optimizacija vetroturbine sa vertikalnom osom upotrebom genetskih algoritama i CST parametrizacijom aeroprofila, FME Transactions, 2017, vol. 45, br. 1, str. 26-31.
- [3] Paul Cooper: Development and analysis of vertical-axis wind turbines, dostupno na <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/9781845642051/9781845642051008FU1.pdf>, preuzeto 30.8.2021.
- [4] ***, Nesvakidašnji izum Srbina: Konačno rešio misteriju vetrenjače sa vertikalnom osom, dostupno na <https://serbiantimes.info/nesvakidasnji-izum-srbina-konacno-resio-misteriju-vetrenjace-sa-vertikalnom-osom>, preuzeto 7.8.2021.
- [5] ***, Vertikalni vetro generatori, dostupno na <https://technopartner.rs/PDF/Vetrogeneratori/VERTIKALNI%20VETRO%20GENERATORI.pdf>, preuzeto 28.8.2021.
- [6] ***, The wind turbine you want to live and work next to, dostupno na <https://flower-turbines.com>, preuzeto 4.8.2021.