

ISSN 1849-0700
ISSN 1330-0083
CODEN HMCAE7

Hrvatsko meteorološko društvo
Croatian Meteorological Society

HRVATSKI METEOROLOŠKI ČASOPIS CROATIAN METEOROLOGICAL JOURNAL

53

Hrv. meteor. časopis	Vol. 53	p. 1-82	ZAGREB	2018
----------------------	---------	---------	--------	------

**HRVATSKI METEOROLOŠKI ČASOPIS
CROATIAN METEOROLOGICAL JOURNAL**

Izdaje

Hrvatsko meteorološko društvo
Grič 3, 10000 Zagreb
Hrvatska

Published by

Croatian Meteorological Society
Grič 3, 10000 Zagreb
Croatia

Glavni i odgovorni urednik / Chief Editor

Bojan Lipovščak, Zagreb

bojan.lipovscak@cirus.dhz.hr

Zamjenik glavnog i odgovornog urednika / Assistant Editor

Amela Jeričević, Zagreb

Tajnik Hrvatskog meteorološkog časopisa / Secretary of Croatian Meteorological Journal

Dunja Mazzocco Drvar, Zagreb

Urednički odbor / Editorial board

Branka Ivančan-Picek, Zagreb
Amela Jeričević, Zagreb
Dunja Mazzocco Drvar, Zagreb

Stjepko Jančijev, Zagreb
Bojan Lipovščak, Zagreb
Velimir Osman, Zagreb

Recenzenti / Reviewers

Naser Abdel-Latif, Egipat
Andreina Belušić Vozila, Hrvatska
Tanja Likso, Hrvatska
Iris Odak Plenković, Hrvatska
Snizhko Sergiy, Ukrajina,

Eric Aguilar, Španjolska
Ksenija Cindrić Kalin, Hrvatska
Petra Mikuš Jurković, Hrvatska
Anatoly Polevoy, Ukrajina

Korektura / Corrections

Vesna Đuričić, Hrvatska

Časopis se referira u / Abstracted in

Scopus
Geobase
Elsevier/Geoabstracts

Zugänge der Bibliothek des Deutschen Wetterdienstes
Meteorological and Geostrophysical Abstracts
Abstracts Journal VINITI

Časopis sufinancira / Journal is subsidized by:

Ministarstvo znanosti i obrazovanja

Adrese za slanje radova

hmc@meteohmd.hr
djuricic@cirus.dhz.hr

Časopis izlazi jedanput godišnje

Web izdanje: <http://hrcak.srce.hr/hmc>
Prijelom i tisak: ABS 95

Addresses for papers acceptance

hmc@meteohmd.hr
djuricic@cirus.dhz.hr

Naklada: 150 komada

Hrvatsko meteorološko društvo
Croatian Meteorological Society

HRVATSKI METEOROLOŠKI ČASOPIS
CROATIAN METEOROLOGICAL JOURNAL

53

Hrv. meteor. časopis	Vol. 53	p. 1-82	ZAGREB	2018
----------------------	---------	---------	--------	------

Znanstveni časopis *Hrvatski meteorološki časopis* nastavak je znanstvenog časopisa *Rasprave* koji redovito izlazi od 1982. godine do kada je časopis bio stručni pod nazivom *Rasprave i prikazi* (osnovan 1957.). U časopisu se objavljuju znanstveni i stručni radovi iz područja meteorologije i srodnih znanosti. Objavom rada u Hrvatskom meteorološkom časopisu autori se slažu da se rad objavi na internetskim portalima znanstvenih časopisa, uz poštivanje autorskih prava.

Scientific journal *Croatian Meteorological Journal* succeeds the scientific journal *Rasprave*, which has been published regularly since 1982. Before the year 1982 journal had been published as professional one under the title *Rasprave i prikazi* (established in 1957). The *Croatian Meteorological Journal* publishes scientific and professional papers in the field of meteorology and related sciences. Authors agree that articles will be published on internet portals of scientific magazines with respect to author's rights.

PRELIMINARNA PROCJENA ENERGIJE VJETRA NA PODRUČJU KLIMATOLOŠKE POSTAJE IMOTSKI

Preliminary wind energy estimation on climatological station Imotski

KREŠO PANDŽIĆ

Državni hidrometeorološki zavod

Grič 3, 10000 Zagreb

pandzic@cirus.dhz.hr

Primljeno 19. prosinca 2018., u konačnom obliku 24. veljače 2019.

Sažetak: U radu se opisuje povijesni razvoj korištenja snage vjetra za plovību pomoću jedrenjaka, pumpanje vode i mljevenje žitarica, od antičkih vremena do danas. Tek je u drugoj polovici 19. stoljeća sagrađen određeni broj vjetroelektrana u SAD i sjevernoj Europi koje su služile za rasvjetu, no ubrzo su prestale s radom. Poslije naftne krize 1970-ih u SAD započinje izgradnja vjetroelektrana, osobito u Kaliforniji, a zatim je težište te gradnje prešlo u sjevernu i zapadnu Europu, 1990-ih. U Hrvatskoj taj proces intenzivnije započinje 2007. godine poslije uređenja odgovarajuće zakonske regulative te usklađivanja propisa s Europskom unijom pa se u današnje vrijeme oko 10 % energije u Hrvatskoj proizvodi korištenjem obnovljivih izvora, većinom od vjetra. Prikazan je postupak procjene energije vjetra na osnovi raspoloživih opažanja vjetra na klimatološkoj postaji Imotski za razdoblje 1996–2015. Ekstrapolirane su brzine vjetra s referentne razine 10 m na 50 m i 100 m visine korištenjem logaritamskog zakona promjene vjetra visinom te visine hrapavosti 0.4 m za niske objekte u okolišu meteorološke postaje Imotski. Procjena snage vjetra na temelju raspoloživih i izračunatih podataka smatra se preliminarnom procjenom te su raspoloživi rezultati samo orijentacijskoga tipa. Rezultati sugeriraju da postoji potreba za dodatnim mjerenjima u trajanju najmanje dvije godine na visinama između 10 m i 100 m na mikrolokaciji potencijalne vjetroelektrane. Osobito je naglašena komplementarnost upotrebe srednjeg godišnjeg hoda te međugodišnja promjena brzine vjetra za planiranje gospodarenja potencijalnim elektranama na području klimatološke postaje Imotski.

Ključne riječi: Imotski, vjetar, vjetroektrane, energija

Abstract: This paper describes a historic development of wind power use for sailing, water pumping and windmills from antic time to nowadays. In the second half of 19th century a number of wind turbines have been built for producing energy for light in USA and the Northern Europe but these were shut down shortly after. After oil industry crises in 1970s in California, many wind generators have been installed as well as in the Northern and Western Europe during 1990s. An intensive installation of wind generators started in Croatia in 2007 after corresponding legislative establishment harmonized with the European Union regulative and until nowadays about 10 % of energy is produced from renewable sources, mostly of wind. A procedure for wind power estimation is demonstrated using available wind observation data at Imotski climatological station for the period 1996–2015. An extrapolation of wind speed from the 10 m reference height is made to the 50 m and 100 m height using logarithmic law and 0.4 m roughness height (because of low buildings surrounding Imotski climatological station). An estimation of wind power based on available observed and calculated data presented in this work is considered preliminary and available results give only a rough picture. The results suggest the need for additional measurements of wind for the period of at least 2 years at several heights from 10 m to 100 m at micro location of potential wind generator. A complementary use of average annual flow of monthly wind speed and interannual variability is emphasised for wind generator exploitation planning on Imotski climatological station area.

Key words: Imotski, wind, wind generator, energy

1. UVOD

Prva primjena energije vjetra bila je za brodove jedrenjake od antičkoga doba do danas. Druga primjena snage vjetra pomoću vjetrenjača bila je za pumpanje vode i mljevenje žitarica. Prve vjetrenjače za pumpanje vode javljaju se već u 9. stoljeću na području današnjeg Irana i Afganistana. Na području Europe prve vjetrenjače za pumpanje vode i mljevenje žita javljaju se u 12. stoljeću (Jerkić, 2011), a mnoge od njih očuvane su do danas, osobito na području Engleske, Nizozemske i Danske (Sl. 1). Na području Imotske krajine nije zabilježena primjena vjetrenjača za pumpanje vode ili mljevenje žita iako se, prema Lozina (2016), vjetar koristio za razdvajanje zrna žita od slame nakon vršidbe: *“Kada bi se žito skupilo onda je trebalo čekati vjetar da bi se lopatom žito bacalo u vis da se odstrane ostaci slame koji su ostali.”*

Prema Jerkić (2011) prvu vjetrenjaču za proizvodnju električne energije, to jest prvi vjetroagregat, visine 10 m, s platnenim jedrima, izradio je James Blyth 1887. godine u Glasgowu u Škotskoj; taj se agregat koristio za osvjetljenje



Slika 1. Vjetrenjača u Chestertonu iz 17. stoljeća, turistička atrakcija pokrajine Warwickshire u Engleskoj (prema Whitaker, 2015).

Figure 1. The 17th century Chesterton windmill, Warwickshire County tourist attraction (according to Whitaker, 2015).

njegove kuće. Isti izvor spominje i to da je 1887. godine Charles F. Brush načinio vjetroagregat još veći (rotor promjera 17 m) i bolji, razmjerno male maksimalne snage (12 kW), u Clevelandu, SAD. Izradila ga je njegova inženjerska tvrtka te ga postavila kod njegove kuće na visinu od 18 m. Agregat je služio za rasvjetu i radio do godine 1908., no već 1900. sagrađene su prve hidroelektrane, koje su postale alternativa povoljnija od vjetroagregata zbog distribucijskih mreža, raspoložive snage i kontinuiteta rada. Dokumentirana su brojna korištenja vjetroagregata u tom razdoblju. Primjerice, danski znanstvenik Poul la Cour također je konstruirao vjetroagregat za proizvodnju električne energije 1890-ih godina. Od početka 20. stoljeća do 1970-ih razvoj vjetroagregata i industrije vjetra bio je ograničen i usporen zbog dostupnosti i niske cijene drugih izvora energije, posebice nafte i ugljena.

Suvremeno iskorištavanje energije vjetra počelo je u 1970-im godinama kao odgovor na svjetsku naftnu krizu 1973. godine (Jerkić, 2011). Na području Kalifornije, u 80-im godinama ukupna snaga vjetroelektrana bila je do



Slika 2. Suvremeni vjetroagregat (prema Jerkić, 2011).

Figure 2. Modern wind turbine (according to Jerkić, 2011).

voljna za opskrbu grada s 300.000 stanovnika. Američki proizvođači već su u to vrijeme nastupili s vjetroagregatima velikih dimenzija i snaga, s različitim inženjerskim rješenjima, no brzopletost i nedovoljno ulaganje u razvoj tih rješenja rezultirali su cijelim nizom nesigurnih i neprimjenjivih vjetroagregata. Ipak, razvoj energije vjetra uzeo je maha te se do kraja 20. stoljeća samo ubrzavao, s tim da se težište proizvodnje i instalacije nove snage preselilo u sjevernu Europu, koju se i danas smatra kolijevkom modernih vjetroagregata i industrije vjetra (Sl. 2). U svijetu se svake godine događa ogroman rast u prvih deset godina 21. stoljeća, a broj zaposlenih u toj industriji u EU približava se broju od 200.000 ljudi.

Može se reći da vjetar kao izvor energije postaje jedan od uobičajenih izvora energije te će u skorijoj budućnosti vjerojatno postati ravnopravan klasičnim izvorima energije koje smo koristili većinom do sada (Sl. 3). Taj smjer snažno podupire Europska unija iz barem dva razloga: radi smanjenja emisije stakleničkih plinova te radi manje ovisnosti o uvozu energije, a što u potpunosti slijedi i Hrvatska.

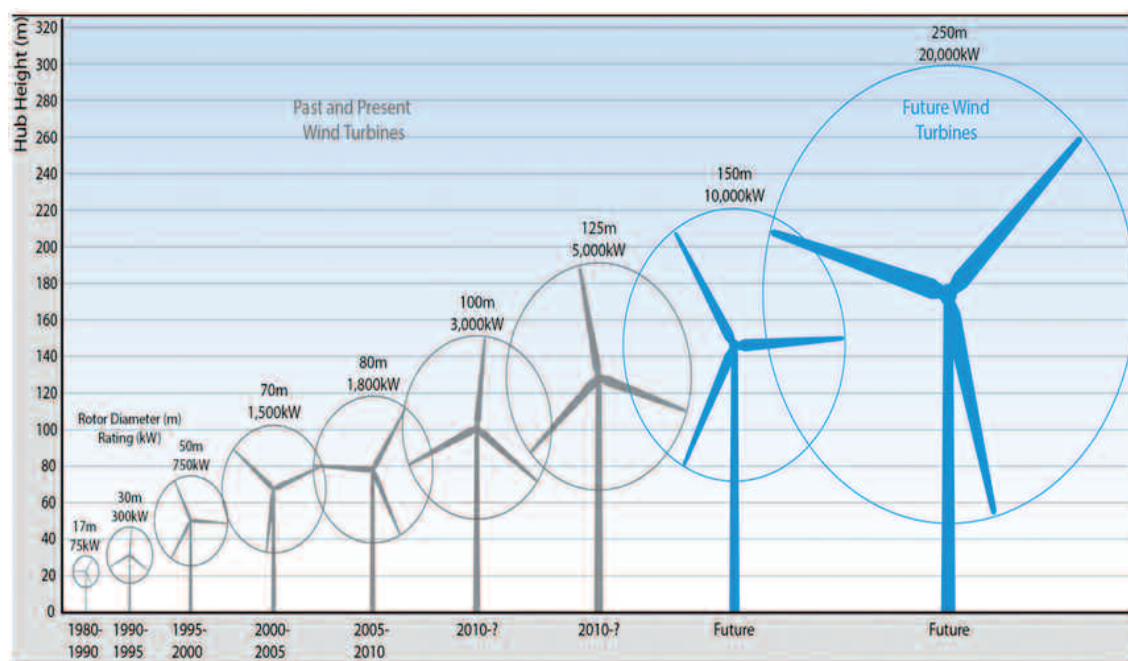
Iako je prva vjetroelektrana u Hrvatskoj sagrađena 2004. godine na predjelu Ravne na otoku Pagu, intenzivnija gradnja vjetroelek-

trana započinje tek od 2007., kada su usvojeni Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača energije uz poticajnu cijenu. Cijeli je proces reguliran ugovorom o otkupu električne energije koji se sklapa s *Hrvatskim operatorom tržišta energije* (HROTE), obično na rok od 14 godina (ZEZ, 2015).

Ukupna raspoloživa snaga elektrana u 2015. godini u sustavu HEP grupe unutar Hrvatske bila je 3857 MW, odnosno 4205 MW s polovicom Nuklearne elektrane Krško. Od toga je 348 MW NE Krško, 2186 MW hidroelektrana i 1671 MW termoelektrana. Dodatna snaga dolazi iz obnovljivih izvora prikazanih na Slici 4.

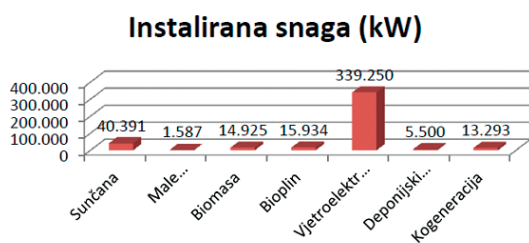
Kada se gleda udio instalirane snage pojedinih obnovljivih izvora, uvjerljivo prednjače vjetroelektrane, kojima je u 2015. godini udio instalirane snage bio 79 %. Udio obnovljivih izvora u ukupnoj instaliranoj snazi bio je blizu 9,2 %, to jest 431 MW u godini 2015., što treba udvostručiti do 2020., da bi se ostvarili klimatsko-energetski ciljevi Europske unije 20-20-20 (<https://www.enu.hr/ee-u-hrvatskoj/20-20-20-i-dalje/>).

Cilj ovog rada jest da se pokaže energetske potencijal vjetra na području Imotskog, na teme-



Slika 3. Porast veličine tipičnog vjetroagregata (prema Ruppert i Searcy, 2017).

Figure 3. Increase in the size of a typical wind turbine (according to Ruppert and Searcy, 2017).



Slika 4. Prikaz udjela instalirane snage elektrana obnovljivih izvora u Hrvatskoj u 2015. godini (prema ZEZ, 2015).

Figure 4. The share of installed capacity of different renewable energy plants in Croatia in 2015 (according to ZEZ, 2015).

Iju podataka klimatološke postaje Imotski. Rezultati su samo okvirni jer su raspoloživi samo podaci opažanja (vizualne ocjene) vjetra u 7, 14 i 21 sat po lokalnom vremenu na visini 10 m iznad tla. Za potrebe moguće izgradnje vjetroelektrane potrebno je obaviti dodatna instrumentalna mjerenja vjetra na lokaciji vjetroelektrane na visini od 10 do 100 m iznad tla u trajanju najkraće dvije godine. Rezultati obrade podataka na postaji dodatno ukazuju na postojanje varijabilnosti vjetra kroz dulje razdoblje (mjesec ili godina), što je također važan podatak za planiranje eksploatacije vjetroelektrane.

Osim podataka opažanja koji su korišteni u analizi, dodatne se informacije mogu pronaći u *Interaktivnom atlasu vjetra (IAV) Državnoga hidrometeorološkog zavoda (DHMZ)*. Korištenjem podataka mjerenja i numeričkog modela, u IAV prikazana je i prostorna varijabilnost pa zainteresirana strana može bolje vidjeti koliko je vjetar prostorno varijabilan i lokacijski uvjetovan (od velike važnosti za lokacije gdje nema mjerenja). Uz rezultate koji se odnose na visinu od 10 m iznad tla, u IAV uračunati su dodatno i viši vertikalni nivoi (za što je IAV jedini izvor informacija toga tipa). Također treba uvažiti i moguće klimatske promjene koje će također utjecati na energetski potencijal vjetra u idućih 50 do 100 godina, što su pokazali Bajić i dr. (2013).

Vjetroelektrana Lukovac (VE Lukovac) uspostavljena je u srpnju 2017. u općini Cista Provo u Imotskoj krajini, na visoravni između brda Umac i Jaram–Lukovac, na nadmorskoj visini od 520 do 770 m, snage 48 MW; ona

ima 16 vjetroagregata s platoima za temeljne i tehničke potrebe, pristupne ceste za spoj vjetroelektrane s javnim prometnicama, servisne ceste unutar vjetroparka, internu kabelsku i komunikacijsku mrežu, transformatorsku trafostanicu 110/30 kV, te priključak na prijenosnu mrežu (izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrana_Lukovac). Taj primjer ukazuje na dugotrajnost (pripremi radovi započeli su još 2010. godine izradom studije utjecaja na okoliš) i složenost planiranja i provedbe čitavog projekta do operativne razine.

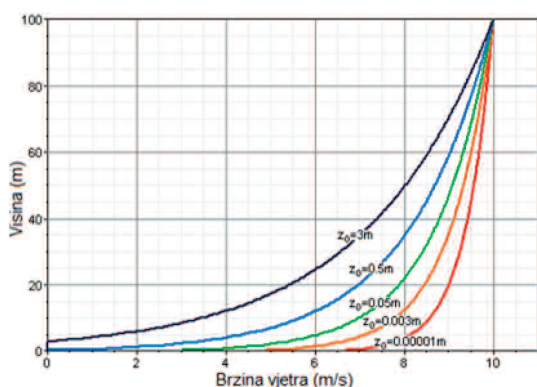
Trendovi u Europi i svijetu jasno ukazuju u kom smjeru treba ići. Neke europske zemlje planiraju već do 2050. godine u potpunosti prijeći na obnovljive izvore energije, u Hrvatskoj je pored energije rijeka i Sunca energija vjetra nezaobilazan obnovljivi izvor.

2. PODACI I METODA NJIHOVE OBRADE

U radu se koriste terminski podaci opažanja smjera i brzine vjetra (u 7 i 14 i 21 sat po lokalnom vremenu) i srednje mjesečne i godišnje brzine vjetra s klimatološke postaje Imotski¹ za razdoblje 1996.–2015., raspoloživi u arhivi Državnoga hidrometeorološkoga zavoda (DHMZ). Podrazumijeva se da se podaci opažanja brzine vjetra odnose na visinu 10 m iznad tla. Povijest i mikrolokacija postaje, smještene na povišenu terenu sjeveroistočnoga dijela grada nadmorske visine 435 m, okružene manjim objektima, opisana je detaljnije u Pandžić i Čačić (2015). Na početku su podaci bili u boforima (izraženi u skali od 0 do 12; 0 označava tišinu, a 12 orkanski vjetar) koji su pretvoreni u ms^{-1} , što je uobičajena jedinica za brzinu vjetra, osobito u Europi.

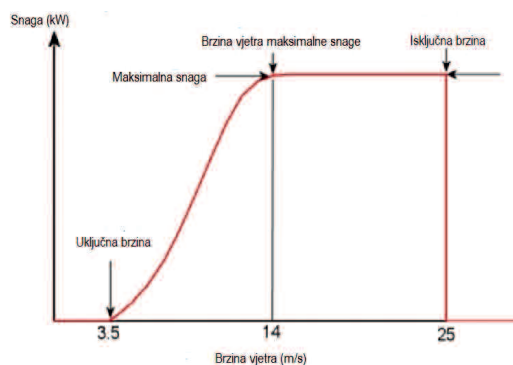
Hrapavost tla procijenjena je na 0.4 m zbog malih objekata u blizini mjerne postaje. Logaritamskim zakonom, vidi na primjer Penzar i sur. (1996) i sliku 5, koji koristi tu vrijednost hrapavosti i opažene brzine vjetra na 10 m iznad tla, napravljena je ekstrapolacija brzine vjetra na potencijalne visine vjetrogeneratora (50 i 100 m iznad tla).

Snaga vjetra proporcionalna je kubu brzine vjetra, to jest, na primjer, ako brzina poraste dva puta, snaga poraste osam puta (Vukić, 2011). Izlazna snaga tipičnoga generatora ovisno o brzini vjetra prikazana je na slici 6. Koefficient iskorištenja vjetroagregata određuje se



Slika 5. Primjer prikaza promjene brzine vjetra visinom ovisno o visini hrapavosti terena z_0 u slučaju da je brzina vjetra na „referentnom“ nivou 100 m iznad tla jednaka 10 ms^{-1} .

Figure 5. Wind speed changes with height and terrain roughness z_0 in the case when wind speed at the „reference“ level of 100 m above the ground is 10 ms^{-1} .



Slika 6. Izlazna snaga tipičnoga vjetrogeneratora, ovisno o brzini vjetra (izvor: http://www.wind-power-program.com/turbine_characteristics.htm).

Figure 6. Output power of a typical wind turbine depending on wind speed (source: http://www.wind-power-program.com/turbine_characteristics.htm).

Tablica 1. Mjesečna količina energije po kvadratnoj stopi² rotirajuće površine vjetrogeneratora ovisno o srednjoj brzini za Betzovu granicu i vjetrogenerator s koeficijenom iskorištenja 35 % uz pretpostavku da se razdioba brzina vjetra pokorava Rayleighevoj razdiobi za morsku razinu (prema Woofenden, 2008).

Table 1. Monthly energy amounts per square foot of a wind turbine rotating surface depending on average wind speed for Betz's limit and wind turbine with a coefficient efficiency of 35 %, presuming that wind speed distribution fits Rayleigh's distribution for sea level (Woofenden, 2008).

Srednja mjesečna brzina vjetra (m/s)	Mjesečna energija za Betz-ovu granicu (kWh)	Mjesečna energija za vjetrogenerator s koeficijentom iskorištenja 35 % (kWh)
2.2	0.42	0.25
2.7	0.74	0.44
3.1	1.21	0.72
3.6	1.83	1.08
4.0	2.60	1.55
4.5	3.50	2.08
4.9	4.46	2.64
5.4	5.38	3.19
5.8	6.23	3.69
6.3	6.94	4.12

¹ Klimatološke postaje meteorološke su postaje drugoga reda na kojima rade motritelji volonteri, entuzijasti. S obzirom na to da su anemografi, uređaji za mjerenje brzine i smjera vjetra razmjerno skupi, opažanje brzine vjetra na klimatološkim postajama obavlja motritelj vizualno prema učincima vjetra na okoliš prema Beaufortovoj ljestvici dok se smjer vjetra ocjenjuje prema vjetrovli koja je postavljena na visinu 10 m iznad tla. U Hrvatskoj su za sada instalirani anemografi za mjerenje smjera i brzine vjetra na 40 glavnih meteoroloških postaja, dok je klimatoloških postaja preko sto, čime se osigurava bolja prostorna pokrivenost podacima vjetra. Vremenski nizovi podataka vjetra također sežu dalje u prošlost nego nizovi samo anemografskih podataka vjetra. Modernizacijom motriteljske meteorološke mreže DHMZ-a planira se uskoro instaliranje anemografa i na većini klimatoloških postaja.

² Preračunata u metrički sustav, kvadratna stopa predstavlja kvadrat čije stranice imaju duljinu od 0,3048 m. Jedna kvadratna stopa iznosi 0.09290304 m².

kao omjer izlazne snage vjetroelektrane i teorijske snage vjetra. Teorijski maksimalni koeficijent iskorištenja iznosi 59 % i naziva se Betzova granica (Woodfenden, 2008). Koeficijenti iskorištenja stvarnih generatora manji su od toga, obično 35 % (Tab. 1).

3. PRELIMINARNA PROCJENA ENERGIJE VJETRA

Za procjenu energije vjetra važna je prosječna mjesečna i godišnja srednja brzina vjetra uz pretpostavku da se empirijska funkcija gustoće vjerojatnosti može prilagoditi empirijskoj radiobi čestina opaženih i ekstrapoliranih brzina vjetra (koji predstavljaju desetminutni prosjek) kako bi se mogla procijeniti vjerojatnost pojave određenih klasa brzina vjetra pogodnih za pokretanje vjetrogeneratora (Sl. 6). Pretpostaviti ćemo da se empirijska razdioba čestina brzine vjetra pokorava Rayleighevoj razdiobi za morsku razinu da bi se približno mogli koristiti rezultati proračuna prikazani u tablici 1.

Rayleigheva razdioba ima fiksiran parametar oblika iz Weibullove razdiobe na vrijednost 2 koja je svojevrsan standard u kontekstu razdiobe vezane za vjetar. Rayleigheva je razdioba (općenito) pogodna kad se koriste usrednjene vrijednosti brzine vjetra za dulje razdoblje kao što je slučaj u tablici 1. Više detalja u Arikan i sur. (2015), dostupno na <http://dergi-park.gov.tr/download/article-file/99301>.

Vizualna opažanja jačine vjetra razmjerno su gruba, pa oblik te razdiobe neće biti prepoznat na empirijskim razdiobama čestina brzine vjetra za Imotski, osobito u dijelu manjih brzina vjetra te za manje visine iznad tla. Razmjerno velika vremenska rezolucija opažanja vjetra (7, 14 i 21 sat) također doprinosi slabljenju prilagodbe teorijske razdiobe empirijskim podacima iako su uzorci statistički signifikantni (21.515 podataka s 20-godišnjim razdobljem uzorkovanja te odgovara redu veličine broja podataka petomjesečnoga kontinuiranoga mjerenja brzine vjetra s desetminutnom vremenskom rezolucijom, približno 21.600 podataka, sa znatno skraćenim vremenom uzorkovanja u odnosu na vizualna motrenja).

To što je opisano također je jedan od razloga da se ovi rezultati smatraju preliminarnima. Oni će dati prije svega kvalitativnu sliku o po-

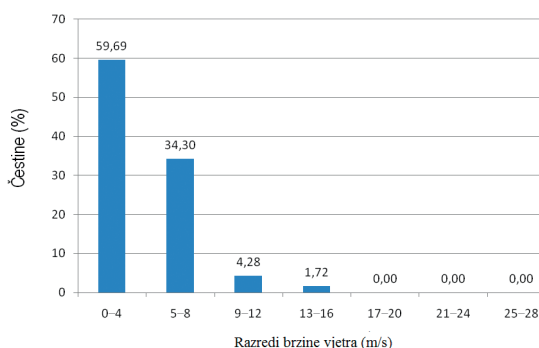
tencijalu energije vjetra, višegodišnji srednji godišnji hod srednjih mjesečnih brzina vjetra te međugodišnje promjene srednje godišnje brzine vjetra, što je važno za upravljanje vjetroelektranama. Postoji realna mogućnost da na nekim drugim klimatološkim postajama u Hrvatskoj te s nizovima motrenja duljima od prikazanog, rezultati analize vjetra budu još reprezentativniji.

Izračunate su terminske (7, 14 i 21 sat) brzine vjetra na razini 50 i 100 m iznad tla na temelju opažene brzine vjetra na 10 m iznad tla za dvadesetgodišnje razdoblje 1996.–2015. korištenjem logaritamskoga zakona i hrapavosti terena za niža naselja $z_0 = 0.4$ m. Rezultati razdiobe čestina prikazani su na Slikama 7–9. Usporedba čestina na tri slike pokazuje povećanje čestine u razredima većih brzina kako visina iznad tla raste, to jest od 10 do 100 m. Za dvije manje visine velik je broj slučajeva, blizu 60 %, s brzinom vjetra manjom od 4 ms^{-1} , što nije povoljno za proizvodnju energije vjetra jer su te brzine manje ili na samoj granici uključne brzine za vjetroturbine. Kao što je rečeno, vjerojatno je bar djelomice uzrok tomu vizualni način opažanja vjetra koji nema dovoljno visoko razlučivanje brzine vjetra u odnosu na instrumentni način mjerenja. U slučaju visine 100 m iznad tla maksimalna čestina premješta se na klasu $5\text{--}8 \text{ ms}^{-1}$, što je za vjetroelektrane svakako povoljnije.

Općenitiji pokazatelj energetskeg potencijala vjetra za dulje razdoblje jesu prosječne brzine vjetra za čitavo razdoblje opažanja za visine 10, 50 i 100 m iznad tla prikazane na slici 10.

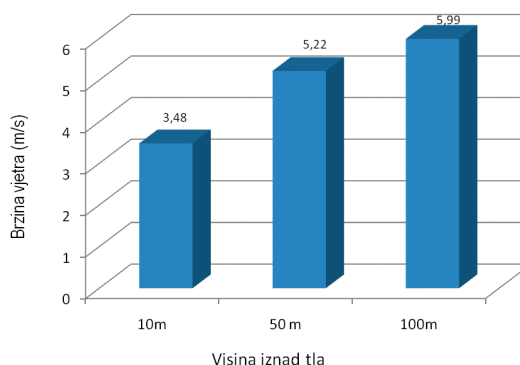
Uz pretpostavku da se razdioba brzina vjetra za Imotski pokorava Rayleighevoj razdiobi za morsku razinu, onda se na temelju srednjih mjesečnih brzina vjetra i tablice 1 mogu preliminarno procijeniti količine energije za mjesec ili godinu kao zbroj mjesečnih količina energije po mjesecima, ovisno o rotirajućoj površini izraženoj u kvadratnim stopama mogućega vjetrogeneratora. Kao što je već rečeno, promatrani rezultati tek su grubi orijentir za moguće odluke.

Kao što je već rečeno, važno je imati dug i kvalitetan niz podataka kako bi se mogli izračunati godišnji hod i međugodišnja varijabil-



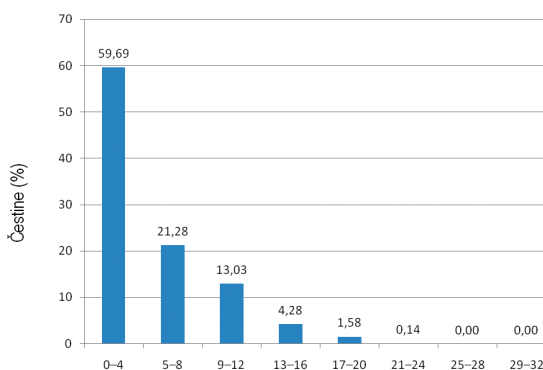
Slika 7. Razdioba čestina brzine vjetra za klimatološku postaju Imotski za visinu 10 m iznad tla za razdoblje 1996.–2015.

Figure 7. Frequency distribution of wind speed for Imotski climatological station at 10 m above the ground for the period 1996–2015.



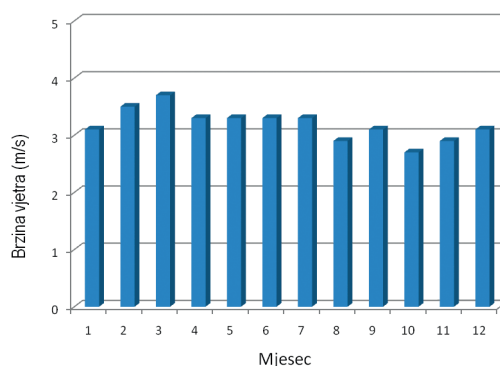
Slika 10. Srednje brzine vjetra na visinama 10, 50 i 100 m iznad tla za Imotski, za razdoblje 1996.–2015.

Figure 10. Average wind speed at 10, 50 and 100 m above the ground for Imotski, for the period 1996–2015.



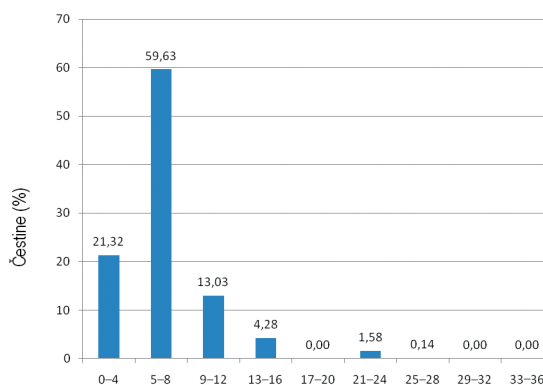
Slika 8. Isto kao slika 7, za 50 m iznad tla.

Figure 8. Same as Figure 7, but for 50 m above the ground.



Slika 11. Srednji godišnji hod brzine vjetra za 10 m visine iznad tla za Imotski, za razdoblje 1996.–2015.

Figure 11. Yearly course of wind speed at 10 m above the ground for Imotski, for the period 1996–2015.

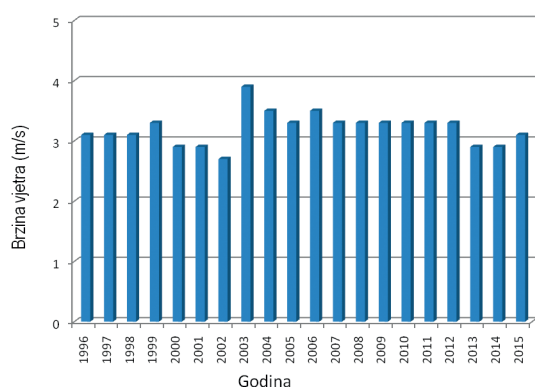


Slika 9. Isto kao slika 7, za 100 m iznad tla.

Figure 9. Same as Figure 7, but for 100 m above the ground.

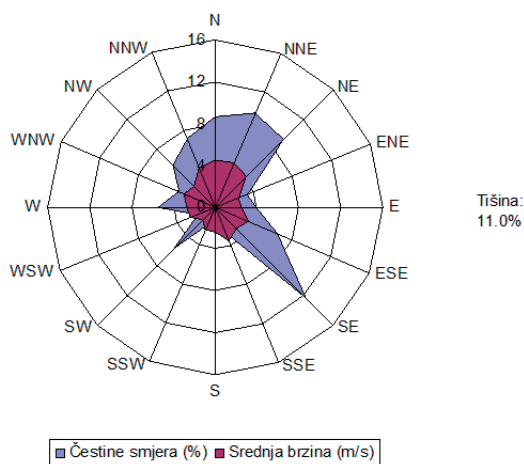
nost brzine vjetra, što je od velike važnosti za procjenu stabilnosti rada potencijalne vjetroelektrane.

Na slici 11 prikazan je srednji godišnji hod, a na slici 12 međugodišnje varijacije brzine vjetra. Vidi se da su najveće brzine vjetra u prosjeku u ožujku ($3,7 \text{ ms}^{-1}$), a najmanje u listopadu ($2,7 \text{ ms}^{-1}$), najviša srednja godišnja brzina od $3,9 \text{ ms}^{-1}$ bila je zabilježena 2003. godine, a najmanja od $2,7 \text{ ms}^{-1}$ 2002. Te podatke treba uvažiti kod planiranja eksploatacije mogućih vjetroelektrana nakon dopunskih instrumentnih mjerenja u trajanju barem dvije godine na visinama od 10 pa do 100 m iznad tla uzimajući u obzir i očekivane klimatske promjene. Treba napomenuti da je za izgradnju, isplativost i održivost potencijalnih vjetroelektrana važna



Slika 12. Srednje godišnje brzine vjetra na 10 m visine iznad tla za Imotski, za razdoblje 1996.–2015.

Figure 12. Mean annual wind speed at 10 m above the ground for Imotski, for the period 1996–2015.



Slika 13. Ruža vjetra za klimatološku postaju Imotski za razdoblje 1981.–2012.

Figure 13. Wind rose for Imotski climatological station, for the period 1981–2012.

dotatna analiza motrenja udara vjetra (maksimalnih vrijednosti). Takva analiza od velike je važnosti na ovim prostorima zbog mahovitosti bure koja ovisi također o brzini vjetra. Za razliku od bure, koja ima smjer iz sjeveroistočnoga kvadranta, jugo, koji ima smjer iz jugoistočnoga kvadranta, također je čest na području Imotskoga, kao što je vidljivo na slici 13 (Pandžić i Čačić, 2015). Detaljnija analiza mahovitosti vjetra prelazi okvire ovoga rada i može biti tema daljnjih istraživanja.

4. ZAKLJUČAK

Zapadna je Europa već 1990-ih intenzivno započela s iskorištavanjem obnovljivih izvora energije, među kojima su vjetroelektrane, pa je tako postala svjetsko središte proizvodnje vjetroelektrana do kraja 20. stoljeća, dok je u Hrvatskoj taj proces intenzivnije započeo tek nakon 2007. godine, kada je donesen Pravilnik o gradnji elektrana obnovljivih izvora energije, s uvažavanjem poticaja te pravila uključivanja u postojeću distribucijsku mrežu. Elektrane na obnovljive izvore sagrađene od onda proizvode preko 10 % energije u Hrvatskoj, računajući snagu malih hidroelektrana, od toga je preko 79 % doprinos vjetroelektrana. Taj udio treba udvostručiti do godine 2020., s obzirom na ciljeve Europske unije 20-20-20 i s obzirom na članstvo Hrvatske u Europskoj uniji.

Kao dopunski podaci namjenskim mikrolokacijskim mjerenjima brzine i smjera vjetra za potrebe moguće gradnje vjetroelektrana te numeričkim modelima na području Imotske krajine komplementarna su već postojeća opažanja vjetra na klimatološkoj postaji Imotski. Dodatno, prostorna varijabilnost vjetrovnog potencijala za to područje može se vidjeti u Interaktivnom atlasu vjetra na internetskim stranicama DHMZ-a za potencijalnu visinu vjetroagregata. Međutim, preciznija, učestalija mjerenja na više vertikalnih nivoa za danu mikrolokaciju sada nisu dostupna iako bi takva mjerenja mogla imati višestruku primjenu, to jest za praćenje rada već instaliranih vjetroelektrana te planiranje budućih uz komplementarnu upotrebu numeričkih atmosferskih modela mezorazmjera.

Pomoću raspoloživih podataka smjera i brzine vjetra za postaju Imotski utvrđeno je da je, za područje klimatološke postaje Imotski, procijenjeni energetske potencijal tek orijentacijski, a glavni doprinos tih rezultata jest u mogućnosti ocjene sezonske i međugodišnje varijabilnosti brzine vjetra što je neizbježno za učinkovito dugoročno gospodarenje sustavom vjetroelektrana.

Trendovi u Europi ukazuju na vrlo ambiciozan plan nekih europskih zemalja koje planiraju u potpunosti uvesti obnovljive izvore energije do godine 2050., uz stalnu brigu za okoliš.

LITERATURA

- Arikan, J., O.P. Arslan and E. Çam, 2015: The analysis of wind data with Rayleigh distribution and optimum turbine and cost analysis in Elmada, Turkey. *IU-JEEE*, **15**, 1907–1912.
- Bajić, A., K. Horvath, S. Ivatek-Šahdan, 2013: Klima i energija vjetra. http://klima.hr/razno/projekti/climrun_radionica4/Bajic_klima_i_energija_vjetra.pdf
- DHMZ, 2012: Interaktivni atlas vjetra Hrvatske. <http://mars.dhz.hr/web/index.htm>
- Jerkić, E., 2011: *Povijest vjetroelektrana*. www.vjetroelektrane.com
- Lozina, I., 2016: Imotska krajina: U Bakotama održana davno zaboravljena vršidba žita. <https://www.hercegovina.info/>
- Pandžić, K. i I. Čačić, 2015: Klima imotske krajine. *Zbornik radova Znanstveno-stručnog savjetovanja: Kulturno naslijeđe Ujević, Krivodol*.
- Penzar, B. i sur., 1996: Meteorologija za korisnike. Školska knjiga i Hrvatsko meteorološko društvo, Zagreb, 276 str.
- Rupperta, K.C. and J.K. Searcy (Coordinating Editors), 2017: Wind energy. <http://www.myfloridahomeenergy.com/help/library/energy-services/wind-energy/#sthash.VYOD3Mr9.qZhrTxpN.dpbs>
- Vukić, P., 2011: Obrada i analiza mjerenih podataka za vjetar u urbanoj sredini. Diplomski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
- Whitaker, A., 2015: Windmills in England. <http://britainexplorer.com/windmills-in-england/>
- Woofenden, I., 2008: Wind power curves. <https://www.homepower.com/articles/wind-power/design-installation/wind-power-curves>
- ZEZ, 2015: Prelazak Hrvatske na 100 % obnovljivih izvora energije – Analiza mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj. <http://m.greenpeace.org/croatia/Global/croatia/Prelazak%20Hrvatske%20na%20obnovljive%20izvore%20energije.pdf>

SADRŽAJ CONTENTS

Emetere, M. E. Valipour, M.	Comparative assessment of ground and satellite aerosol observations over Lagos-Nigeria Usporedna ocjena mjerenja aerosola satelitom i sa zemaljskih postaja u Lagosu, Nigerija	<i>Izvorni znanstveni rad Original scientific paper</i> 3
Slizhe, M. Semenova, I. Pianova, I. El Hadri, Y.	Dynamics of macrocirculation processes accompanying by the dry winds in Ukraine in the present climatic period Dinamika makrocirkulacijskih procesa praćenih suhim vjetrom u Ukrajini u sadašnjem klimatskom razdoblju	<i>Izvorni znanstveni rad Original scientific paper</i> 17
Josipović, L. Obermann-Hellhund, A. Brisson, E. Ahrens, B.	Bora in regional climate models: impact of model resolution on simulations of gap wind and wave breaking Bura u regionalnim klimatskim modelima: utjecaj horizontalne rezolucije u modelu na simulacije kanaliziranih vjetrova i lomljenja valova	<i>Izvorni znanstveni rad Original scientific paper</i> 31
Argiriou, A. A. Mamara, A. Dimadis, E.	Homogenization of the Hellenic cloud cover time series - preliminary results Homogenizacija vremenskih nizova podataka naoblake u Grčkoj - preliminarni rezultati	<i>Prethodno priopćenje Preliminary contribution</i> 43
Pandžić, K.	Preliminarna procjena energije vjetra na području klimatološke postaje Imotski Preliminary wind energy estimation on climatological station Imotski	<i>Prethodno priopćenje Preliminary contribution</i> 55
Korotaj, I. Vujec, I. Jelić, D. Večenaj, Ž.	Energy budget at the experimental vineyard in Zagreb Analiza tokova energije u eksperimentalnom vinogradu u Zagrebu	<i>Poster</i> 65
Tudor, M.	Poboljšanje operativne prognoze opasnih vremenskih prilika numeričkim mezomodelom ALADIN	<i>Doktorska disertacija-sažetak D.Sc. Thesis-Summary</i> 67
Medugorac, I.	Izuzetno visoki vodostaji u sjevernom Jadranu i nagib morske razine u smjeru istok-zapad	69
Džoić, T.	Numeričko modeliranje disperzije u Jadranskom moru primjenom lagrangeovskih metoda	70
Renko, T.	Pijavice na Jadranu: učestalost, karakteristike, uvjeti nastanka i mogućnost prognoziranja	71
	Održan znanstveno-stručni skup Meteorološki izazovi 6	<i>Otvoreni stupci</i> 73
	In memoriam: dr. sc. Branko Gelo (15.5.1942.–26.3.2018.)	75
	In memoriam: dr. sc. Vesna Jurčec (2.6.1927.–14.6.2018.)	76
	In memoriam: Mladen Matvijev, dipl. ing. (24.4.1955.–17.8.2018.)	77
	In memoriam: mr. sc. Milan Sijerković, (5.11.1935.–8.12.2018.)	78