

ENERGETSKA EFIKASNOST SENZORA ZA KORIŠĆENJE NA MERNIM STANICAMA ZA VETAR

I. Popović¹, M. Zlatanović², V. Zlatanović³, D. Mirjanić⁴

SAŽETAK:

Specijalizovane merne stanice za određivanje karakteristika vetra obično se postavljaju na mestima gde nije moguće priključenje na prenosnu mrežu radi napajanja stanice električnom energijom. Osim pouzdanog rada i reproduktivnosti karakteristika mernog sistema, u ovakvim uslovima važno je i racionalno koristiti energiju potrebnu za rad senzora, odnosno prednost se daje sistemima sa visokom energetsom efikasnošću. U radu su analizirane ekplotacione karakteristike različitih tipova senzora za merenje brzine i pravca vetra, dobijene na osnovu višegodišnjih merenja sprovedenih na različitim mernim lokacijama. Razvoj novih materijala i tehnologije njihove obrade pri izradi senzorskih komponenata, a naročito pokretnih delova senzora, ima direktan uticaj na pouzdanost rezultata merenja pri višegodišnjoj eksploataciji merne stanice. Najmanji vremenski period merenja, neophodan za procenu energetskog potencijala vetra na datoj lokaciji, iznosi godinu dana. Sa stanovišta projektovanja elektrane na vetar, čiji je eksploatacioni vek između 20 i 25 godina, jednogodišnji podaci omogućavaju pouzdanost procene troškova izgradnje i eksploatacije elektrane od oko 14%. Da bi se pouzdanost svela na 3% do 4%, neophodna su specijalizovana merenja tokom³ godine. Analiza rezultata merenja prikazanih u radu sprovedena je u vremenskom intervalu dužem od 3 godine, što uključuje i ispitivanje kalibracionih karakteristika senzora, pouzdanost rada senzora u otežanim vremenskim uslovima kao i poređenje karakteristika senzora koji koriste različite merne metode. Anemometar sa šoljicama treće generacije izrađen na bazi novih i lakših materijala u odnosu na isti tip anemometra prve i druge generacije je pokazao stabilnost karakteristika senzora, što je potvrđeno na osnovu vršenih uporednih merenja i na osnovu ispitivanja kalibracionih karakteristika senzora pre i nakon eksploatacionog perioda. Posebno je diskutovana potrošnja energije pojedinih tipova senzora.

¹ Dr I. Popović, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija

² Prof. dr M. Zlatanović, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija

³ V. Zlatanović, WINDTIM, Beograd, Srbija

⁴ Prof. dr D. Mirjanić ANURS, Banja Luka, Republika Srpska

1. UVOD

Sve veća potreba za električnom energijom ukazuje na neophodnost korišćenja alternativnih izvora energije, među kojima energija vetra predstavlja jedan od najvažnijih tipova obnovljivih izvora energije. Postupak planiranja, izrade studije izvodljivosti za kasniju eksploataciju energije vetra, u svakom slučaju, kao prvi korak podrazumeva procenu vetropotencijala na određenoj konkretnoj lokaciji, odnosno terenska merenja brzine i pravca vetra, i to u vremenskom intervalu najčešće dužem od 1 godine. Podatak o vremenskom intervalu u koma se obavljaju specijalizovana merenja zahteva posebnu pažnju, s obzirom na to da odstupanja u izmerenim vrednostima od godine do godine mogu varirati i do 30% kao posledica karakteristike vetra kao obnovljivog izvora energije sa stohastičkim osobinama. Iako je zadovoljavajuće trajanje specijalizovanih merenja dato u formi jednogodišnjeg merenja, treba imati u vidu da tako dobijeni rezultati merenja omogućavaju pouzdanost procene troškova izgradnje i kasnije eksploatacije energije vetra od oko 14%, dok ista vrednost odstupanja u proceni pada ispod 4% za slučaj trogodišnjih merenja. Takođe, direktna merenja brzine i pravca vetra u dugačkom vremenskom intervalu, kasnije tumačenje i detaljna obrada mernih rezultata, moraju zadovoljiti određeni stepen pouzdanosti merenja i tačnosti rezultata i zaključaka izvedenih iz merenja. Sa stanovišta samih merenja, izbor senzora, što uključuje i odabir merne metode, može imati direktne posledice na dobijene rezultate. Za namene procene brzine i pravca vetra u slučaju terenskih merenja na raspolaganju je više mernih metoda. Najčešće korišćene merne metode koriste energiju vetra kao izvor pomeranja i/ili rotacije pokretnih delova senzora. Tipični senzor vetra, čije merenje je zasnovano na ovom principu i koji se najčešće koristi kod mernih stanica, je anemometar sa šoljicama. Treba napomenuti da i sam odabir senzora i iz grupe senzora istog tipa može imati direktne posledice na dobijene rezultate merenja [1]. Sa druge strane, tehnološki napredak je uveo u upotrebu nove vrste senzora vetra, koji koriste složenije i sofisticiranije merne metode. Klasični predstavnici ovakvih senzora koji nisu mehaničkog tipa su sonični, laserski, jonski ili anemometri sa užarenom niti. Iako su merne metode kod ovih anemometara veoma različite, zajednička prednost ovih tipova senzora vetra je mogućnost istovremenog merenja, kako brzine tako i pravca vetra, ali i brži vremenski odziv senzora.

Pored statičkih i dinamičkih karakteristika senzora, veoma bitan uticaj na rezultate i tačnost merenja imaju i njegove eksploatacione karakteristike. Ove karakteristike uključuju rad senzora u realnim uslovima, što podrazumeva izloženost senzora spoljašnjim atmosferskim uticajima, efekte zamora materijala i promene karakteristika materijala, mehanička oštećenja senzora i promenu statičkih i dinamičkih karakteristika senzora tokom vremena. Dakle, eksploatacione ka-

rakteristike dobijaju na značaju s obzirom na višegodišnju kontinuiranu upotrebu senzora u direktnim terenskim merenjima.

Sa stanovišta utroška energije u procesu merenja i napajanja merne stanice, vrednosti potrošnje senzora brzine i pravca vetra imaju dominantni značaj. Procenjeno je da će preko 20% novih vetroelektrana u oblasti Evrope biti podignuto na lokacijama gde se uticaj hladnih vremenskih uslova mora uzeti u obzir [2]. U ove lokacije se ubrajaju i potencijalne lokacije karakteristične za širi region Balkana. Pored same eksploatacije u ovakvim uslovima i uticaja vremenskih prilika na rad vetroturbina, ovaj uticaj je još značajniji u fazi određivanja vetropotencijala, tj. u fazi samih merenja.

Kako bi se problem funkcionisanja senzora u uslovima mogućeg zaleđivanja senzora prevazišao, proizvođači su predvideli upotrebu dodatnih izvora energije za namene grejanja [3, 4]. Ovaj problem dobija na značaju kada se uzme u obzir da se karakteristična merenja brzina i pravca vetra obavljaju na lokacijama na kojima nema mogućnosti povezivanja mernog sistema na elektrodistributivnu mrežu, već je jedini izvor energije dat u formi kombinacije akumulatorskih baterija i upotrebe nekog od obnovljivih izvora energije za njihovo dopunjavanje. Dalje je potrebno istaći da dodatni izvor energije za namene grejanja senzora podrazumeva povećanje potrošnje senzora od preko 10 puta, što ukazuje na neophodnost detaljne analize energetske efikasnosti senzora koji bi se koristili na mernim lokacijama.

2. MERNE LOKACIJE

Analiza eksploatacionih karakteristika senzora i energetske efikasnosti senzora korišćenih za merenje brzine i pravca vetra bazirano je na rezultatima merenja sa više različitih lokacija. Među ovim lokacijama izdvaja se lokacija u okviru Instituta Vinča, koja je interesantna s obzirom na to da pokriva istovremena merenja brzine i pravca vetra izvedena pomoću dve različite merne metode. U radu su predstavljeni neki od rezultata komparacija ovih mernih metoda sa stanovišta dobijenih rezultata merenja, ali i rada senzora u teškim vremenskim uslovima. Pored ove lokacije, od posebne važnosti su dostupni rezultati merenja sa meteoroloških stanica Banatski Karlovac i sa lokacije u blizini Vršačkog aerodroma. Takođe, u analizi su korišćeni i rezultati merenja sa lokacije Zagajičko brdo, gde je postavljen 50 m merni stub u klasičnoj konfiguraciji mernih senzora i prateće opreme za specijalizovano merenje. [5]

Na ovaj način dobijen, set mernih podataka sa različitih tipova senzora postavljenih na terenima različitih konfiguracija poslužio je kao osnova za analizu osobina i karakteristika posmatranih senzora. Kao dodatak mernim podacima vezanim za brzinu i pravac vetra uporedo su analizirani i podaci o temperaturi, atmos-

ferskom pritisku, relativnoj vlažnosti, kao i drugi meteorološki podaci koji su bili dostupni na većini posmatranih lokacija.

Merenja sprovedena na lokaciji Instituta Vinča, iako nisu u direktnoj vezi sa određivanjem vetropotencijala u ciljnoj oblasti, od posebnog su značaja za određivanje eksploatacionih karakteristika senzora s obzirom na to da pokrivaju merenja obavljena u dugom vremenskom intervalu od preko 15 godina. Ova merenja su vršena sa prvom i drugom generacijom mehaničkih anemometara sa šoljicama zajedno sa sensorima za merenje pravca vetra ali takođe i sa anemometrom na bazi užarene niti [6]. Posebnu važnost ovih merenja čini podatak da su u dugom vremenskom intervalu analizirani rezultati istovremenih merenja brzina i pravca vetra sa dva tipa anemometara montirana na istoj visini od 40 m mernom tornju. Anemometar koji je korišćen u paralelnim merenjima je anemometar Lambrecht #1614 koji predstavlja anemometar sa šoljicama druge generacije kod koga je i senzor pravca vetra montiran na istoj osovini. Merni opseg ovog senzora počinje od 1 m/s, što je znatno iznad vrednosti praga anemometra sa užarenom niti. Karakteristično za ovaj senzor je to što je opremljen pomoćnim izvorom snage 25 W namenjenim za grejanje osovine senzora. Kao drugi senzor korišćen je anemometar sa užarenom niti, projektovan od strane Instituta za fiziku, i koji poseduje merni opseg od 0,2 m/s do 50 m/s i mernu tačnost od $\pm 0,1$ m/s. Potrebe za napajanjem senzora su 3 W za slučaj upotrebe senzora bez dodatnog grejanja tela senzora i 50 W sa dodatnim grejanjem tela senzora. Grejanje tela (kućišta) senzora je neophodno kako bi obezbedilo sprečavanje pojave leda na telu senzora. Kućište senzora je posebno projektovano tako da spreči prodiranje atmosferskih padavina do osetljivog elementa senzora, odnosno do zagrejanih niti.

Na osnovu analize rezultata merenja sa ove merne lokacije doneti su zaključci o eksploatacionim karakteristikama senzora koji se tiču tačnosti merenja, problema održavanja senzora, potrebe za periodičnom kalibracijom, pouzdanosti merenja u otežanim vremenskim uslovima, analize potrebne energije za funkcionisanje senzora i sl.

Merne lokacije Banatski Karlovac i Vršачki aerodrom su analizirane na osnovu dostupnih rezultata usrednjenih šestočasovnih vrednosti brzine i pravca vetra, seta temperaturnih podataka, relativne vlažnosti, količine padavina, tačke rose i drugih meteoroloških podataka. Iako usrednjene šestočasovne vrednosti odstupaju od preporuka WMO, kao merenja koja se mogu koristiti kao validna za proces određivanja skalarnih i vektorskih karakteristika vetra, oni se mogu koristiti za namene analize vremenskih uslova u karakterističnim zimskim mesecima [7]. Ovi podaci su od posebne važnosti, s obzirom na to da su dostupni za višegodišnji vremenski period i kao takvi se mogu koristiti za procenu potrošnje karakterističnog mernog sistema u datoj oblasti i analize moguće optimizacije potrošnje sistema. Takođe, ovi podaci pružaju informacije o karakterističnim mete-

orološkim uslovima u datoj oblasti i proceni njihovog uticaja na postupak merenja brzine i pravca vetra.

Konačno, lokacija Zagajičko brdo je uzeta kao primer namenskog merenja brzine i pravca vetra u karakterističnoj konfiguraciji 50-metarskog mernog stuba sa senzorima brzine i pravca vetra, temperature i relativne vlažnosti, sa sistemom sa baterijskim napajanjem i solarnim panelima, sa sistemom za prenos i skladištenje informacija, itd. Na osnovu informacija o korišćenom mernom sistemu, omogućeno je realno sagledavanje problema napajanja čitavog mernog sistema, koji je posebno izražen u zimskim mesecima i izvršen proračun prosečne potrošnje sistema.

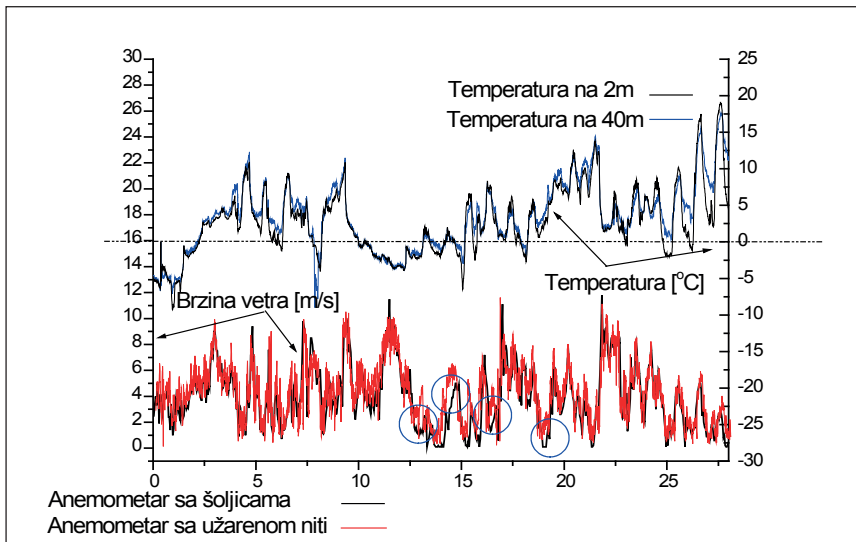
3. REZULTATI MERENJA

Rezultati merenja sa lokacije Vinča na prvi pogled pokazuju da različite metode merenja korišćene kod para senzora uzrokuju značajno odstupanje u rezultatima merenja, kao posledica različitih statičkih karakteristika senzora, razlike u uticaju vertikalnih komponenti vetra, različitog dinamičkog odziva senzora, razlikama u uticaju turbulencije i uticaju vremenskih prilika, praćenih pojavom kiše i leda, na rad senzora [3]. Dostupni rezultati ispitivanja sa drugih evropskih i nacionalnih projekata su pokazali da inje debljine 1 mm do 2 mm na površini anemometra sa šoljicama može smanjiti njegovo pokazivanje za 30% [4]. Dalje, kao rezultat usrednjavanja mernih vrednosti u okviru desetominutnih intervala, može se očekivati smanjenje uticaja turbulencije i naleta vetra na rezultate merenja dobijene sa različitim mernim metodama. Sa druge strane, kao rezultat različitih mernih opsega senzora, može se očekivati manja vrednost srednje brzine vetra za slučaj mehaničkog anemometra [5]. Takođe, kod merenja pravca vetra na lokaciji Vinča mogu se očekivati značajnija odstupanja s obzirom na razliku u rezoluciji merenja od jednog reda veličine i razlikama pri merenju malih brzina vetra koja su direktna posledica postojanja inercije senzora pravca koja onemogućava rotaciju senzora pravca u horizontalnoj ravni za slučaj malih brzina vetra. [5, 8, 9]

U tabeli 1 date su vrednosti srednjih skalarnih brzina vetra, za oba anemometra, za tri karakteristična meseca na prelazu zima-proleće.

Tabela 1. Vrednosti srednjih skalarnih brzina vetra na lokaciji Vinča za tri meseca

	FEBRUAR	MART	APRIL
ANEMOMETAR SA ŠOLJICAMA	3.91	3.77	3.84
ANEMOMETAR SA UŽARENOM NITI	4.21	3.72	3.80
RAZLIKA U MERENJU	- 7.1%	+ 1.3%	+ 1.0%



Slika 1. Rezultati merenja brzine vetra i temperature u toku februara na mernoj lokaciji Vinča

Ovako velika odstupanja u pokazivanju senzora su posledica, između ostalog, i različitog funkcionisanja senzora za slučaj otežanih vremenskih uslova, karakterističnih za zimske mesece, kada postoji mogućnost pojave leda na telu i osovini senzora sa mehaničkim delovima. Ova pretpostavka je posebno analizirana za slučaj merenja u toku februara meseca, kada su uočena izražena odstupanja u pokazivanju senzora, što je prikazano na slici 1.

U slučaju velikih temperaturnih varijacija, koje su karakteristične za naše podnevlje a javljaju se pri prelazu dan/noć, dolazi do topljenja i ponovnog formiranja leda kao rezultat sunčevog zagrevanja i temperature vazduha [8, 10]. Ovakvi uslovi u februaru mesecu, praćeni niskim temperaturama pogodovali su da problemi zaledivanja senzora budu izraženiji nego u drugim mesecima i direktno uticali, ne samo na merenja brzine i pravca vetra već i na merenja temperature vazduha [11].

Oba senzora, korišćena za merenje brzine vetra na lokaciji Vinča, opremljena su pomoćnim izvorom napajanja namenjenim za grejanje senzora i prevenciju pojave leda preko tela senzora. Naime, rezultati testova su pokazali da mala količina leda na anemometru sa šoljicama može znatno uticati na manju izmerenu vrednost brzine vetra, dok ga veća količina leda može potpuno zaustaviti. Kod anemometra sa šoljicama, kod koga je i senzor pravca montiran na istu osovину, mogu se očekivati problemi vezani za grejanje osovine senzora, koje je kod korišće-

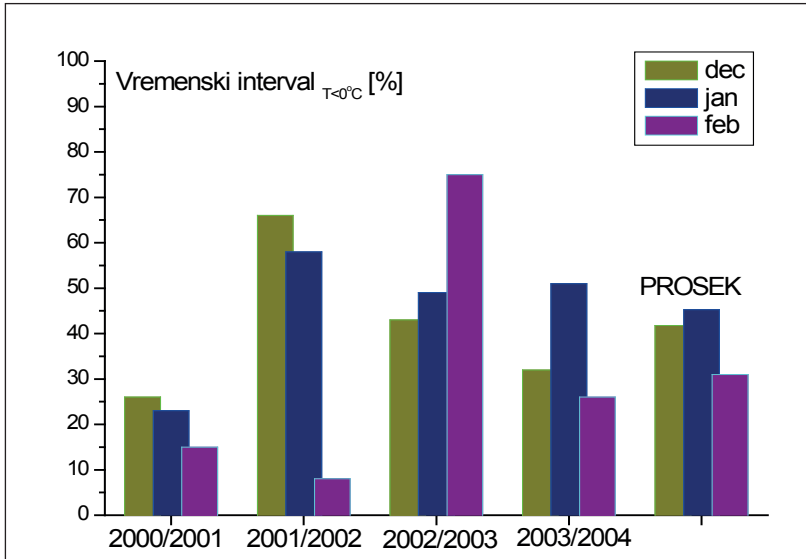
nog senzora izvedeno. Iskustva u desetogodišnjoj eksploataciji ovog senzora su pokazala da i pored postojanja pomoćnog izvora energije namenjenog za grejanje osovine senzora postoje problemi u radu ovog senzora u toku zimskih meseci. Iz te činjenice se mogu izvesti zaključci da je projektovani sistem grejanja osovine senzora nedovoljan za pouzdan rad senzora u toku zimskih meseci i/ili da je upravljanje dodatnim izvorom za grejanje neadekvatno. Inače, treba napomenuti da se kod novih tipova anemometara sa šoljicama ugrađuje i grejanje samih šoljica i ležajeva i da je pre više godina napušten koncept postavljanja senzora pravca na zajedničku osovinu sa senzorom brzine vetra [4].

Analizom rezultata merenja tokom marta i aprila meseca, na istoj lokaciji, pokazano je da se srednje brzine vetra razlikuju za manje od 1,3%. Međutim, u toku ovih meseci srednja dnevna temperatura je bila znatno iznad vrednosti dobijene za mesec februar. Ova činjenica potkrepljuje izneti zaključak da su otežani vremenski uslovi u februaru mesecu dominantno uticali na znatno odstupanje u rezultatima merenja. Bitno je istaći da različite studije pokazuju da najveći broj senzora koje koriste nacionalne meteorološke službe nisu senzori otporni na zaleđivanje, čak i u slučaju kada se radi o senzorima koji poseduju dodatni sistem za grejanje, odnosno kada se oni deklarišu kao *ice-free* senzori [11, 9].

4. ENERGETSKA EFIKASNOST SENZORA

Proračun potrošnje senzora montiranih na mernim stanicama za vetar je u direktnoj zavisnosti od vrste korišćenih senzora, njihovog broja i potrebe za grejanjem senzora u zimskim mesecima. S obzirom na to da je očekivano da se mer na stanica nalazi na izolovanoj lokaciji, problem obezbeđivanja potrebne količine energije za rad merne stanice je posebno izražen u toku zimskih meseci. Sa druge strane, mogućnost konverzije npr. sunčeve energije u električnu energiju za dopunjavanje baterija je znatno slabija zimi nego u toku letnjih meseci. Na osnovu svega, lako se dolazi do zaključka da je kritično obezbediti stabilan energetski bilans na mernom mestu upravo u delu godine kada je potrošnja najveća, tj. u toku zimskih meseci.

Uobičajeni tipovi senzora, koji poseduju mogućnost upotrebe dodatnog izvora energije za grejanje, bilo pokretnih delova senzora ili tela senzora, obično koriste podatak o trenutnoj temperaturi kao kontrolni signal za uključivanje dodatnog grejanja. U ovom slučaju, proračun potrebne energije za rad senzora zavisi direktno od temperature na datoj lokaciji. Na slici 2 dat je grafik na kome je procentualno predstavljen vremenski interval u kome je izmerena temperatura na lokaciji Banatski Karlovac ispod nule za karakteristične zimske mesece decembar-februar za tri uzastopne godine. Vrednost od 0°C uzeta je kao granična s obzirom na to da se često kao takva upotrebljava, međutim neki senzori koriste i vredno-



Slika 2. Procentualno dat vremenski interval sa temperaturama ispod nule na lokaciji Banatski Karlovac

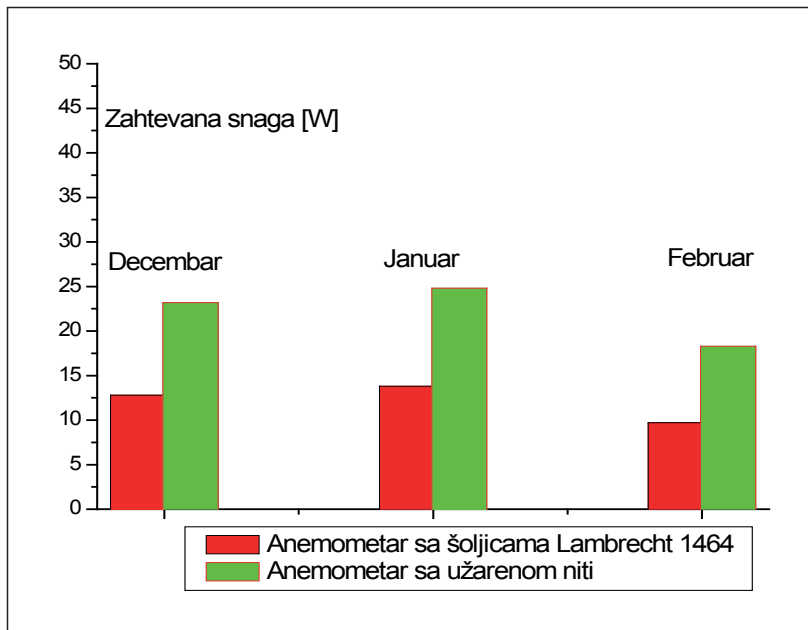
sti temperature u rasponu od 2°C do čak 6°C , s obzirom na to da je poznato da do pojave leda iliinja po telu senzora može doći i dolazi i na temperaturama iznad 0°C . Sa stanovišta energetskog bilansa uzet je dakle najpovoljniji slučaj, koji je dalje poređen sa drugim mogućim kriterijumima upravljanja radom senzora u zimskim uslovima.

Na osnovu datih vrednosti, na slici 2 može se uočiti da je određena vrednost procenta vremenskog intervala značajno zavisna od godine u kojoj je izmerena. Ako se na osnovu podataka sa slike 2 izvrši komparacija potrošnje dva tipa senzora u karakterističnom intervalu decembar-februar, izvršen na osnovu prosečnih vrednosti vremenskih intervala sa temperaturama ispod nule, dobija se grafik (prikazan na slici 3) prosečne potrošnje dva različita tipa senzora koja su već korišćena za merenje brzine i pravca vetra na lokaciji Vinča. Prilikom tumačenja rezultata prikazanih na slici 3, treba imati u vidu da je kod korišćenog tipa senzora sa šoljicama, senzor pravca vetra montiran na istoj osovini sa senzorom brzine vetra, pa je zahtevana pomoćna snaga potrebna za namene grejanja senzora praktično dva puta manja od standardne konfiguracije gde su senzor brzine i pravca vetra posebni senzori. Kod anemometara sa šoljicama novije generacije, potrebna energija za grejanje senzora je blago povećana kao posledica otkrivenih nedostataka senzora prvih generacija upravo pri radu na niskim temperaturama, kada se pokazalo da je grejanje samo osovine senzora nedovoljno za pouzdan rad.

Senzori ovog tipa novije generacije stoga imaju mogućnost grejanja i šoljica senzora i ležajeva.

Prilikom proračuna konkretne potrošnje mernog sistema, dobijene vrednosti koje su date za jedan senzor, treba korigovati na osnovu broja korišćenih senzora, što za slučaj standardne konfiguracije mernog sistema, podrazumeva korekciju za 4 senzora brzine vetra i 2 senzora pravca.

Jedan od mogućih pravaca optimizacije potrošnje mernog sistema može se naći u upotrebi detektora zamrzavanja, čiji se izlaz može koristiti kao kontrolni signal za uključenje dodatnog napajanja senzora za potrebe grejanja. Istraživanja sprovedena u oblasti merenja brzine i pravca vetra u teškim vremenskim uslovi-



Slika 3. Proračun prosečne potrošnje senzora tokom karakterističnih zimskih meseci

ma praćenim pojavom leda i snega na telu senzora su pokazala da se direktna relacija između snage dodatnog izvora napajanja, koja se kretala između 0 W i 1500 W, i ispravnog funkcionisanja senzora u zimskim uslovima, ne može naći. Problem produbljuje i zaključak ovih istraživanja da postojeći detektori zamrzavanja dostupni na tržištu ne pružaju zadovoljavajuće performanse [11, 8, 4].

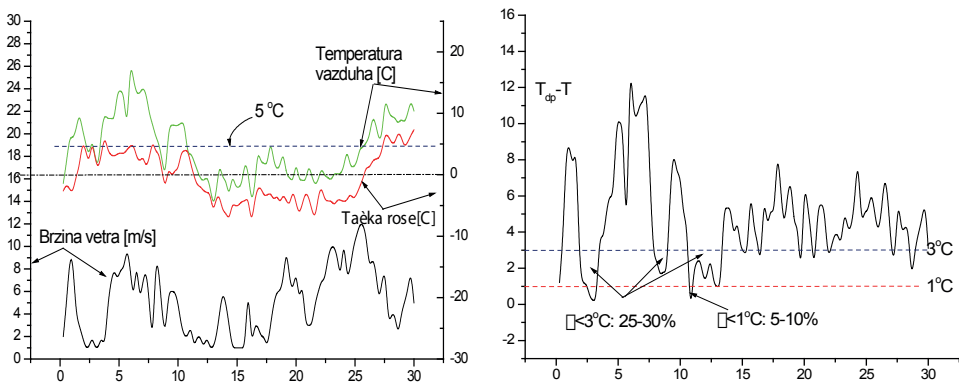
Posebno treba istaći da greške merenja brzine vetra proistakle iz neadekvatnog rada senzora tokom zimskih meseci mogu dovesti do greške u proračunu prosečne brzine vetra, koja se u nekim procenama kreću od 3%, pa sve do čak 20%, za

slučaj izolovanih mernih lokacija u planinskim oblastima. Ovaj podatak je uznemirujući, s obzirom na to da rezultira neprihvatljivim greškama proračuna godišnje proizvodnje energije iz ovog tipa obnovljivog izvora energije. [4]

U nastavku rada je sprovedena analiza mogućih načina za uštedom energije neophodne za nesmetan rad senzora u toku zimskih meseci. Problem zamrzavanja i stvaranja leda na telu različitih objekata u toku zimskih meseci je problem koji se ne javlja samo kod senzora namenjenih za terenska merenja. Ovaj problem je poznat već dugi niz godina i analiziran u oblasti avio-prevoza, drumskog saobraćaja, rada vetroturbina i sl. U oblasti avio-prevoza, definisani su atmosferski uslovi koji mogu dovesti do formiranja leda na telu aviona. Slični zaključci su definisani na osnovu istraživanja koje se tiče formiranja leda na putevima. Jedan od zaključaka odnosi se na opseg vrednosti temperature vazduha i opšte klimatske uslove karakterisane kroz pojavu magle, padavina i sl. Ovaj zaključak se jednim delom odnosi na subjektivni kriterijum, ili na čovekovo zapažanje i veoma ga je komplikovano dovesti u vezu sa signalima za upravljanje radom senzora. Drugi zaključak je u direktnoj vezi sa merenjem meteoroloških veličina i odnosi se na razliku između vrednosti tačke rose (*dew point*) i temperature vazduha. Vrednost tačke rose predstavlja graničnu vrednost temperature pri kojoj ohlađeni vazduh dostiže zasićenje [12]. Ukoliko vrednost temperature vazduha dostigne tačku rose, stvaraju se uslovi za pojavu magle ili rose, pri čemu relativna vlažnost postaje 100%. Ukoliko je dodatno temperatura vazduha bliska nuli, ili ispod nule, nastaju uslovi u kojima je očekivano formiranje leda. Dalje, kretanje objekata dodatno utiče na izraženiji efekat pojave leda po telu objekta i takođe se mora uzeti u obzir.

Za grubu granicu temperature vazduha se može uzeti temperatura od 0°C, međutim, za slučaj pokretnih objekata, što je slučaj u avio-industriji uzeta je granica između 6 i 10°C. Takođe, razlika temperature vazduha i tačke rose je, za slučaj pojave leda na putevima, data kao upozoravajuća na 2°C, dok je u avio-prevozu ova razlika data sa 3°C [13]. Procena vremenskih uslova bazirana na konkretnim merenjima relativne vlažnosti i pritiska, na osnovu kojih je moguće precizno izračunati vrednost tačke rose, može se iskoristiti za određivanje vremenskih uslova pri kojima kod terenskih merenja može doći do zaleđivanja senzora. S obzirom na dostupnost mernih podataka, koji su sastavni deo standardnih specijalizovanih merenja, može se uz pomoć mikrokontrolera implementirati algoritam upravljanja dodatnim izvorom za napajanje senzora u zimskim uslovima i značajno smanjiti potrošnja čitavog mernog sistema.

Kako bi se procenila efikasnost predloženog algoritma upravljanja radom senzora, razmatrana su dva slučaja kod kojih je granična vrednost temperature vazduha 5°C i za koju su posmatrane razlike u temperaturi vazduha i tačke rose od 1°C i 3°C. Dobijeni rezultati, analizirani na osnovu seta dostupnih meteoroloških podataka sa automatske merne stanice na Vršačkom aerodromu, prikazani su na slici 4.



Slika 4. Grafik vrednosti temperature vazduha, tačke rose i brzine vetra (levo) i razlike temperature i tačke rose (desno) za januar na lokaciji Vršac

Jednomesečnom analizom podataka o vrednosti temperature vazduha i tačke rose, koji su dostupni u okviru seta meteoroloških podataka sa lokacije Vršački aerodrom, izvršeno je poređenje različitih tehnika upravljanja sistemom dodatnog grejanja senzora brzine i pravca vetra sa stanovišta potrošnje. Za detaljni proračun potrebne energije za napajanje pojedinačnih senzora i kompletnog mernog sistema neophodno je definisati izgled mernog sistema i vremenski dijagram potrošnje svih komponenata sistema. Za referentnu konfiguraciju mernog sistema uzeta je konfiguracija mernog mesta izvedena na lokaciji Zagajičko brdo, namenjena za specijalizovano merenje brzine i pravca vetra, ali koja pored senzora brzine i pravca vetra podrazumeva i senzore pritiska, relativne vlažnosti, noćno osvetljenje mernog stuba i prateću elektroniku za namene akvizicije, skladištenja i prenosa mernih podataka. Pregled potrošnje pojedinih komponenti sistema, formiran na osnovu dostupnih podataka prikazan je u tabeli 2. Kao referentni anemometar uzet je anemometar sa šoljicama i mehanički senzor pravca.

Vrednosti iz tabele 2 date u zgradama predstavljaju vrednosti korišćene u konkretnom proračunu prosečne i nominalne potrošnje sistema i imaju samo figurativan značaj. Proračun je izvršen na osnovu različitih kriterijuma upravljanja sistemom dodatnog napajanja senzora brzine i pravca vetra koji su definisani preko vrednosti temperature vazduha ispod nule, temperaturi vazduha ispod 5°C i razlici temperatura vazduha i tačke rose od 3°C i 1°C. Dobijeni rezultati proračuna za karakteristične zimske mesece januar i februar dati su u tabeli 3. Podatak o procentualnom povećanju ili smanjenju srednje trenutne potrošnje sistema se može uzeti kao relevantan, naravno uz neznatne korekcije zavisno od tipa korišćenog senzora, s obzirom na to da u bilansu potrošnje mernog sistema dominantnu potrošnju određuju upravo senzori brzine i pravca vetra.

Tabela 2. Pregled potrošnje standardnih komponenata izolovanog mernog sistema

ZAHTEVI ZA NAPAJANJEM SENZORA	
Potrošnja senzora brzine i pravca vetra bez dodatnog grejanja	< 3 VA (2 VA)
Sistem za grejanje senzora brzine	18-100 VA (35 VA)
Sistem za grejanje senzora pravca	25-100 VA (30 VA)
Senzor pritiska	< 1 VA (0,5 VA)
Senzor temperature	< 1 VA (0,5 VA)
Senzor relativne vlažnosti	< 1 VA (0,5 VA)
POTROŠNJA ELEKTRONSKIH KOMPONENATA	
Prenos podataka	< 5 VA (4 VA)
Akvizicija podataka	< 2 VA (1 VA)
NAPAJANJE LAMPE	< 35 VA (15 VA)

Tabela 3. Potrošnje mernog sistema za različite kriterijume upravljanja

KRITE RIJUM	MAKS. TRENUTNA POTROŠNJA SISTEMA	SREDNJA TRENUTNA POTROŠNJA SISTEMA		PROMENA SR. POTROŠNJE SISTEMA	
		JAN	FEB	JAN	FEB
1. $T_v < 0^{\circ}\text{C}$	215 VA	85,9 VA	118,8 VA	/	/
2. $T_v - T_{dp} < 3^{\circ}\text{C}$, $T_v < 5^{\circ}\text{C}$	215 VA	72,7 VA	132,1 VA	- 15 %	+ 11 %
3. $T_v - T_{dp} < 1^{\circ}\text{C}$, $T_v < 5^{\circ}\text{C}$	215 VA	33,1 VA	39,6 VA	- 61 %	- 67 %

Podaci prikazani u tabeli 3 potvrđuju da je kod izolovanih specijalizovanih mernih sistema za određivanje vetropotencijala sa sensorima namenjenim za rad u uslovima mogućeg zaleđivanja senzora, problem napajanja dominantno vezan za rad sistema u zimskim mesecima i da potrošnja sistema direktno zavisi od modela upravljanja sistemom za grejanje senzora. Treba napomenuti, da iako većina projekata koji se tiču merenja vetropotencijala i eksploatacije energije vetra u zimskim uslovima potiče iz zemalja gde su ovi uslovi karakteristični u dužem intervalu kalendarske godine, kao što su skandinavske zemlje i zemlje centralne Evrope, u našem podnevlju, posredno na višim nadmorskim visinama ovi uslovi su karakteristični za period od novembra do marta i moraju se uzeti u obzir [14].

Poređenjem prosečne trenutne potrošnje sistema, prema podacima iz tabele 3, za kriterijume upravljanja 1 i 2, može se videti da se dobijaju poredive vrednosti prosečne potrošnje, međutim, sa stanovišta opravdanosti implementacije datih kriterijuma, ostaje prostor za dalje istraživanje. Iako je generisanje upravljačkih signala prema kriterijumu 1 široko rasprostranjeno s obzirom na jednostavnost implementacije, poznato je da preduslov za moguću pojavu formiranja leda

postoji i za temperature iznad 0°C. Dalje, pojava niskih temperatura ne povlači automatski moguću pojavu zaleđivanja senzora. Sa druge strane, rezultati istraživanja su pokazali da dostupni detektori zaleđivanja ne pružaju zadovoljavajuće karakteristike, iako su bazirani na nekom od kriterijuma sličnih ili istih sa predstavljenim kriterijumima 2 ili 3.

Sa stanovišta projektovanja mernih stanica za vetar, pouzdanosti i tačnosti merenja i povećanja energetske efikasnosti mernog sistema, može se zaključiti da samo u oblasti upravljanja radom mernog sistema ima prostora za optimizaciju sistema po svakom od navedenih kriterijuma.

5. ZAKLJUČAK

Osnovni zadatak merne stanice, bez obzira na to o kom tipu merenja je reč, jeste obezbeđivanje validnosti sprovedenih merenja. Kod mernih stanica za vetar, problem obezbeđivanja validnih merenja je posebno izražen obzirom na direktnu izloženost senzora atmosferskim prilikama. Rezultati direktnih merenja sprovedenih u toku zimskih meseci pokazali su značajan uticaj vremenskih prilika na rezultate merenja brzine i pravca vetra. Zabeleženo odstupanje jednomesečne srednje skalarne brzine vetra od 7,2%, dobijeno na osnovu rezultata merenja brzine vetra pomoću dve različite merne metode, neprihvatljivo je sa stanovišta validnosti rezultata merenja. Ovo odstupanje je dovedeno u direktnu relaciju sa radom senzora u uslovima pojave zaleđivanja senzora, s obzirom na to da isto odstupanje u prolećnim mesecima pada na granicu od 1%, što se može dovesti u vezu sa razlikama korišćenih mernih metoda i potrebi za periodičnom kalibracijom senzora. Problemi rada senzora u zimskim uslovima otvaraju novi skup pitanja vezanih za napajanje mernih stanica za vetar, s obzirom na njihovu uobičajenu lociranost u ruralnim, teško pristupačnim predelima, gde ne postoji mogućnost povezivanja mernog sistema na sistem mrežnog električnog napajanja. Dominantni činilac potrošnje sistema, sa stanovišta energetskog bilansa sistema u kritičnim zimskim mesecima, predstavljaju *ice-free* senzori, koji zahtevaju dodatno napajanje za grejanje senzora. Optimizacija upravljanja napajanjem ovih senzora otvara značajne mogućnosti za povećavanje energetske efikasnosti celog mernog sistema. Optimalan metod upravljanja radom ovih senzora, sa stanovišta potrošnje sistema i pouzdanog rada sistema, može se naći u računarskoj obradi rezultata meteoroloških merenja koji su u većini slučajeva i dostupni na mernim stanicama za vetar.

LITERATURA

- [1] Pedersen, T. F.; Dahlberg, J.-Å.; Busche, P., ACCUWIND – Classification of five cup anemometers according to IEC 61400-12-1. Risø-R-1556(EN) (2006) 72 p.

- [2] M. Durstewitz, H. Dobesch, G. Kury, T. Laakso, G. Ronsten, K. Santti, European Experience with Wind Turbines in Icing Conditions, on-line article EWEC 2004, 2004
- [3] IceFree 3™ Wind Vane, Electrically Heated, NRG systems User Manual.
- [4] B. Temmelin, M. Cvaliere, S. Kimura, C. Morgan, A. Peltomaa, Ice Free Anemometers, BOREAS IV conference, pp. 239-252, 1998.
- [5] M. Zlatanović, I. Popović, Z. Gršić, Field Test Comparison Of Different Wind Sensors, on-line proceeding EWEC 2008, 2008.
- [6] P. Gregoire, G. Oualid, WMO Wind Instrument Intercomparison, Meteo France final report, WMO/TD No. 859, 1997
- [7] Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modelling Applications, EPA-454/R-99-005, U. S. Environmental Protection Agency, 2000.
- [8] Tammelin B, Heimo A, Leroy M, Rast J, Säntti K. Meteorological measurements under icing conditions, EUMETNET SWS II project report, Finnish Meteorological Institute, 2001; 52-56.
- [9] Kimura S, Tammelin B, Peltomaa A, Tsuboi K. Icing Effect on a Cup Anemometer, Meteorological publications, Finnish Meteorological Institute, 2000; 44: 41-46.
- [10] Tammelin B. NEW ICETOOLS – Experimental Wind Energy Data from Cold Climate Sites in Europe, DEWI Magazin, 2002; 41: 57-62.
- [11] Musa M, Suter S, Hyvönen R, Leroy M, Rast J, Tammelin B. Measurement Of Temperature With Wind Sensors During Severe Winter Conditions, TECO 2002, Slovakia, 2002.
- [12] Dew-point Calculation, application note Sensirion AG., Oct. 2006.
- [13] A. Mahura, C. Petersen, B. H. Sass, Road Icing Conditions in Denmark, Ministry of Climate and Energy scientific report 08-03, Copenhagen 2008.
- [14] T. Laakso, H. Holttinen, G. Ronsten, L. Tallhaug, R. Horbaty, I. Baring-Gould, A. Lacroix, E. Peltola, B. Temmelin, Wind Energy in Cold Climates, IEA Exhibit MH-NCN-111, April 2003.

ENERGY EFFICIENCY OF SENSORS MOUNTED ON WIND MEASUREMENT STATIONS

ABSTRACT:

Specialized measurement stations for in situ wind characteristics measurement are usually located in rural regions without possibility of electric grid connection. Therefore, beside reliable and accurate sensor measurement, it is important to achieve high efficiency energy usage. In this paper exploitation wind sensor characteristics are presented, obtained from long term wind speed and direction measurements at different measurement locations. Since the exploitation cycle of wind generator is ranged from²0 to 25 years, the reliability of cost analysis prediction is of high importance. Since this accuracy of cost analysis prediction is related to measurement uncertainty, to lower the uncertainty at the boundary of 3% it is recommended to perform³ year wind measurement at the target location. In this case, long term measurements emphasize the importance of sensor calibration/recalibration, reliability and maintenance characteristics and have to be considered. First and second-generation cup anemometers for wind speed measurements as well as non-mechanical anemometers like hot-wire anemometers were comparatively field-tested. The comparison includes sensor energy consumption and sensor operation in severe weather conditions. The possibility of overall measurement system energy efficiency improvement was also investigated.