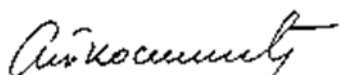


UTICAJ POLJA VETROGENERATORA NA OSMATRANJE METEOROLOŠKIM RADARIMA

STUDIJA SLUČAJA

*Uticaj polja vetrogeneratora na lokaciji
Vetroelektrane „BNS“ na osmatranje meteorološkim
radarom Meteor 400S u Samošu*

Autor studije: prof.dr Aleksandar Kostić, dipl.inž.



Tehnička obrada : prof.dr Aleksandar Kostić, dipl.inž.



Datum: 01.11.2021.god

SADRŽAJ:

1	UTCAJ POLJA VETROGENERATORA NA OSMATRANJE METEOROLOŠKIM RADARIMA	6
1.1	Klateri	6
1.2	Doplerov pomak	12
1.3	Blokiranje snopa	14
2	KARAKTERISTIKE RADARA I VETROGENERATORA	15
2.1	METEORLOŠKI RADAR U SAMOŠU – METEOR 400S [2].....	15
2.1.1	Karakteristike radarske antene	15
2.1.2	Karakteristike predajnika	16
2.1.3	Karakteristike prijemnika i obrade signala.....	16
2.2	Rezime radnih performansi	17
2.3	Tehnički podaci za vetrogenerator	18
3	POLJE VETROGENERATORA NA LOKACIJI VETROELEKTRANE "BNS"	20
3.1	Geografski raspored vetrgeneratora	20
4	ANALIZA UTICAJA VETROGENERATORA NA RAD RADARA METEOR 400S U SAMOŠU 25	
4.1	Simulacioni model vetrogeneratora	25
4.1.1	Refleksija elektromagnetnog zračenja radara od stuba vetrogeneratora	29
4.1.2	Refleksija elektromagnetnog zračenja radara od lopatica vetrogeneratora	30
4.1.3	Reflaksivnost vetrogeneratora na lokaciji Vetroelektrane "BNS" u odnosu na meteorološki radar u Samošu	31
5	NAČINI UBLAŽAVANJA UTICAJA POLJA VETROGENERATORA NA RADAR U SAMOŠU 33	
6	POLJE VETROGENERATORA NA LOKACIJI VETROELEKTRANE "BNS" I NJEGOV UTICAJ NA RADAR U SAMOŠU	35

6.1	Rezolucione ćelije radara	35
6.2	Osnovni koncept ublažavanja efekta klatera – planiranje rasporeda vetrogeneratora u vetro parku	36
6.3	Osnovni koncept ublažavanja efekta klatera – popunjavanje kontaminirane zone osmatranja drugim radarom.....	36
6.3.1	Osnovni koncept ublažavanja efekta klatera – blokiranje snopa	44
6.4	Osnovni koncept ublažavanja efekta klatera – prilagođavanje strategije skaniranja radarske antene	44
6.5	Osnovni koncept ublažavanja efekta klatera – Doplerovo filtriranje	48
7	PREPORUKE ZA RAD OPERATERA U PROCESU RADARSKIH OSMATRANJA	50
8	ZAKLJUČAK.....	51
9	LITERATURA.....	51
10	SPISAK SLIKA.....	52
11	SPISAK TABELA	54

UTICAJ POLJA VETROGENERATORA NA OSMATRANJE METEOROLOŠKIM RADARIMA

UVOD

Firma **VETROELEKTRANA BANAT-4 doo** namerava da na lokaciji vetroelektrane „BNS“, u trouglu Banatsko Novo Selo-Vladimirovac-Padina postavi vetro park koji bi se sastojao od 28 vetrogeneratora (u daljem tekstu Vetropark „BNS“).

Većina država Evrope aktivno stimulišu energiju vetra i koristi od nje. Sadašnjost a i bliska budućnosti će u našoj zemlji, kao i mnogim drugim zemljama, nametnuti potrebu velikog broja vetro parkova sa značajnim brojem vetrogeneratora kao odgovor na povećane zahteve za obnovljivim izvorima energije. Svedoci smo da je u poslednjoj dekadi u svetu ostvareno više od desetostruko povećanje kapaciteta vetrogeneratora. Taj proces je, prosto, nezaustavljiv. Savremeni vetrogeneratori su velike strukture, mnogi dostižu i visine od preko 200m iznad zemlje.

Kontinuirani razvoj vetrogeneratora i vetro parkova nužno stvara određene klase problema radarskim sistemima. Nerealno je i nepoželjno da zbog toga što vetrogeneratori u izvesnoj, ali ne tako velikoj, meri utiču na kvalitet radarski podataka u zoni vetroparkova bude pokušaja blokiranja njihovog razvoja, [1].

Interferencije u radarskim prijemnicima koje su posledica reflektovanih signala od vetrogeneratora, nazvaćemo ih opštim terminom klateri, radarski procesor obrađuje u vremenskom i frekventnom domenu i one su intenzivnije za mnoge radare nego interferencije, recimo, od tornjeva, zgrada, itd. U procesu refleksije predajnog radarskog signala, dolazi i do njegove frekventne modulacije. Razlog su, visoki tornjevi koji nose vetrogeneratore i njihove rotirajuće lopatice. Visoke osetljivosti radarskih prijemnika koje su potrebne za osmatranje meteoroloških fenomena u mnogome doprinose manifestaciji refleksija od vetrogeneratora.

Ublažavanje klatera ove vrste je izazovna tema za svetske meteorološke servise sa kojom se suočavaju u ovom trenutku. Instalacija vetro parka relativno blizu

meteorološkog radara može da blokira normalnu propagaciju radarskog signala i reflektuje signale koji se interpretiraju u radaru kao refleksivnost klatera.

U ovoj Studiji su izdvojena i analizirana tri osnovna problema, kao i nekoliko sporednih efekata koje interferencije čine meteorološkim produktima. Osnovni problemi su: klateri, blokiranje snopa i pogrešno merenje Doplerovog pomaka, tj. brzine vetra.

Ova studija slučaja ima za cilj da objasni efekte uticaja vetrogeneratora i vetro parkova na meteorološki radar METEOR 400S i da posebno obradi slučaj vetro parka „BNS“ i radara u Samošu. Takođe, osnovni cilj studije je da analizira i da predloge kako u najvećoj mogućoj meri ublažiti sve efekte interferencija vetro parka i omogućiti nesmetan, efikasan rad i precizno merenje meteoroloških fenomena u prisustvu navedenog vetro parka.

U prvoj glavi su opisani mehanizmi stvaranja i efekti klatera na rad radara u vremenskom domenu, tzv. refleksivnost klatera, zatim, u frekventnom domenu, Doplerov pomak i efekat blokiranja u prisustvu vetrogeneratora, odn. vetro parkova. Teoretske osnove date u ovoj glavi, sa primerima koji su uzeti iz literature i opisuju realne situacije, treba da posluži kao osnova za dalju analizu uticaja vetro parka „BNS“ na meteorološki radar u Samošu.

Druga glava sadrži tehničke karakteristike radara METEOR 400S koje su neophodne za modeliranje radara za potrebe ublažavanja efekata interferencija u radaru. Date su i tehničke karakteristike vetrogeneratora koji su planirani da se postave u vetro parku „BNS“.

Planirani raspored vetrogeneratora u okviru vetroparka „BNS“ dat je u trećoj glavi.

Četvrta, peta i šesta glava se bave načinom ublažavanja efekata vetroparkova na rad radara. Date su i analizirane metode ublažavanja efekata i model vetroparka „BNS“ kako ga ”vidi” radar u Samošu.

U sedmoj glavi su date preporuke za rad operatera na meteorološkom radaru METEOR 400S.

1 UTCAJ POLJA VETROGENERATORA NA OSMATRANJE METEOROLOŠKIM RADARIMA

Kao što je u uvodu rečeno postoje tri osnovna problema koja se javljaju u osmatranju meteorološkim radarima kada je u relativnoj blizini radara postavljeno polje vetrogeneratora. Izdvojicemo efekte klatera, blokiranja snopa i pogrešno merenje Doplerovog pomaka. Efekti ovih pojava su vidljivi u meteorološkim i hidrološkim produktima radara. Njihovo dobro poznavanje i primena mera i postupaka za njihovo ublažavanje u velikoj meri umanjuje efekte interferencija i omogućavaju efikasnu detekciju i precizno merenje radarom svih meteoroloških fenomena.

1.1 Klateri

Pod klaterom se, u slučaju meteoroloških radara, podrazumevaju neželjene refleksije elektromagnetne energije od nemeteoroloških ciljeva. U nemeteorološke ciljeve spadaju refleksije od terena, zgrada, kao i ciljevi u atmosferi bez prisustva meteoroloških fenomena, takozvanoj čistoj atmosferi (npr. ptice, insekti, atmosferske turbulencije). S obzirom da se obrada signala u radaru ostvaruje u vremenskom i frekventnom domenu, klater možemo posmatrati dvojako, kao statički i dinamički. Statički klater tipično potiče od terena i zgrada, tj. od objekata koji nemaju radijalnu komponentu brzine u odnosu na radar ili je ona vrlo mala i takve reflektovane signale radar može ukloniti ugrađenim antiklaterskim filtrom. Sa druge strane, dinamički klater potiče od ciljeva koji imaju radijalnu komponentu brzine veću od nepropusnog opsega konvencionalnog antiklaterskog filtra i ne može biti odstranjen iz reflektovanog signala.

Vetrogenerator u radu je izvor i statičkog i dinamičkog klatera. Statički klater stvara stub vetrogeneratora sa gondolom i vidikovcem (ukoliko postoji) i on se može odstraniti antiklaterskim filtrom jer reflektovani signal ima nultu Doperovu frekvenciju. Dinamički klater uzrokovan uglavnom rotacijom lopatica propelera turbine ima najveći uticaj na merenja meteorološkim radarom. Ovu vrstu dinamičkog klatera je često vrlo teško odvojiti od padavinskih refleksija i stoga može u meteorološkim produktu biti nekorektno interpretiran kao padavina.

Klater od vetrogeneratora (skraćeni naziv za refleksije od lopatica propelera turbine) je jako promenljiv u vremenu jer amplituda reflektovanog signala zavisi od uglova pravca i nagiba lopatica.

Svetska meteorološka organizacija i OPERA, evropska grupa za meteorologiju, su dali preporuke (2010.), [2], u vezi sa kohabitacijom vetrogeneratora i meteorološkog radara. Sledeće dve tabele pokazuju preporuke.

Rastojanje od radara	Potencijalni uticaj na radar	Preporuka o aktivnostima koje treba preduzeti
0-5km	Vetrogenerator može potpuno ili delimično da blokira radarski signal i to da rezultira u značajnom gubitku podataka tako da oni ne mogu da budu obnovljeni	Nedvosmislena zona uticaja: Vetrogeneratori ne bi trebalo da budu instalirani u toj zoni
5-20km	Višestruka refleksija može kreirati lažne ehoe i višestruke elevacije. Merenje Doplerove brzine može biti dovedeno u pitanje zbog rotacije lopatica turbina	Umerena zona uticaja: Faktor može biti efekat terena. Preporučuju se analize i konsultacije. Ponovna orijentacija i premeštanje individualnih turbina može redukovati ili ublažiti uticaj
20-45km	Generalno, vidljivo na najnižim elevacionim uglovima pri skaniranju; u refleksivnosti osmotreno slično zemaljskom ehou; Merenje Doplerove brzine može biti dovedeno u pitanje zbog rotacije lopatica turbina	Niska zona uticaja: preporučuje se obaveštavanje
>45km	Generalno, nije vidljivo u podacima ali može biti vidljivo u uslovima abnormalne	Sporadično pojavljivanje zone uticaja: preporučuje se obaveštavanje

	propagacije elektromagnetnih talasa, refrakcija	
--	---	--

Tabela 1.1-1 Preporuka Svetske meteorološke organizacije za instalaciju polja vetrogeneratora u zoni osmatranja meteorološkog radara

Rastojanje od radara	Radar	Preporuka o aktivnostima koje treba preduzeti
0-5km	C-opseg	Ne treba postavljati vetrogeneratore u okviru ovog rastojanja
5-20km	C-opseg	Projekat vetro parka treba prilagoditi studiji uticaja na radar
0-5km	S-opseg	Ne treba postavljati vetrogeneratore u okviru ovog rastojanja
5-20km	S-opseg	Projekat vetro parka treba prilagoditi studiji uticaja na radar

Tabela 1.1-2 Preporuka OPERA grupe o kohabitaciji meteoroloških radara i vetrogeneratora

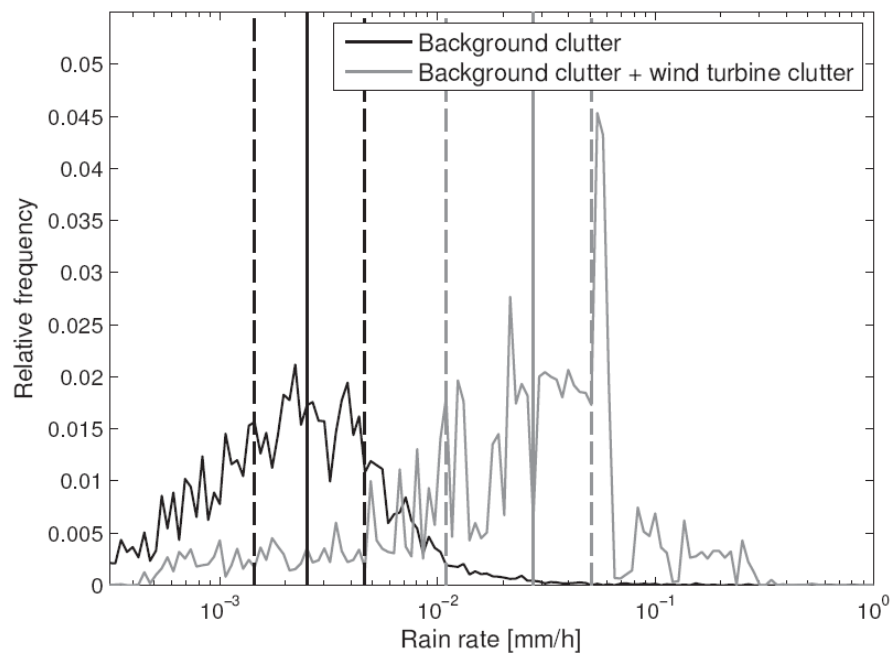
Najnovija preporuka evropske asocijacije OPERA o uslovima koje treba da ispuni projekat vetroparka postavljenog u blizini radara, izdata je 2020.godine i obuhvata sledeće, [1]:

1. Blokiranje radarskog snopa ne treba biti veće od 10% (po snazi) za sve elevacije koje koriste operatori na radarima.
2. Maksimalna veličina prostora u kome su vetrogeneratori koji uzrokuju radarsku refleksivnost veću od 20 dBZ u normalnim uslovima propagacije, ne treba da je veća od 10 km.
3. Susjedne oblasti sa vetroparkovima koji generišu veće vrednosti refleksivnosti od 20 dBZ treba da su razdvojene minimum 10 km.
4. Neprekidna površina prostora u kome su vetrogeneratori koji uzrokuju radarsku refleksivnost veću od 46 dBZ u normalnim uslovima propagacije, ne treba da je veća od 10 km².

5. Susedne oblasti sa vetroparkovima koji generišu veće vrednosti refleksivnosti od 46 dBZ treba da su razdvojene minimum 5 km.

Na osnovu osmatranja meteoroloških radara koji rade u blizini vetroparka a i na osnovu mnogih istraživanja, očigledno je da je uticaj vetroparka na meteorološke produkte radara, u vremenskom i frekventnom domenu, postoji i ne može biti zanemaren. Da bi se dobile kvantitativne vrednosti klatera koji potiče od vetrogeneratora neophodno je da se prouče dugački vremenski nizovi sirovih radarskih podataka. S obzirom da takva analize nije napravljena u Srbiji jer nije do sada bilo vetroparkova koji su instalirani u blizini radarskih centara, u ovom dokumentu će biti korišćeni mereni, realni, podaci iz objavljenih studija gde su tretirane veoma slične situacije (sličnost je ostvarena po karakteristikama radara, karakteristikama vetrogeneratora, veličinama lopatica turbina vetrogeneratora i, što je najvažnije, rastojanju vetroparka od radara). Na ovaj način bi ova analiza bila najpribližnija po svim elementima situaciji koja je na lokaciji vetroparka „BNS“ i meteorološkog radara Samoš.

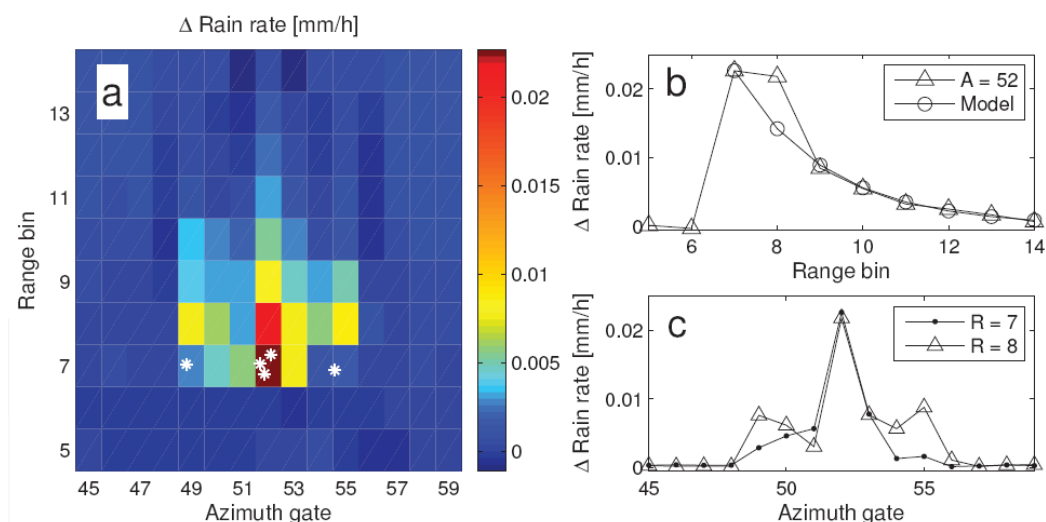
Slika 1.1-1 prikazuje distribuciju klatera pre i posle postavljanja tri vetrogeneratora u jednoj radarskoj rezolucionoј ćeliji koja je udaljena 13 km od radara. Sa slike je vidljivo da su dve distribucije klatera jasno razdvojene, da imaju vrlo slične oblike ali sa vrlo velikom razlikom medijana. Evidentno je da u ovoj radarskoj ćeliji postojanje vetrogeneratora značajno podiže ukupan intenzitet klatera. U jednom vetroparku svaki vetrogenerator se ponaša jedinstveno, nema sinhronizacije među njima, i zbog toga opseg intenziteta klatera je uslovljen pozicijom lopatica rotora i pravcem vetrogeneratora koji sa svoje strane zavisi od pravca vetra.



Slika 1.1-1 Primer distribucije klatera pre i posle postavljanja vetroparka. Puna vertikalna linija pokazuje medijanu vrednosti.

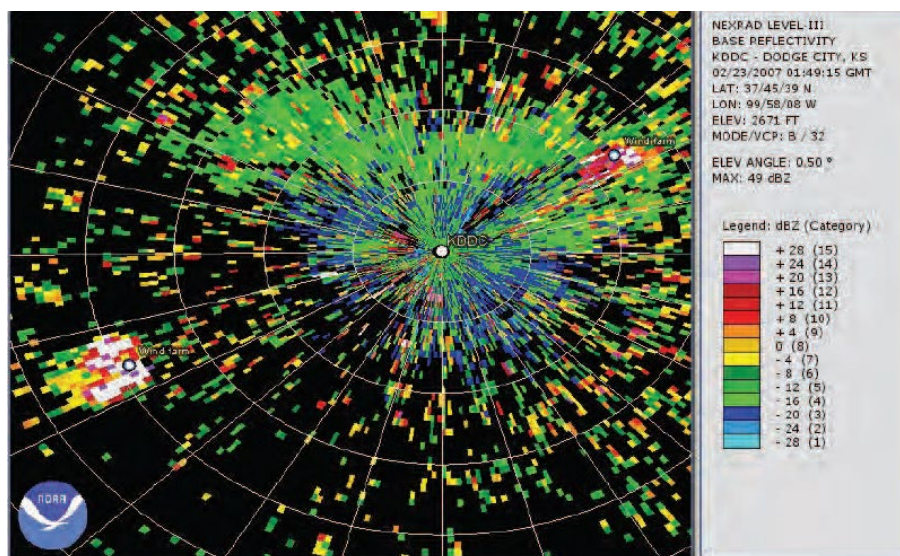
Pri analizi klatera koji stvaraju vetrogeneratori treba uzeti u obzir i klater koji stvaraju vetrogeneratori u rezolucionim ćelijama radara u kojima oni, vetrogeneratori, nisu postavljeni. Naime, vetrogeneratori u jednoj rezolucionoј ćeliji radara stvaraju klater u susednim ćelijama u tangencijalnom i radijalnom smeru, [3].

Klater u radijalnom smeru od radara javlja se iza rezolucione ćelije radara gde se nalazi, odnosno nalaze, vetrogeneratori i predstavljaju tzv. klaterski rep. Ovakav klaterski rep može biti vidljiv čak i desetak kilometara iza vetrogeneratora. Ne postoji teoretski model koji bi objasnio ovaj fenomen, ali sugerira se u naučnoј literaturi da se taj fenomen javlja kao posledica efekta višestruke refleksije (refleksije između većeg broja vetrogeneratora i/ili vetrogeneratora i tla). Klaterski rep zavisi u najvećoj meri od rasporeda vetrogeneratora u parku vetrogeneratora, zavisi i od karakteristika radaskog prijemnika i obrade signala. Naglasimo da se klaterski rep ne tretira kao problem ukoliko je vetro park postavljen na rastojanju od radara većem od 18 km.



Slika 1.1-2 Primer koji pokazuje klater vetrogeneratora koji su na 13 km od meteorološkog radara. (a) klater koji potiče od pet vetrogeneratora (zvezdice), u jednoj radarskoj ćeliji su tri vetrogeneratora a dva u dve odvojene ćelije (b) i (c) raspodela klatera u ćelijama

I tangencijalni klater može postojati, kao što se to vidi sa Slika 1.1-2. Slučaj prikazan na slici pokazuje tangencijalni klater koji je direktni rezultat obrade signala i smeštanja podataka o radarskoj refleksivnosti u matricu. Naime, vidi se da je azimutalna rezolucija aktuelnog radarskog merenja manja od rezolucije matrice radarskih podataka po azimutu (širi je dijagram zračenja antene od azimutalne ćelije matrice radarskih podataka). Tome treba dodati i uticaj bočnih lobova antene koji, takođe primaju reflektovane signale radara od vetrogeneratora koji ima jako veliki intenzitet. Ovaj tangencijalni klater može biti širok i do desetak stepeni što zavisi od udaljenosti vetrogeneratora od radara, [2].



Slika 1.1-3 Primer klatera dva polja vetrogeneratora u zoni osmatranja meteorološkog radara

Slika 1.1-3 pokazuje realnu situaciju dva vetroparka u zoni meteorološkog radara. Vidljivi su svi opisani efekti obrade u vremenskom domenu reflektovanog radarskog signala od vetroparkova.

1.2 Doplerov pomak

Reflektovani radarski signal od pokretnog objekta nosi informaciju o njegovoj radijalnoj komponenti brzine sadržanu u pomaku noseće frekvencije radara u frekventnom spektru za iznos Doplerove frekvencije. Savremeni meteorološki radari imaju ugrađene, konvencionalne, antiklaterske filtre koji ne propuštaju (imaju veliko slabljenje) signale čija je Doplerova frekvencija blizu nuli ili nula, tj. signale koji potiču od stacionarnih objekata, klatera. Ovakvo filtriranje kompozitnog signala koji predstavlja smešu refleksija od nepokretnih i pokretnih objekata, omogućava da statički klater ne postoji u meteorološkim produktima.

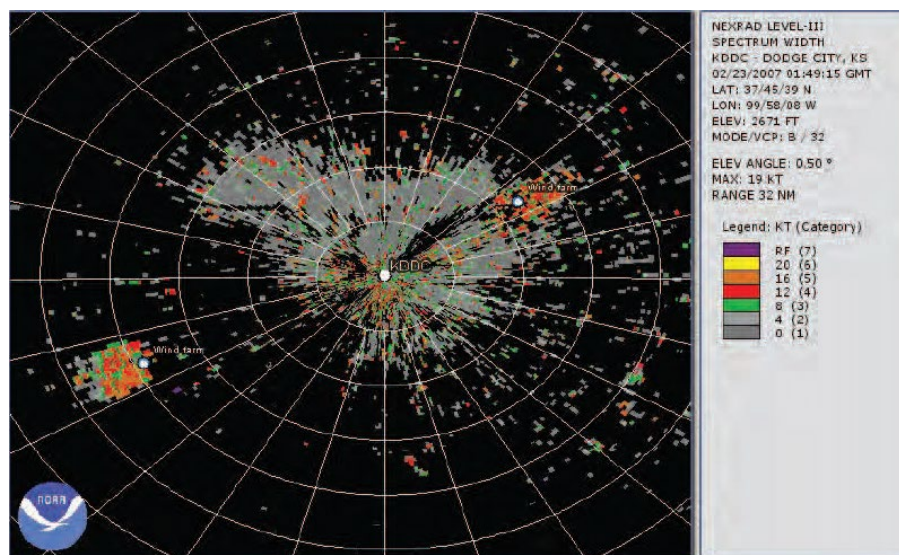
Rotirajuće lopatice vetrogeneratora reflektuju radarske signale koji su pomereni u frekventnom spektru u odnosu na noseću frekvenciju radara i radar ih interpretira kao pokretne objekte. Frekventni pomeraj je u ovom slučaju veći od širine nepropusnog opsega antiklaterskog filtra tako da filter ne može ukloniti ove reflektovane signale. Vrh rotorskih lopatica može da postigne brzinu i do 100 m/sec, dok je brzina lopatica u blizini središta blizu nule. Svaki element rotorskih lopatica reflektuje drugačiju Doplerovu frekvenciju tako da radar prima širok, skoro uniformni, spektar Doplerovih frekvencija. U procesu obrade radarskog signala radar interpretira najače po intenzitetu komponente signala koje imaju ne nultu vrednost Doplerove frekvencije kao brzinu vetra. Sledstveno tome, reflektovani signal od vetrogeneratora ima značajno veći intenzitet signala od meteorološkog reflektovanog signala što će dovesti do pogrešnog merenja brzine vetra.

U literaturi je pokazano na osnovu mnogih osmatranja da vetroparkovi dovode do pogrešnih merenja brzine vetra. Na Slika 1.2-1 je pokazan jedan takav slučaj. U trenutku merenja, u primeru sa slike, ukupno kretanje vetra je bilo u smeru prema severozapadu dok su refleksije koje dolaze iz rezolucionih ćelija radara u kojima je veliki vetropark (40 km od radara u jugozapadnom smeru) nosile informaciju o brzinama bliskim nuli. Možemo na osnovu ovog primera a i na osnovu objavljenih rezultata da zaključimo da reflektovani radarski signali od lopatica turbina

Napomenimo da kao i kod klatera i u procesu merenja brzine vetra postoji rep pogrešnog merenja brzina iza vetrogeneratora.



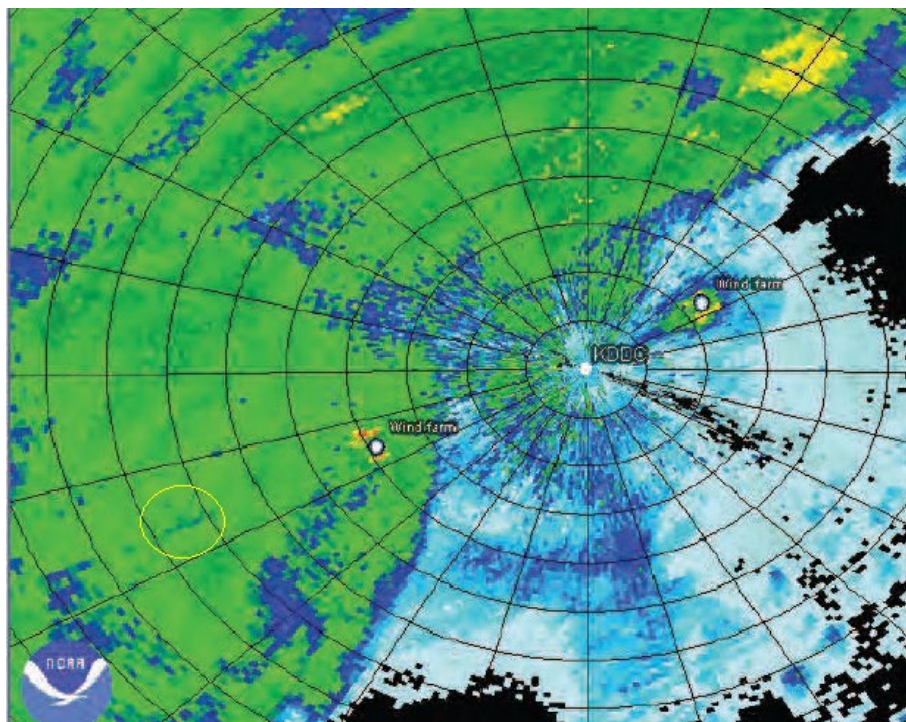
Svi koncepti koji se koriste u ublažavanju efekata klatera validni su i u slučaju Doplera i širine spektra tj. u slučaju pogrešnog merenja brzine vetra. U svrhu otklanjanja klatera od lopatica turbine vetrogeneratora, u literaturi se preporučuje primena adaptibilnog filtra koji može da pomogne u ublažavanju efekata pogrešnog merenja brzine vetra. U procesu uklanjanja klatera adaptibilnim filtrom koriste se sirovi podaci dobijeni od sinfazne i kvadraturene komponente reflektovanog signala. Ako se ostvari uklanjanje klatera iz signala onda je lako oceniti srednju brzinu kao i širinu spektra brzine vetra.



Slika 1.2-2 Primer uticaja vetro parka na merenje širine spektra signala

1.3 Blokiranje snopa

Blokiranje snopa se manifestuje, kod meteoroloških radara, smanjenjem reflektovanog signala od padavina iza prepreke. Prepreke na liniji vidljivosti uzrokuju ne samo blokiranje već i klater. Stacionarne prepreke generišu stacionarni klater koji se može ukloniti pomoću ugrađenog antiklaterskog filtra. Dinamički klater kome pripadaju i reflektovani signali od rotirajućih lopatica turbine vetrogeneratora ne može biti uklonjen navedenim filtrom. Iza takve prepreke, a to znači na istom azimutu gde je i prepreka ali na većoj daljini od nje, javljaju se i klater i blokiranje. Ukoliko se na liniji vidljivosti meteorološkog radara nalazi vetrogenerator, povećan intenzitet klatera može biti vrlo veliki, često veći nego redukcija u intenzitetu reflektovanog signala zbog blokiranja. Često je nemoguće pri analizi podataka da se izvrši razdvajanje efekta blokiranja i klatera.



Slika 1.3-1 Uticaj blokiranja vetro parka (žuta elipsa). Primer pokazuje da vetro park na rastojanju 40 km od radara prouzrokuje na daljini od 60 do 70 km blokadu.

U radarskoj slici gde je prikazana refleksivnost nije uvek vidljivo blokiranje koje stvara vetro park. Ovo je delom zbog klatskog repa ali i zbog toga što refleksivnosti od padavina nisu uvek prostorno homogene. Na Slika 1.3-1 je prikazan primer blokiranja (elipsa označena žutom bojom) koje je vidljivo kao slaba senka iza vetro parka jugozapadno u odnosu na radar. Pokazuje sa da su kvantitativne analize blokiranja vrlo teško ostvarive zbog klatskog repa i prostorne varijacije refleksije od padavina.

2 KARAKTERISTIKE RADARA I VETROGENERATORA

2.1 METEORLOŠKI RADAR U SAMOŠU – METEOR 400S [2]

2.1.1 Karakteristike radarske antene

Predajna frekvencija radara: 2.7 – 2.9 GHz

Polarizacija: linearna horizontalna i linearna vertikalna

Širina snopa na -3 dB: 1.25° max. bez radoma

Dobitak antene: 42.3 dB min. za obe polarizacije

Prvi bočni lobovi antene u azimutalnoj i
elevacionoj ravni: -26 dB max.

Prečnik: 6.1 m

2.1.2 Karakteristike predajnika

Frekventni opseg: 2700 do 2900 MHz

Impulsna snaga: ≥ 600 kW

Dugi impuls, širina na 3 dB: $2 \mu\text{s} \pm 0.1 \mu\text{s}$

Kratki impuls, širina na 3 dB: $0.83 \mu\text{s} \pm 0.05 \mu\text{s}$

Frekvencija ponavljanja impulsa,

za impuls od $2 \mu\text{s}$: 250 - 550 Hz

Frekvencija ponavljanja impulsa,

za impuls od $0.83 \mu\text{s}$: 250 - 1200 Hz

Stagger odnos: 5/4, 4/3, 3/2

2.1.3 Karakteristike prijemnika i obrade signala

Radna frekvencija: 2820 MHz

Faktor šuma prijemnika: ≤ 1.75 dB

Minimalni detektabilni signal

za impuls od $2 \mu\text{s}$: -110 dBm

Minimalni detektabilni signal

za impuls od $0.83 \mu\text{s}$: -105 dBm

Efektivni dinamički opseg: 95 dB trenutni

Minimalni gejt daljine: 75 m

Broj gejtova daljine po impulsu: do 2.000

Usrednjavanje gejtova daljine: 2 do 16 sukcesivnih gejtova

Usrednjavanje po vremenu : 2 do 256 impulsa

Doplerovi antiklaterski filtri : 3-polni eliptički IIR, 16 filtera uključujući all pass, 40 dB atenuacija u nepropusnom opsegu

2.2 Rezime radnih performansi

Radarski sistem METEOR 400S koristi dve širine impulsa koje su odabrane kako bi se obezbedio najbolji kompromis između zahteva za osetljivošću i rezolucije po daljini. Širina dugog impulsa od 2 μ s obezbeđuje veću osetljivost i rezoluciju po daljini od 300m, dok je u Doplerovom režimu rada standardni kratki impuls od 0.83 μ s odabran zbog veće rezolucije po daljini koja je 125m sa povećanim mogućnostima odstranjivanja klatera.

Performanse u dva režima rada koje se odnose na rečeno su:

2.2.1.1 Doperov režim

Širina impulsa: 0.83 μ s

Frekvencija ponavljanja impulsa: 250 Hz to 1200 Hz

Rezolucija po daljini, azimutu: 125 m, $\leq 1.0^\circ$

Jednoznačno merenje daljine: 125 km pri 1200/900 Hz 4/3 stager

Jednoznačno merenje brzine: ± 96.3 m/s pri 1200/900 Hz 4/3 stager

Minimalni detektabilni signal: ≤ -105 dBm

Osetljivost na 50 km: $\leq +3.8$ dBZ

Potiskivanje klatera: ≥ 45 dB typ.

2.2.1.2 Režim refleksivnosti

Širina impulsa: 2 μ s

Frekvencija ponavljanja impulsa: 250 Hz to 550 Hz

Rezolucija po daljini, azimutu: 300 m, $\leq 1.0^\circ$

Max. Jednoznačno merenje daljine: ≥ 500 km

Minimalni detektabilni signal: ≤ -110 dBm

Osetljivost na 50 km: ≤ -3.8 dBZ

Potiskivanje klatera: ≥ 45 dB typ.

2.3 Tehnički podaci za vetrogenerator

Firma **VETROELEKTRANA BANAT-4 doo** u pripremi za izgradnju vetroparka na lokaciji „BNS“ razmatra dva tipa vetroturbina datih u Tabela 2.3-1. Za potrebe ove Studije izvršeni su proračuni uticaja obe vetroturbine na rad meteorološkog radara METEOR 400S u Samošu sa sledećim rezultatom:

1. Visine stubova i dužine lopatica, elementi koji utiču na prijemni signal radara, su vrlo slični i variraju u malim granicama.

2. Efektivna refleksna površina (ERP) stuba za oba razmatrana vetrogeneratora ima srednju vrednost $67,2 \text{ dBm}^2$. Vrednosti u tabeli govore o tome da oba stuba imaju vrlo bliske vrednosti. ERP stuba, kako je pokazano u Studiji, nema skoro nikakvog efekta na operativni rad radara koji koristi antiklatske filtre za brisanje svih refleksija od stalnih odraza, uključujući i stubove vetroturbina.

3. Najveći doprinos radarskoj refleksivnosti daje, kao što je u Studiji objašnjeno, ERP lopatica. Ova karakteristika za sve razmatrane vetrogeneratore ima srednju vrednost 56.55 dBm^2 . Tabela pokazuje da dužine lopatica razmatranih vetrogeneratora imaju vrlo bliske vrednosti.

4. Na osnovu konstatovanih činjenica lako se zaključuje da će i radarska refleksivnost stubova biti vrlo bliskih vrednosti. Model pokazuje da za sve razmatrane vetrogeneratore radarska refleksivnost ima srednju vrednost 36.068 dBZ .

5. Možemo zaključiti da bi analiza bilo koje od predloženih vetroturbina dala iste rezultate i zaključak. Za potrebe Studije uzeta je SG 6.0-170 kao reprezent obe vetroturbine.

TIP VETROTURBINA	Visina stuba [m]	Dužina lopatica [m]	Maks. širina lopatica [m]	ERP stuba [dBm^2]	ERP lopatica [dBm^2]	Radarska refleksivnost [dBZ]
SG 6.0-170	165	85	4,5	67.2	56.74	36.2586
Vestas V162	166	81	4,3	67.25	56.36	35.8781
Srednja vrednost				67.2	56.55	36.0682

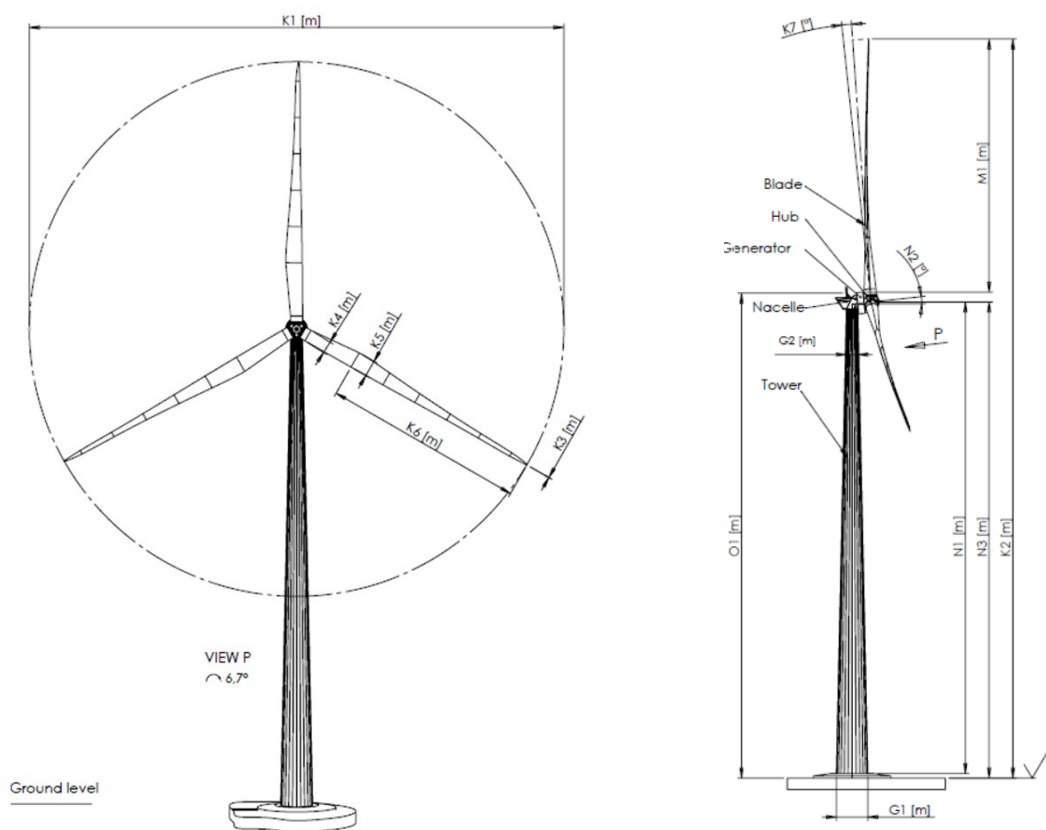
Tabela 2.3-1 Radarske karakteristike predloženih vetroturbina

Tehnički podaci za SG 6.0-170

Prečnik osnove stuba: 9 m

Prečnik vrha stuba: 5,2m

Prečnik rotora: 170 m
 Ukupna visina: 250 m
 Širina vrha lopatice: 0,2m
 Širina korena lopatice: 3,2m
 Maksimalna širina lopatice: 4,5m
 Ugao konusa: 2°
 Broj lopatica : 3
 Površina prebrisavanja lopatica: 22,698 m²
 Nominalna brzina rotora: 10,0 obrtaja*min⁻¹
 Smer rotacije: u pravcu kazaljke na satu
 Brzina vrha lopatice pri nominalnoj brzini rotora: 79 m/sec
 Visina stuba na kome je generator: 165 m



Slika 2.3-1 Izgled i dimenzije vetrogeneratora **SG 6.0-170** za polje vetrogeneratora na lokaciji „BNS“

3 POLJE VETROGENERATORA NA LOKACIJI „BNS“

3.1 Geografski raspored vetrgeneratora

Firma **VETROELEKTRANA BANAT-4 doo** namerava da na lokaciji u Banatu, u trouglu Padina-Vladimirovac-Banatsko novo selo postavi vetro park koji bi se sastojao od 28 vetrogeneratora tipa **SG 6.0-170**. Vetrogeneratori su instalirani na stubovima visine 165 m i sa lopaticama koje čine rotor prečnika 170m (jedna lopatica je dužine 83,5m). Lopatice su postavljene jedna u odnosu na drugu pod uglom od 120° . U radu, lopatice se kreću u smeru kazaljke na satu promenljivim brzinama od minimalne 4 obrtaja u minuti, do nominalne brzine od 10 obrtaja u minuti.

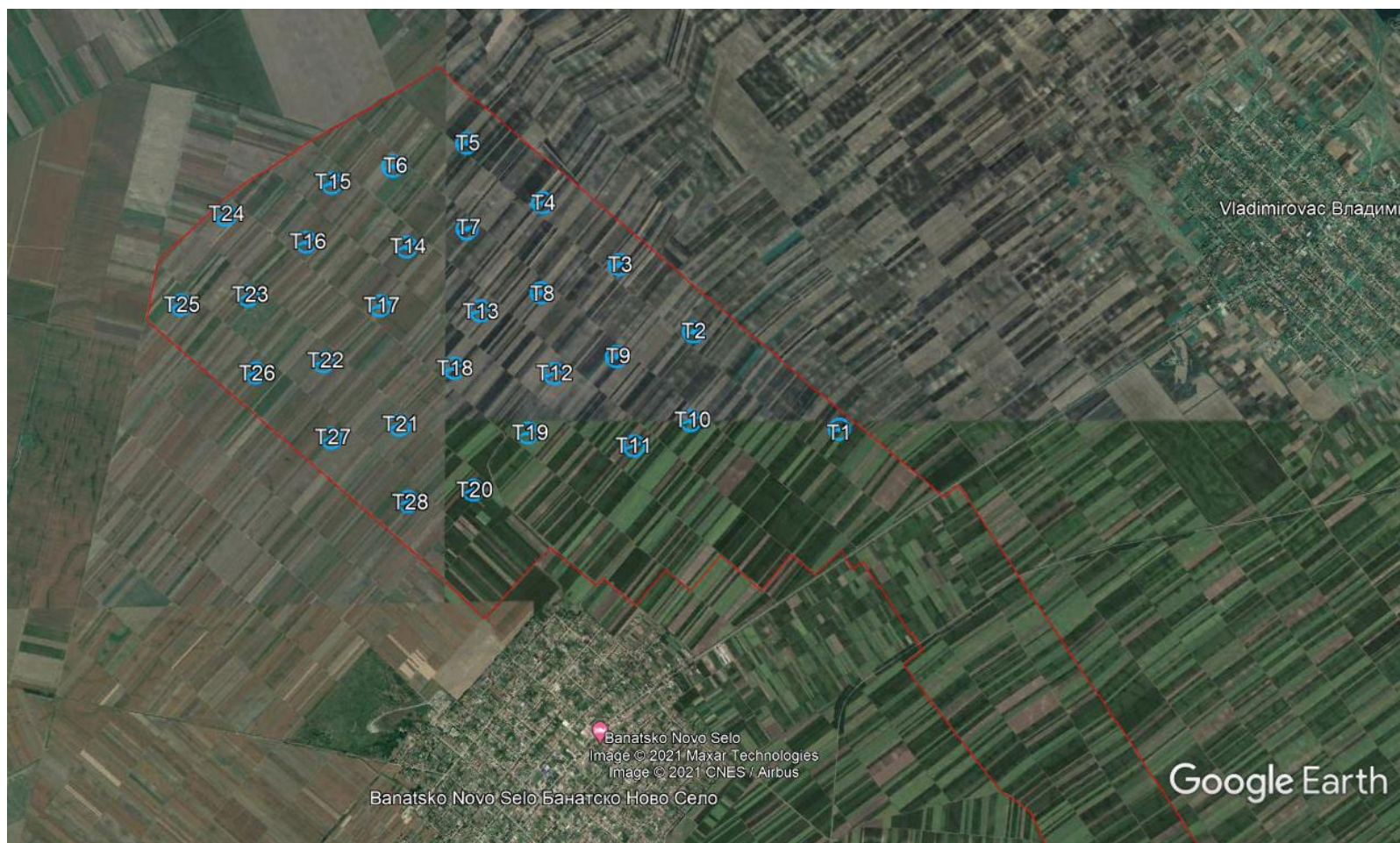
Geografski raspored vetrogeneratora (Tabela 3.1-1 i Slika 3.1-1) je dobijen analizom osnovnih tehničkih zahteva neophodnih za optimalni raspored pri korišćenju navedenog tipa vetrogeneratora, uslova na samom terenu, rešavanja imovinsko-pravnih odnosa i dobijanja dozvola za gradnju od strane lokalnih uprava. Analizom predloženog rasporeda vetrogeneratora zaključuje se da isti odgovara i meteorološkom radaru u Samošu jer daje minimalni klater i prihvatljiv Doplerov pomak. Naime, vetrogeneratori su tako postavljeni da ne postoje rezolucione ćelije radara u kojima ima dva ili više vetrogeneratora.

Analiza radarskog horizonta i vidljivosti vetrogeneratora, Tabela 6.3-1, pokazuje da su svi vetrogeneratori iznad radarskog horizonta i vidljivi. Vetro park se nalazi u odnosu na radar na daljinama od 16.54 km do 19.48km i u azimutalnim pravcima od 169° do 185° .

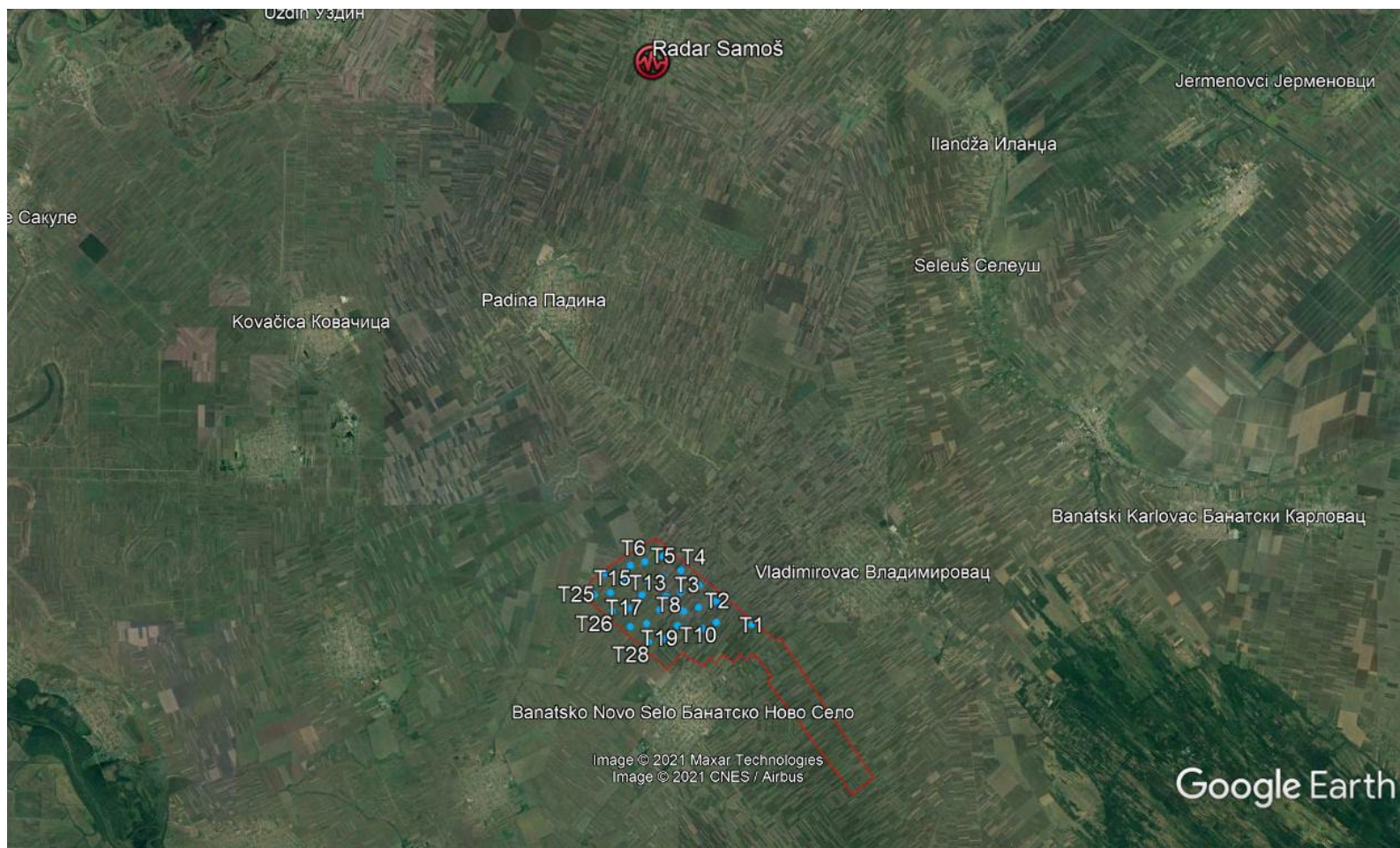
Redni broj	Broj turbine	X	Y	λ (east)	φ (north)
1	T1	7485842.98	4985915.84	20°48'53.538"	45°1'3.675"
2	T2	7484632.22	4986724.02	20°47'58.144"	45°1'29.764"
3	T3	7484015.06	4987284.37	20°47'29.885"	45°1'47.868"
4	T4	7483379.64	4987799.40	20°47'0.792"	45°2'4.499"
5	T5	7482749.57	4988295.01	20°46'31.942"	45°2'20.499"
6	T6	7482132.14	4988105.56	20°46'3.754"	45°2'14.305"
7	T7	7482749.77	4987584.41	20°46'32.041"	45°1'57.478"
8	T8	7483366.17	4987053.67	20°47'0.268"	45°1'40.338"
9	T9	7483990.99	4986521.89	20°47'28.875"	45°1'23.164"
10	T10	7484608.53	4985990.17	20°47'57.145"	45°1'5.988"
11	T11	7484136.60	4985781.15	20°47'35.613"	45°0'59.178"
12	T12	7483472.77	4986383.97	20°47'5.219"	45°1'18.652"
13	T13	7482860.00	4986904.83	20°46'37.163"	45°1'35.472"
14	T14	7482242.52	4987437.23	20°46'8.885"	45°1'52.664"
15	T15	7481622.73	4987967.29	20°45'40.497"	45°2'9.778"
16	T16	7481405.66	4987479.56	20°45'30.645"	45°1'53.956"

17	T17	7482022.56	4986949.92	20°45'58.9"	45°1'36.856"
18	T18	7482639.92	4986430.61	20°46'27.169"	45°1'20.089"
19	T19	7483253.10	4985891.73	20°46'55.245"	45°1'2.686"
20	T20	7482793.62	4985418.55	20°46'34.318"	45°0'47.316"
21	T21	7482179.07	4985957.29	20°46'6.179"	45°1'4.713"
22	T22	7481548.70	4986486.77	20°45'37.315"	45°1'21.807"
23	T23	7480920.25	4987035.87	20°45'8.53"	45°1'39.535"
24	T24	7480732.20	4987706.39	20°44'59.845"	45°2'1.239"
25	T25	7480358.45	4986961.67	20°44'42.876"	45°1'37.074"
26	T26	7480979.68	4986395.01	20°45'11.335"	45°1'18.779"
27	T27	7481611.04	4985853.10	20°45'40.248"	45°1'1.284"
28	T28	7482249.71	4985325.22	20°46'9.488"	45°0'44.243"

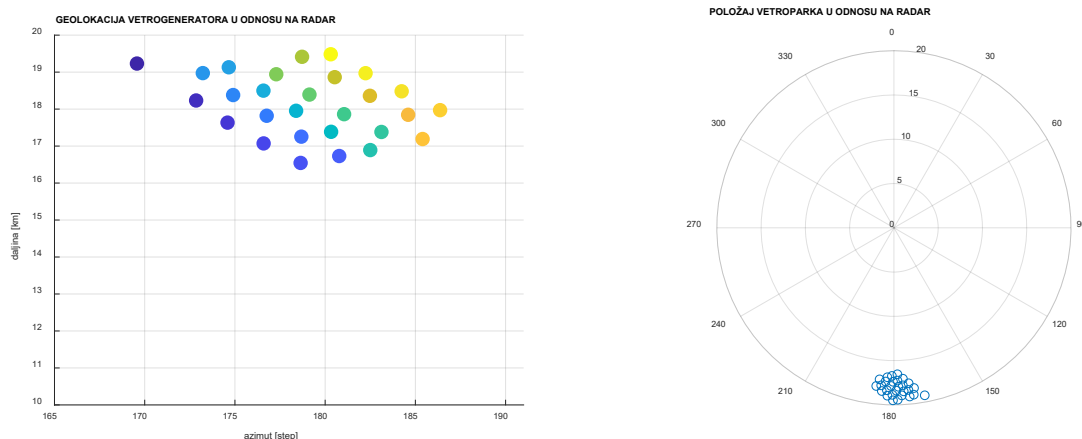
Tabela 3.1-1 Geografske koordinate vetrogeneratora u vetro parku na lokaciji „BNS“



Slika 3.1-1 Geografske pozicije vetrogeneratora sa rednim brojevima (referenca je Tabela)



Slika 3.1-2 Geografska pozicija polja vetrogeneratora u odnosu na meteorološki radar u Samošu



Slika 3.1-3 Geografska lokacija pojedinačnih vetrogeneratora na polju „BNS“ u odnosu na meteorološki radar METEOR 400S u Samošu

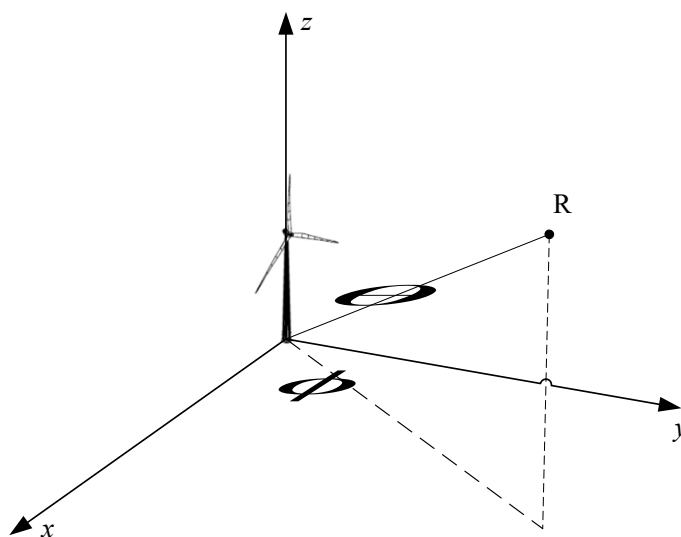
4 ANALIZA UTICAJA VETROGENERATORA NA RAD RADARA METEOR 400S U SAMOŠU

4.1 Simulacioni model vetrogeneratora

Meteorološki impulsno Doplerovi radari, kakav je radar METEOR 400S u Samošu, obrađuju reflektovani signal od meteoroloških fenomena i drugih objekata u vremenskom i frekventnom domenu. Obrada radarskog signala u vremenskom domenu generiše produkte refleksivnosti koji su nosioci informacija o količini padavina, a produkti obrade u frekventnom domenu pokazuju elemente kretanja u meteorološkom fenomenu kao što su radijalna komponenta brzine i stepeni turbulencije. Vetrogeneratori i njihova polja su, za meteorološke radare, objekti koji reflektuju upadnu elektromagnetnu energiju, a prijemne signale radari obrađuju po istim principima kao i reflektovane od meteoroloških fenomena. Da bi precizno definisali efekte reflektovanih signala od vetrogeneratora na produkte meteorološkog radara, neophodno je napraviti što verniji simulacioni model. Idealni model koji bi za svoju realizaciju zahtevao izuzetno velika izračunavanja, koliko je poznato iz objavljene svetske literature, ne postoji već su to modeli koji primenjuju aproksimativne metode po principu, najčešće, najgoreg slučaja. Za potrebe ove Studije razvijen je simulacioni model velike preciznosti, kako sledi.

Simulacioni model vetrogeneratora je zasnovan na tačnoj proceni efektivne refleksne površine (ERP) vetrogeneratora primenom teorije optičke fizike. Ova teorija je aproksimativna metoda koja obezbeđuje tačne rezultate za električni velike objekte većih ili jednakih deset talasnih dužina. Takođe, tačke opservacije na objektu su u blizini spekularne refleksije. Model isključuje efekte višestruke refleksije, difrakciju ili površinske talase. Ovaj model je pojednostavljen jer ne uključuje izuzetno veliki broj simulacija sa vrednostima specifičnih orijentacija rotora vetrogeneratora i pozicija lopatica, ali izuzetno precizan za potrebe istraživanja uticaja polja vetrogeneratora na rad meteoroloških radara, [6]. S obzirom da primenjuje princip najgoreg slučaja, najvećeg ERP-a.

Slika 4.1-1 prikazuje referentni koordinatni sistem korišćen u analizi. Rotor vetrogeneratora je orijentisan duž x ose, R je pozicija radara, Θ je ugao između vertikalne z ose i pozicije radara a ϕ ugao u horizontalnoj ravni koji definiše poziciju radara u odnosu na orijentaciju rotora vetroturbine (osa osovine rotora).



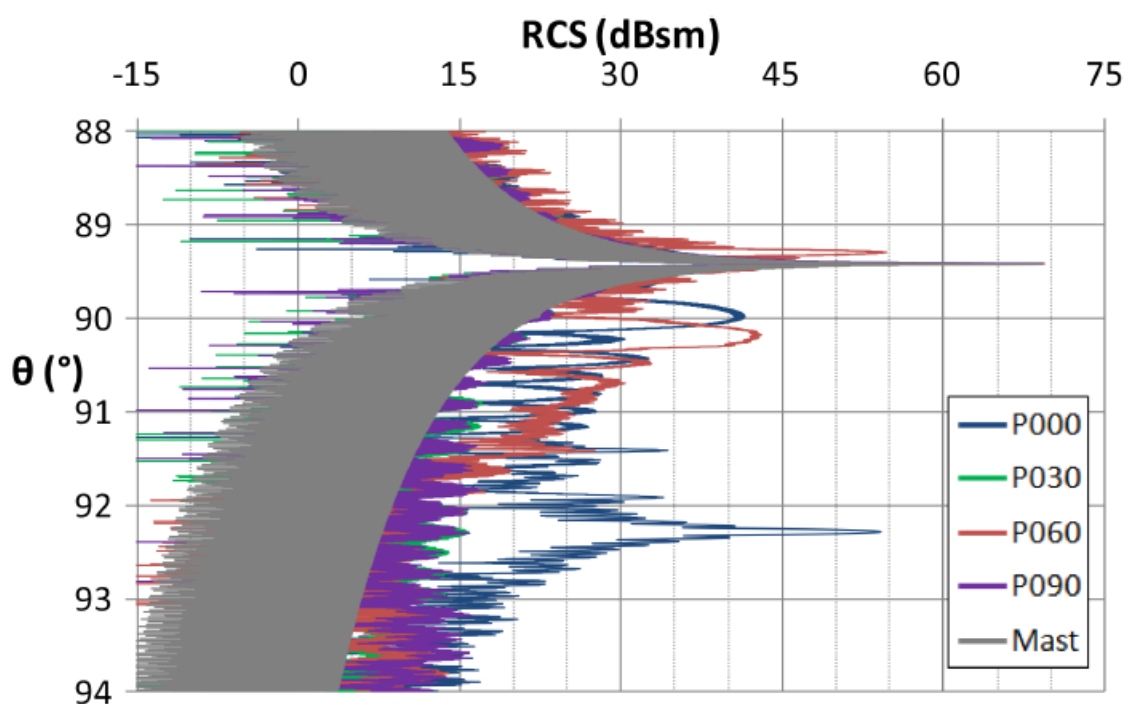
Slika 4.1-1 Sferni koordinatni sistem za proračun ERP-a. R predstavlja lokaciju radara

Analiza je napravljena pod pretpostavkom da se polje vetrogeneratora nalazi u zapremini prostora u kojoj se ostvaruje detekcija meteorološkog radara bez ikakvih drugih uticaja. Takođe, ostavrena je:

- (1) monostatička refleksija radarskog signala od pojedinačnih vetrogeneratora u polju,
- (2) detekcija u frekventnom opsegu rada meteorološkog radara,

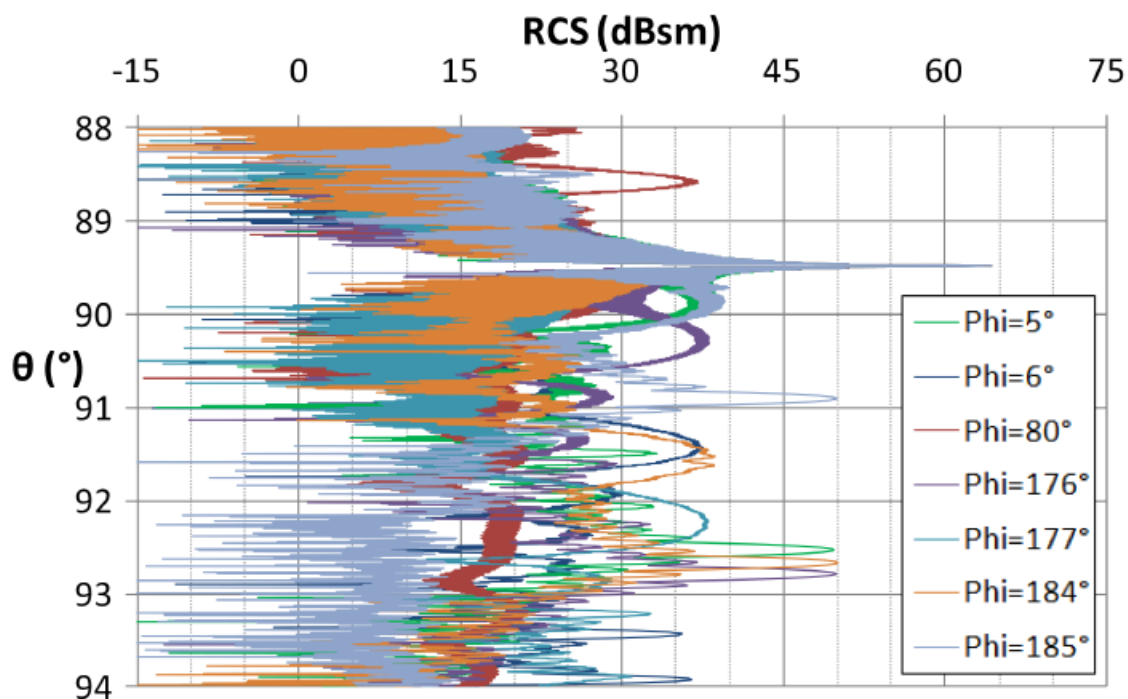
(3) pretpostavka da je metalni stub vetrogeneratora perfektni provodnik, a da su lopatice rotora, iako napravljene od kompozitnih materijala, metalne kako bi se analiza sproveda po metodi najgoreg slučaja. To je urađeno zbog činjenice da je karakterizacija kompozitnih materijala u pogledu refleksije elektromagnetnih talasa radara izuzetno teška i da bi takva analiza izašla iz okvira ove studije.

(4) realni scenario koji obuhvata geolokaciju meteorološkog radara, geolokaciju svakog vetrogeneratora ponaosob na lokaciji „BNS“ i sve odgovarajuće elevacione uglove.



Slika 4.1-2 Uticaj položaja lopatica rotora vetrogeneratora na ERP

Na Slika 4.1-2, a na osnovu reference [6], prikazana je zavisnost ERP vetrogeneratora u funkciji pozicija lopatica rotora u nekoliko diskretnih vrednosti (0° , 30° , 60° i 90°). Siva zona na slici predstavlja ERP stuba i ima u maksimumu skoro 70 dBm² u smeru spekularne refleksije ($89,4^\circ$) da bi za male promene ugla brzo opala. Ukoliko je položaj lopatice prema zenitu, P000, maksimum ERP-a je na istom uglu kao i ERP stuba. Pokazuje se da druge vrednosti ugla koji definišu položaje lopatica dovode do toga da je maksimum značajno manji, oko 55 dBm², ali da se pomera po uglu za nekoliko stepeni. Kontinuirano kretanje lopatica bi uslovilo i takvo isto pomeranje maksimuma ERP po uglu.



Slika 4.1-3 Zavisnost ERP od ugla rotora vetrogeneratora

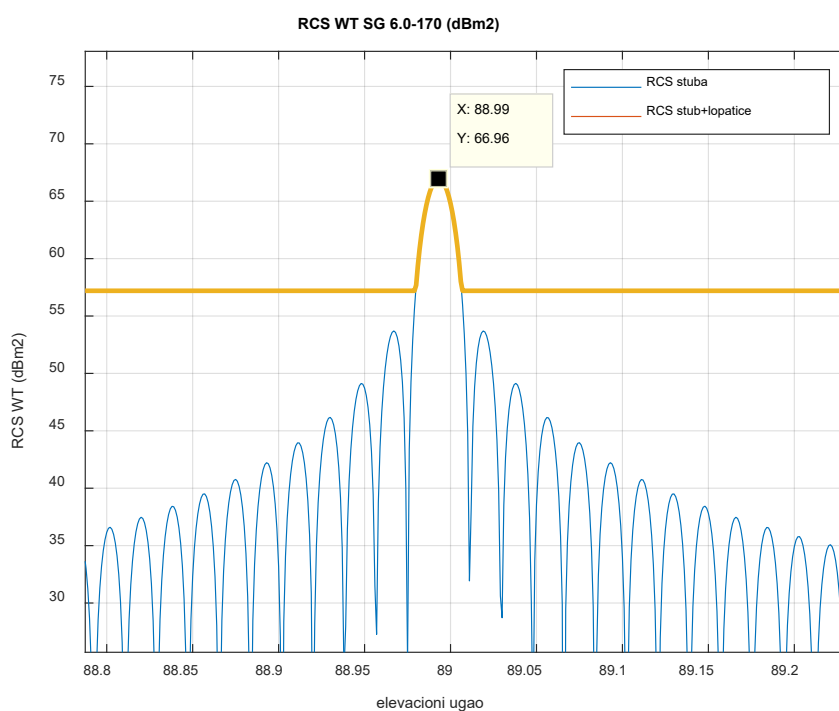
Takođe, Slika 4.1-3, a na osnovu reference [6], jasno pokazuje da doprinos lopatica reflektovanom radarskom signalu jako zavisi i od orijentacije rotora u odnosu na incidentni radarski signal, dok doprinos stuba ostaje nepromenljiv u horizontalnoj ravni zbog simetrije stuba u odnosu na vertikalnu osu. I u ovom slučaju možemo uočiti da je doprinos lopatica manji i da se pomera u malom opsegu uglova.

Prvi važan zaključak koga možemo izvesti na osnovu velikog broja simulacija je da je glavni reflektor stub vetrogeneratora. Osnovna karakteristika oblika refleksije stuba je glavni snop, normalan na kosu površinu, ekstremno usmeren u vertikalnoj a omnidirekcionalan u horizontalnoj ravni. Suprotno, lopatice stvaraju promenljivi nivo reflektovanog signala koji zavisi od orijentacije rotora, njihovog položaja i ugla lopatica u odnosu na njihovu uzdužnu osu. Uprkos promenljivosti refleksija od lopatica, njihov doprinos ukupnoj ERP vetrogeneratora je značajno manji od amplitude glavnog snopa stuba vetrogeneratora. Prema tome, da bi smo obezbedili pristup najgoreg slučaja u odnosu na reflektovani signal od lopatica, predloženi model refleksije će uzeti u obzir najviši nivo vrednosti ERP-a za lopatice kao konstantnu vrednost u funkciji ugla.

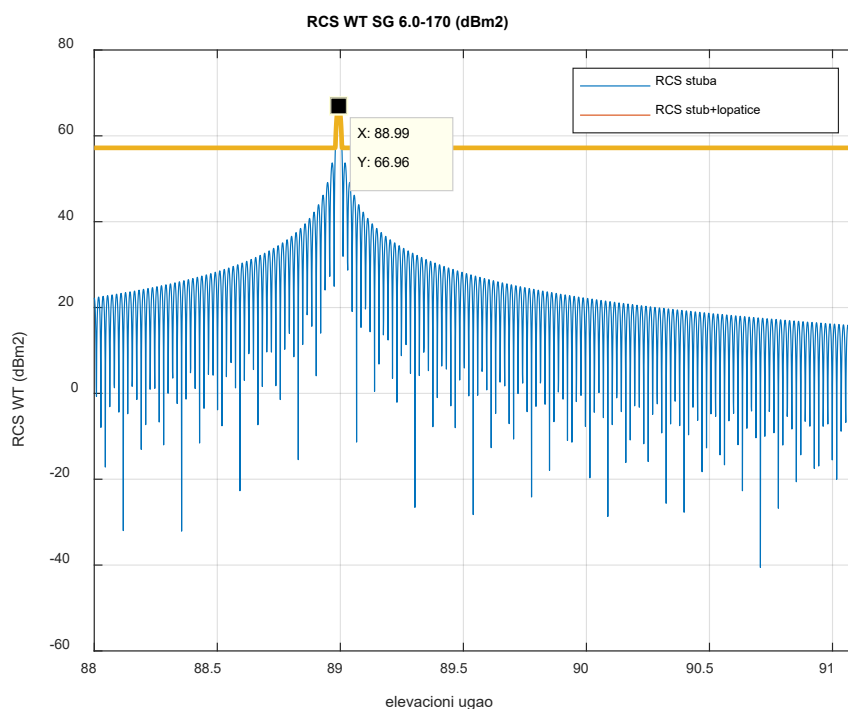
4.1.1 Refleksija elektromagnetnog zračenja radara od stuba vetrogeneratora

Stub vetroturbine je svakako najveći reflektor, prvenstveno zbog svojih velikih dimenzija. Stub vetrogeneratora je, zbog različitih prečnika na dnu i vrhu stuba, geometrijskog oblika zarubljene kupe. S obzirom da je polovina ugla na vrhu zamišljene kupe koju gradi stub kao njen deo, vrlo mali, stub vetroturbine kao perfektno provodni se može u prvoj aproksimaciji posmatrati kao pravi cilindar i na njega primeniti teorija fizičke optike za izračunavanje ERP radarskog reflektora.

Uz prethodne pretpostavke, model stuba vetroturbine je za potrebe ove studije razvijen uz dve aproksimacije. (1) Procena ERP-a zarubljene kupe ako je poluprečnik zamenjen srednjim poluprečnikom kupe a visina kupe zamenjena dužinom izvodnice zarubljene kupe i (2) oblik refleksije od stuba vetrogeneratora je ekstremno usmeren u smeru perpendikularnom na kosu površinu stuba i zbog toga se ugao mora modifikovati za polu ugao vrha zamišljene kupe. Na osnovu svega, model refleksije od stuba vetrogeneratora za **SG 6.0-170** je dat na Slika 4.1-4 i Slika 4.1-5, označen plavom krivom.



Slika 4.1-4 ERP dobijen simulacijom vetroturbine **SG 6.0-170** (stub u glavnom snopu radara)



Slika 4.1-5 ERP dobijen simulacijom vetroturbine **SG 6.0-170** (veći opseg elevacionih uglova)

4.1.2 Refleksija elektromagnetnog zračenja radara od lopatica vetrogeneratora

Na osnovu mnogih istraživanja i merenja pokazuje se da je reflektovana radarska energija od lopatica vetrogeneratora značajno manja nego od stuba u smeru spekularne refleksije (glavni snop). Refleksija od lopatica jako zavisi od pozicije rotora u odnosu na radar i položaja lopatica rotora. Detaljna analiza refleksija od lopatica je skoro nemoguća zbog velikog i opsežnog proračunavanja koja zavise od različitih kombinacija pozicija rotora i pozicija lopatica, uz nepoznavanje strukture (materijal od koga su napravljene) i dizajna lopatica različitih proizvođača.

Umesto kompletnog modeliranja lopatica, pristupićemo pojednostavljenom pristupu karakterizaciji lopatica prihvatanjem maksimalne vrednosti refleksije lopatica (metoda najgoreg slučaja). Pod maksimalnom vrednošću podrazumevaćemo doprinos jedne lopatice u vertikalnoj poziciji. U ovakvom pristupu lopaticu predstavljamo trouglom. U realnosti profil lopatice rotira od glavčine prema vrhu da bi održao napadni ugao i zbog tog okretanja ugla površina trougla neće nikad cela biti okrenuta prema radaru. Efikasnost refleksije od lopatica zbog okretanja ugla je empirijski dobijena i iznosi 40-60%. U modelu koji je razvijen za potrebe ove studije usvojena je efikasnost od 50% što se u mnogim istraživanjima pokazala kao najbolja aproksimacija.

Napomenimo da modeliranja lopatica rotora vetrogeneratora podrazumevaju da su lopatice od perfektno provodnog materijala, kao i stub. Međutim, svi proizvođači vetrogeneratora prave lopatice od neprovodnih materijala, staklo plastike, tako da je ERP lopatica znatno manja od one koja se koristi u simulacionom modelu. Ipak, zbog nepoznavanja načina izrade lopatica, materijala koji su upotrebljeni i njihovih električnih karakteristika, skoro svi poznati simulacioni modeli koriste metodu najgoreg slučaja i tretiraju lopatice kao perfektno provodne, što je učinjeno i u ovoj Studiji. Jedini provodni materijal instaliran u lopaticama koji reflektuje elektromagnetnu energiju radara je sistem za zaštitu od gromova.

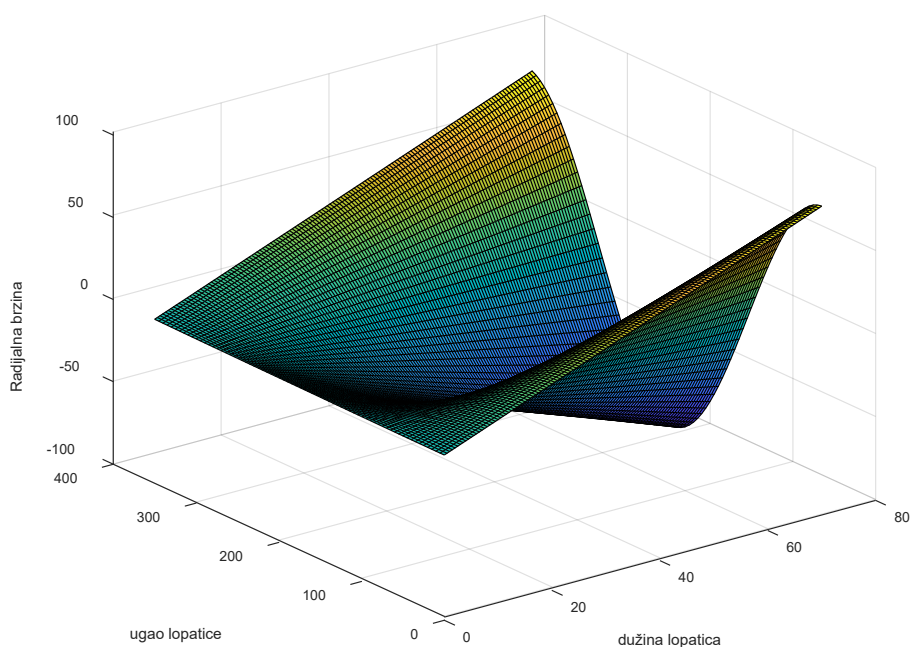
4.1.3 Refleksivnost vetrogeneratora na lokaciji „BNS“ u odnosu na meteorološki radar u Samošu

Na osnovu razvijenog matematičkog modela i dobijenih rezultata primenjenih na realnu situaciju meteorološkog radara u Samošu i vetroparka „BNS“, možemo zaključiti sledeće:

Refleksivnost od stuba vetrogeneratora. Matematički model primenjen na vetrogenerator **SG 6.0-170** dao je maksimalnu vrednos ERP stuba od 66,96 dBm² kada je isti u maksimumu dijagrama zračenja antene radara, Slika 4.1-4. S obzirom da stub vetrogeneratora aproksimiramo zarubljenom kupom kod koga je izvodnica omotača nagnuta za ugao $1,2^{\circ}$, a spekularna refleksija koja daje navedenu ERP treba da bude normalna na omotač kupe, dobijamo da je maksimalna ERP na 88,99⁰. Ovo znači da bi se ostvario maksimum ERP-a, potrebno je da radar u našem slučaju bude na nadmorskoj visini od 350m, što nije slučaj. Vetropark je na prosečnoj nadmorskoj visini 116m, a radar na 108m. Zbog toga je ERP uzeta pri uglu 91° i iznosi 17 dBm², što je značajno smanjenje, Slika 4.1-5. Ovih 17 dBm² je ERP kada radar radi bez upotrebe antiklaterskih filtara (IIR filtri). Međutim, u operativnom radu, zbog uklanjanja klatera od tla, koristi se jedan od 15 filtera za tu svrhu. Pošto stub vetrogeneratora nema fluktuacija klatera, reflektovani signal od stuba je dodatno oslabljen za iznos slabljenja nepropusnog dela filtra, a to je 45dB. Konačno, radarski filter će potpuno obrisati reflektovani signal od stuba i deo reflektovanog signala od lopatica koji odgovaraju dužini lopatica od glavčine do tačke na kojoj obimna brzina lopatica daje redijalnu komponentu brzine koja odgovara nepropusnom opsegu primenjenog

antiklatskog filtra. U slučaju nominalne brzine okretaja lopatica od 10 obrtaja u minuti i primenjenog antiklatskog filtra br. 10, radar će obrisati reflektovane signale od stuba, gondole i do tri metara lopatica od glavčine na dalje.

Refleksivnost od lopatica rotora vetrogeneratora. Uzimajući u obzir već rečeno, ERP lopatica rotora vetrogeneratora je aproksimirana konstantnom vrednošću, za vetrogenerator **SG 6.0-170** je to 57,2 dBm², Slika 4.1-4 (linija oker boje). Lopatice rotora imaju najveći doprinos reflektovanom signalu od vetrogeneratora zbog toga što generišu širok spektar Doplerovih frekvencija koje antiklatski filteri ne mogu da potisnu. Na Slika 4.1-6 je data radijalna komponenta brzine lopatica u funkciji dužine lopatice od glavčine pa do vrha i ugla pod kojim radar vidi lopatice.



Slika 4.1-6 Radijalna brzina lopatica rotora vetrogeneratora **SG 6.0-170** u odnosu na radar u Samošu

5 NAČINI UBLAŽAVANJA UTICAJA POLJA VETROGENERATORA NA RADAR U SAMOŠU

U svim zemljama brzo raste broj vetrogeneratora kao odgovor na povećane zahteve za obnovljivim izvorima energije. Sa tim u vezi raste i broj problema koje treba rešiti u procesu kohabitacije vetro parkova i impulsno Doplerovih meteoroloških radara. Identifikovali smo tri glavna problema koja se javljaju u radu meteoroloških radara u prisustvu vetro parkova: klateri, blokiranje snopa i pogrešno merenje brzine vetra.

Neželjene refleksije od svih prepreka na liniji prostiranja elektromagnetne energije radara, nazvane klateri, mogu biti statički i dinamički. Razlika je u tome što statički klateri nemaju ili imaju malu komponentu radijalne brzine i mogu biti uklonjeni u Doplerovim radarima pomoću ugrađenih antiklatskih filtara, dok dinamički klateri imaju veliki opseg radijalnih brzina i ne mogu biti uklonjeni konvencionalnim antiklatskim filtrima. Pokazuje se da klater prouzrokovan postojanjem i radom vetrogeneratora može biti problematičan za meteorološke radare pošto procesirani reflektovani signal od vetrogeneratora radari interpretiraju kao padavine. Klater od vetrogeneratora može biti u velikom opsegu intenziteta reflektovanih signala, od jedva vidljivih do visokog nivoa koji je blizu zasićenja prijemnika. Često se na radarskom pokazivaču može videti i tzv. klatski rep iza vetrogeneratora. Veruje se da ovaj fenomen nastaje zbog efekta višestrukih refleksija. Međutim, u mnogim primerima se vidi da klatski rep eksponencijalno opada, nestaje, iza vetrogeneratora. Takođe, bočni lobovi dijagrama zračenja radarske antene mogu, u nekim slučajevima, da stvore dodatni klater.

Mere za ublažavanje negativnih efekata klatera mogu biti:

- a. postavljanje vetrogeneratora tako da ne budu u snopu radarske antene (van linije vidljivosti radara)
- b. smanjenje efektivne refleksne površine vetrogeneratora korišćenjem specijalnih, slaboreflektujućih, materijala za izradu lopatica
- c. razvoj i primena adaptivnih antiklatskih filtara u radaru
- d. korišćenjem radara malog dometa za popunu radarskih zona pokrivanja u kojima su klateri
- e. adaptiranjem strategije skaniranja radara kako bi se isključile zone osmatranja gde su vetrogeneratori

Blokiranje radarskog snopa je uslovljeno postojanjem neke prepreke na liniji prostiranja i nije odlika samo vetrogeneratora. Što se tiče meteoroloških radara, blokiranje radarskog snopa nekom preprekom dovodi do manje procene vrednosti padavina iza nje. Blokiranje radarskog snopa kao posledicu vetrogeneratora je vrlo teško analizirati samo korišćenjem refleksivnosti zbog prostorne varijacije padavina i klatskog repa koji je stvoren iza vetrogeneratora.

Nekoliko koncepata koji mogu da ublaže uticaj blokiranja radarskog snopa uključuju sledeće:

- a. postavljanje vetrogeneratora radijalno u odnosu na radar
- b. uvođenje radara malog dometa koji će pokriti zonu od interesa
- c. prilagođavanje strategije skaniranja antene meteorološkog radara kako bi se "preskočili" vetrogeneratori

Jedna od osnovnih funkcija impulsno Doplerovog radara kakvi su savremeni meteorološki radari je da detektuje kretanje u reflektovanom signalu kao što je npr. kretanje lopatica vetrogeneratora. Iako su takva radarska merenja korektna u tom smislu da potpuno odgovaraju radijalnim komponentama brzine objekta, njihova interpretacija može dovesti do značajnih grešaka. Kod radara za kontrolu vazdušnog saobraćaja interpretacija reflektovanog signala zbog kretanja lopatica vetrogeneratora može da to proglasi kao kretanje aviona dok kod meteorološkog radara takav reflektovani signal može da bude interpretiran kao nailazak velike nepogode.

Meteorološki radari koriste Doplerovu frekvenciju u reflektovanom signalu da procene brzinu vetra, međutim refleksija radarskog signala od lopatica vetrogeneratora može dovesti do pogrešnog merenja brzine vetra. Merenje parametra vetra iznad vetroparka povremeno pokazuje izuzetno velike vrednosti brzine vetra ali su i merenja brzine vetra, u istim uslovima, blizu nule. Takođe, nesinhronizovano kretanje više rotorskih lopatica vetroparka dovodi do vrlo širokog frekventnog spektra, što sa svoje strane generiše vrlo širok spektar brzina vetra.

6 POLJE VETROGENERATORA NA LOKACIJI „BNS“ I NJEGOV UTICAJ NA RADAR U SAMOŠU

6.1 Rezolucione ćelije radara

Rezolucionu ćeliju radara predstavlja element osmatranog prostora oko radara omeđen širinom dijagrama zračenja i širinom impulsa predstavljenom prostornim rastojanjem. Dijagram zračenja antene meteorološkog radara u Samošu je na polovini snage $1,2^0$, a radar, u zavisnosti od režima rada, može da zrači dve vrste impulsa, dugi i kratki impuls koji imaju širinu 2 μsec i 0.83 μsec , respektivno. Shodno tome, rezoluciona ćelija duž azimutalne linije, u radijalnom pravcu, je dužine 300 m, što odgovara dugom radarskom impulsu od 2 μsec , i 125 m ako radar zrači kratki impuls od 0.83 μsec . Svi elementarni reflektori radarskih signala koji se nalaze u rezolucioj ćeliji radara prikazuju se kao jedinstven reflektujući objekat. U procesu obrade signala u radarskom prijemniku vrši se odabiranje signala tako da signal reflektovan iz rezolucione ćelije može da bude predstavljen jednim ili sa više odmeraka. Međutim za potrebe prikazivanja meteorološkog produkta, a na osnovu podešavanja performansi u RAINBOW 5, radijala do maksimalnog instrumentalnog dometa radara se može predstaviti sa 1000 gejtova, odn. 500 gejtova. Ukoliko radar radi na instrumentalnom dometu od 250 km i tu daljinu predstavi sa 1000 gejtova, svaki gejt predstavlja 250 m prostora. Odnos između rezolucione ćelije radara i gejta u obradi signala je takav da ukoliko radar radi na kratkom impulsu onda usrednjene refleksije iz dve rezolucione ćelije su sadržane u jednom gejtu. U slučaju dugog impulsa imamo situaciju da je rezoluciona ćelija radara prikazana u dva gejta, što zajedno sa efektom višestruke refleksije u vetroparku stvara klaterski rep u drugom gejtu.

Ilustracija obrade rezolucionih ćelija radara i gejtova daljine i azimuta u procesoru radara je data na slikama, Slika 6.3-3 i Slika 6.3-4, za matričnu ćeliju od 250m i slikama, Slika 6.3-5 i Slika 6.3-6, za matričnu ćeliju od 500m. Primeri su modelirani za refleksivnost vetro parka od 35.813 dBZ.

6.2 Osnovni koncept ublažavanja efekta klatera – planiranje rasporeda vetrogeneratora u vetro parku

Osnovni koncept ublažavanja efekata klatera od vetrogeneratora, prema preporukama koje su do sada objavljene u svetskoj literaturi a koji se čini i najlogičnijim, je planiranje lociranja vetrogeneratora u vetro parku. Ovaj koncept se preporučuje u slučajevima ublažavanja efekta klatera kod: (a) intenziteta klatera od vetrogeneratora, (b) uticaja blokiranja, (c) uticaja formiranja klaterskog repa i (d) veličine Doplerovog pomaka i širine frekventnog spektra.

Osnovni princip pri planiranju polja vetrogeneratora je taj da broj vetrogeneratora bude minimalni u jednoj rezolucionalnoj ćeliji radara i da ćelije u kojima su vetrogeneratori budu što je moguće više razdvojene po azimutu i daljini. Naravno, sve ovo treba primeniti uz poštovanje osnovnih principa kreiranja mreže vetrogeneratora u vetro parku i poštovanje principa optimalnog rasporeda i ekonomičnosti pri realizaciji i kasnijoj eksploataciji. Generalno gledano, sve ove zahteve često ne možemo realizovati i zato je neophodno praviti kompromise, u najmanjoj mogućoj meri.

Prilikom planiranja vetro parka na lokaciji „BNS“ uzete su u obzir sve navedene pretpostavke i napravljen plan rasporeda vetrogeneratora kao što je pokazano na Slika 6.3-2. Kao što se vidi ispoštovan je osnovni princip da u svakoj rezolucionalnoj ćeliji radara gde su postavljeni vetrogeneratori postoji samo po jedan vetrogenerator. Na taj način je ostvarena pretpostavka o minimalnom klateru prouzrokovanom vetrogeneratorima. Takođe, u takvom rasporedu vetrogeneratora operater na radaru može sa dovoljnom preciznošću, uz prepoznavanje lokacije vetroparka, da izvrši merenja meteoroloških parametara na radaru.

6.3 Osnovni koncept ublažavanja efekta klatera – popunjavanje kontaminirane zone osmatranja drugim radarom

Popunjavanje zone osmatranja drugim radarom podrazumeva instaliranje radara kratkog dometa na pogodnu lokaciju u bizini vetroparka koji bi vršio merenja meteoroloških parametara samo u zoni oko vetroparka. Uzimajući u obzir sve činjenice koje su date ovom analizom a i na osnovu napravljenih matematičkih modela za

lokaciju vetroparka „BNS“, NE POSTOJI POTREBA za uvođenjem ovakvog radara. Naime, zahvaljujući gustoj mreži meteoroloških radara u Vojvodini (Samoš, Bajša i Fruška Gora), kooperativnom osmatranju, koordiniranim radom radara u procesu dejstva protivgradne zaštite i prognoze vremena, prostor u zoni vetroparka „BNS“ može biti vrlo kvalitetno pokriven osmatranjem pomenutih meteoroloških radara.

Vetropark „BNS“ je udaljen od radara Fruška Gora oko 78km, na istok. Meteorološki radar Fruška Gora je na nadmorskoj visini od 502 m a srednja vrednost nadmorske visine vetroparka „BNS“ je oko 117 m. Vertikalni presek terena po liniji koja spaja lokaciju radara Fruška Gora i sredinu vetroparka „BNS“ je dat na Slika 6.3-1. S obzirom na ovakav geografski razmeštaj radara i vetroparka, vetropark se nalazi ispod linije horizonta radara i, na osnovu toga, nije vidljiv radarom Fruška Gora. Takođe, i konfiguracija terena Fruške Gore u neposrednoj blizini radara je takva da omogućava da vetropark „BNS“ bude u radarskoj senci radara Fruška Gora, uzimajući čak i uticaj bočnih lobova radarske antene. Zaključimo, vetro park „BNS“ ne utiče na meteorološki radar Fruška Gora.

Međutim, radar Fruška Gora pokriva prostor iznad vetroparka na svim visinama višim od 500m (linija horizonta) i do maksimalnih visina osmatranja, što ga čini idealnim da u kooperativnom radu sa meteorološkim radarom Samoš ostvari potpuno prekrivanje prostora bez ikakvih uticaja vetroparka „BNS“. Uticaj vetroparka po svim elementima postoji samo u slučaju kada meteorološki radar Samoš radi samostalno u procesu realizacije aktivnosti odbrane od grada.



Slika 6.3-1 Izgled vertikalnog preseka terena na liniji meteorološki radar Fruška Gora i sredina lokacije na kojoj je postavljen vetro park „BNS“

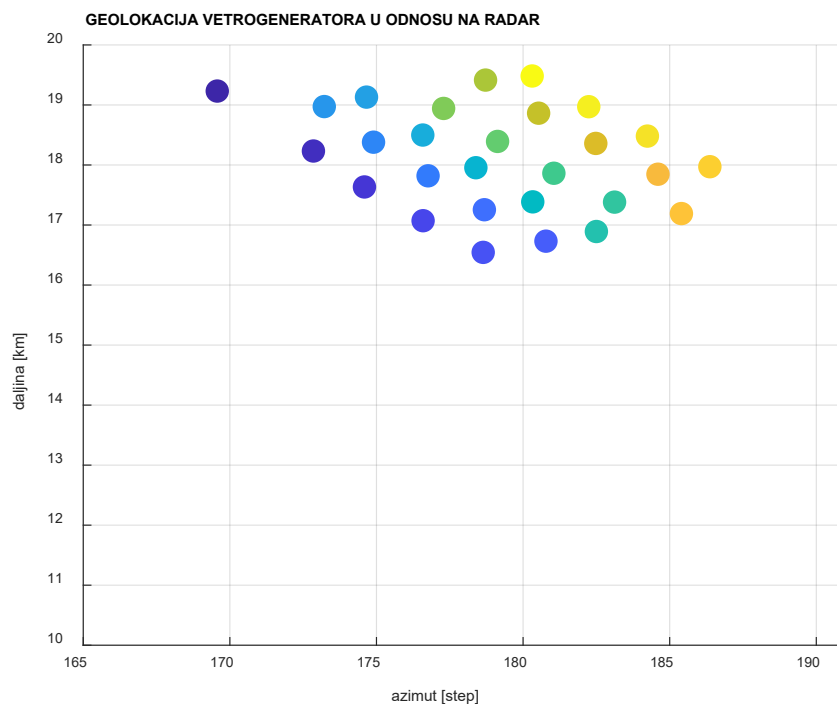
Prednost kooperativnog rada dva radara je evidentna u slučaju vetroparka „BNS“, međutim, mnogo je veća zbog činjenice da radar Fruška Gora pokriva mrtvu kupu radara Samoš, uz dodatni dobitak što je vetropark, zbog svoje blizine radaru Samoš, baš u toj mrtvoj kupi.

Ovakav način rada već se primenjuje u sistemu odbrane od grada.

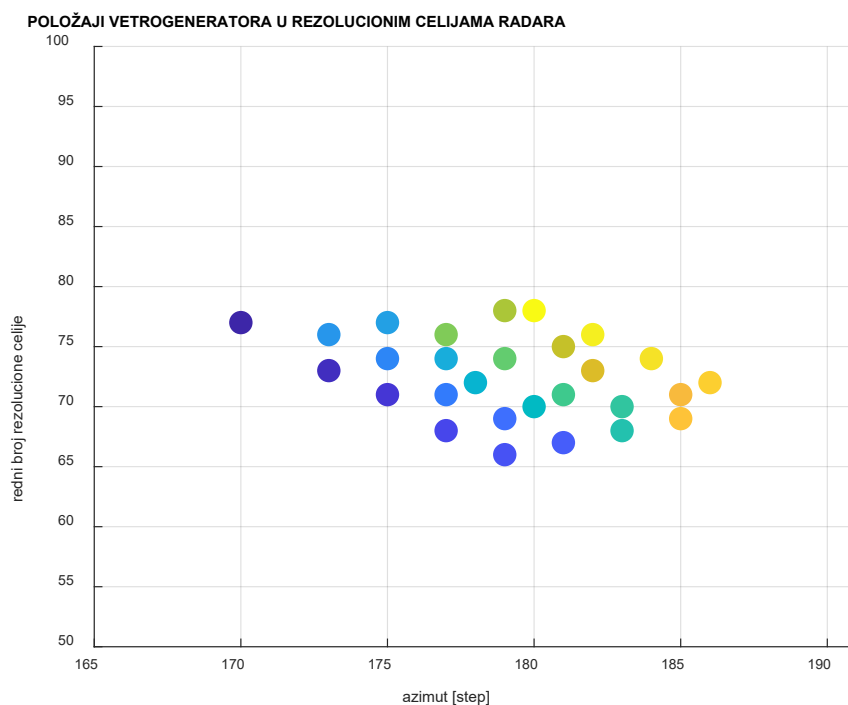
Faza	WT #	Nadmorska visina WT	Nadmorska visina vrha vertikalne lopatice	Razlika visina WT i radara	Prepreke između radara i WT	Procenat vidljivosti WT	Vidljivost rotora WT
		[m]	[m]	[m]		[%]	
Planirano postavljanje 44 WT	T1	136	384	259	nema	100%	celi rotor
	T2	132	380	255	nema	100%	celi rotor
	T3	127	375	250	nema	100%	celi rotor
	T4	124	372	247	nema	100%	celi rotor
	T5	122	370	245	nema	100%	celi rotor
	T6	117	365	240	nema	100%	celi rotor
	T7	120	368	243	nema	100%	celi rotor
	T8	124	372	247	nema	100%	celi rotor
	T9	125	373	248	nema	100%	celi rotor
	T10	129	377	252	nema	100%	celi rotor
	T11	126	374	249	nema	100%	celi rotor
	T12	121	369	244	nema	100%	celi rotor
	T13	119	367	242	nema	100%	celi rotor
	T14	114	362	237	nema	100%	celi rotor
	T15	113	361	236	nema	100%	celi rotor
	T16	111	359	234	nema	100%	celi rotor
	T17	113	361	236	nema	100%	celi rotor
	T18	115	363	238	nema	100%	celi rotor
	T19	118	366	241	nema	100%	celi rotor
	T20	112	360	235	nema	100%	celi rotor
	T21	110	358	233	nema	100%	celi rotor

	T22	105	353	228	nema	100%	celi rotor
	T23	104	352	227	nema	100%	celi rotor
	T24	106	354	229	nema	100%	celi rotor
	T25	99	347	222	nema	100%	celi rotor
	T26	101	349	224	nema	100%	celi rotor
	T27	105	353	228	nema	100%	celi rotor
	T28	106	354	229	nema	100%	celi rotor

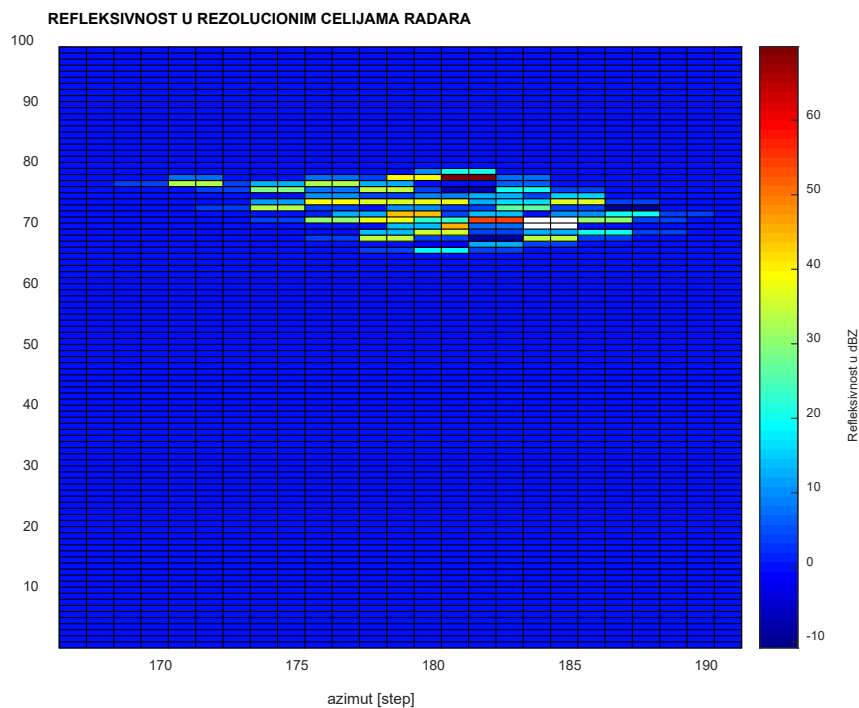
Tabela 6.3-1 Procentualna radarska vidljivost sa meteorološkog radara u Samošu svakog od vetrogeneratora na lokaciji „BNS“ sa posebnim osvrtom na vidljivost rotorskih lopatica kao dela vetrogeneratora sa najvećim doprinosom klateru



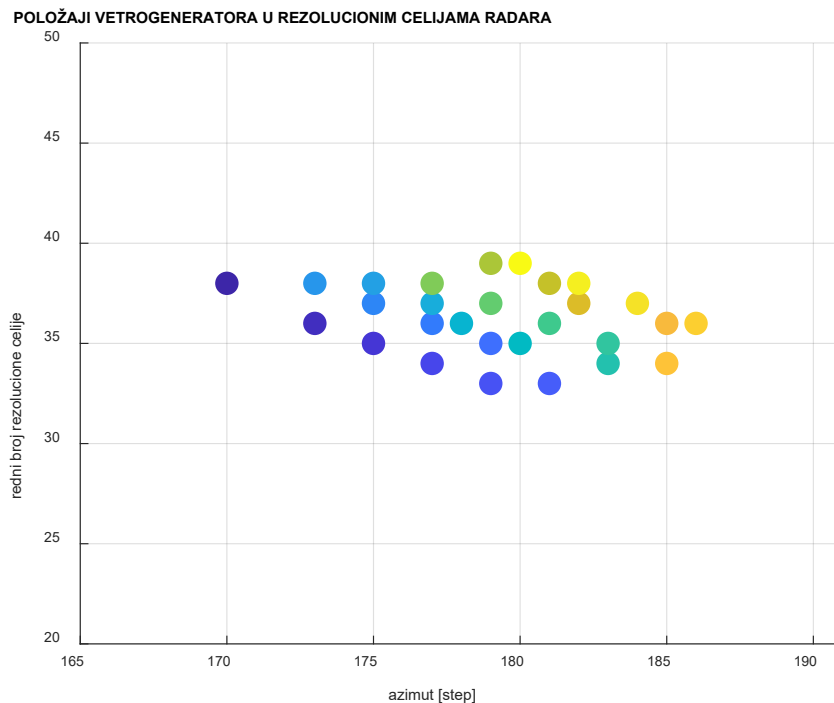
Slika 6.3-2 Prostorna raspodela vetrogeneratora na lokaciji „BNS“ u odnosu na meteorološki radar u Samošu. Na apscisu je azimutalni ugao pod kojim radar detektuje vetrogenerator a na ordinati je dato rastojanje od radara



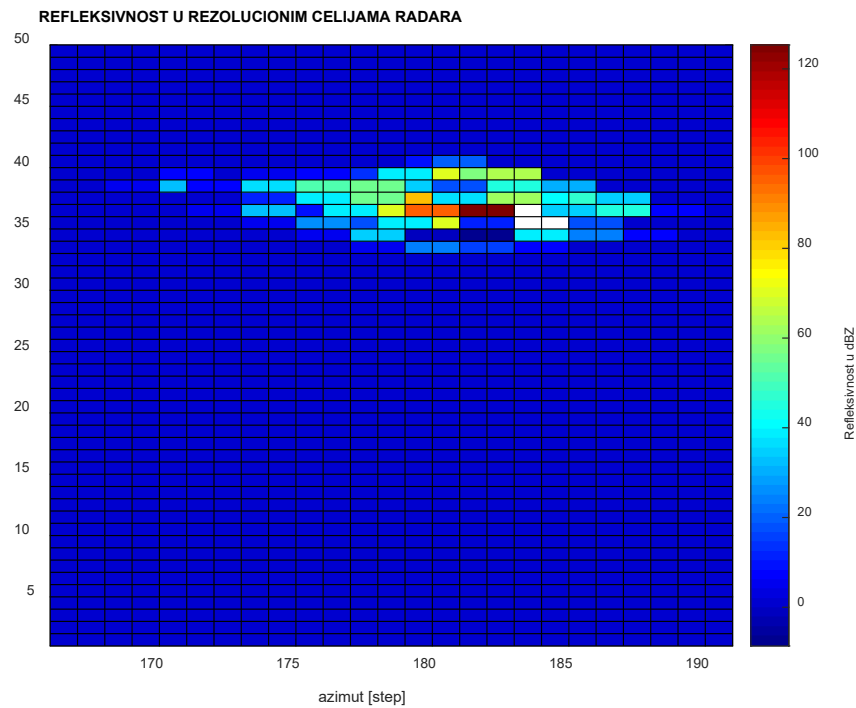
Slika 6.3-3 Raspodela vetrogeneratora u zapreminskoj matrici radara Na apscisu je azimutalni ugao pod kojim radar detektuje vetrogenerator a na ordinati je dat redni broj matrice ćelije kada je ona 250m



Slika 6.3-4 Intenziteti signala u radarskoj matrici (prikazuju se na ekranu radara) za prostorni raspored vetrogeneratora sa Slika 6.3-3. Pretpostavljeno je da je intenzitet reflektovanog signala u glavnom snopu radara 36.71 dBZ



Slika 6.3-5 Raspodela vetrogeneratora u zapreminskoj matrici radara Na apscisu je azimutalni ugao pod kojim radar detektuje vetrogenerator a na ordinati je dat redni broj matrice čelije kada je ona 500m



Slika 6.3-6 Intenziteti signala u radarskoj matrici (prikazuju se na ekranu radara) za prostorni raspored vetrogeneratora sa Slika 6.3-5. Pretpostavljeno je da je intenzitet reflektovanog signala u glavnom snopu radara 36,71 dBZ

6.3.1 Osnovni koncept ublažavanja efekta klatera – blokiranje snopa

Procenjuje se da je efekat blokiranja snopa radara u Samošu u slučaju vetroparka na lokaciji „BNS“ zanemarljiv. Analizom rasporeda vetrogeneratora u odnosu na radar vidljivo je da u rezolucionim ćelijama radara gde treba da budu instalirani stubovi se vetrogeneratorima ne postoji više od jednog stuba. Jedan stub u rezolucionoј ćeliji radara ne može da ostvari značajno, a slobodno možemo reći, ni minimalno blokiranje snopa. Zaključujemo da efekat blokiranja snopa radara vetroparkom „BNS“ na radar Samoš je toliko mali da ga ne treba uzeti u obzir. Osmatranje i merenje meteoroloških fenomena radarom Samoš u azimutalnim pravcima iza vetroparka biće korektno i tačno.

6.4 Osnovni koncept ublažavanja efekta klatera – prilagođavanje strategije skaniranja radarske antene

Prostor koji zauzima vetropark „BNS“ je mali u odnosu na celokupni prostor osmatranja radarom, samim tim i zona klatera koju stvara vetropark, i stoga smatramo da ne bi trebalo razvijati posebnu strategiju osmatranja prostora.

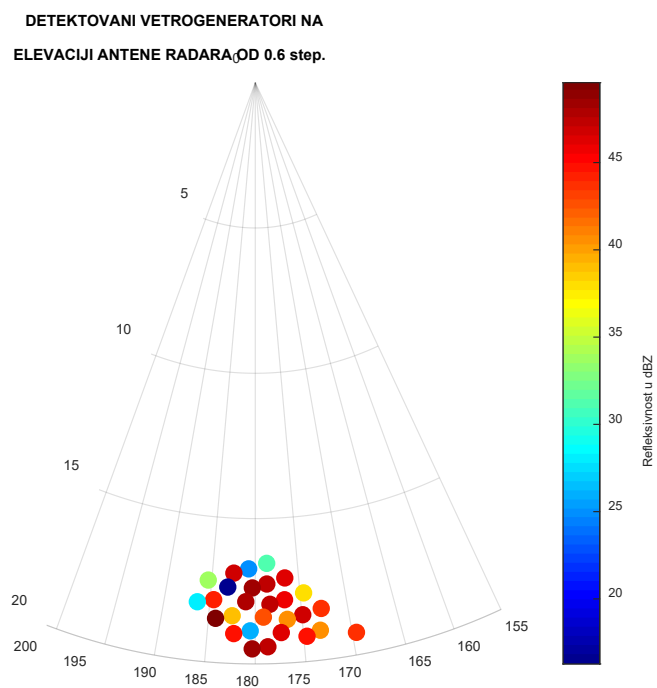
Za ublažavanje efekata klatera, sa stanovišta strategije skaniranja prostora, najvažniji su skanovi iz nekoliko najnižih elevacionih uglova. Prilikom pravljenja strategije skaniranja najniži uglovi treba da budu kompaktno pokriveni poštujući širinu dijagrama zračenja radarske antene.

Može se sa velikom dozom sigurnosti i tačnosti predvideti da će klater vetroparka da bude dominantan u najnižoj elevaciji koja je na elevacionom uglu jednakim polovini dijagrama zračenja antene i da će, s obzirom na blizinu vetroparka, da se pojavi u prvom, drugom i, eventualno, trećem bočnom lobu dijagrama zračenja antene. To znači da se klater vetroparka može naći u najviše tri elevacije, pri standardnoj refrakciji. Intenzitet klatera je najveći u najnižoj elevaciji i odgovara dobitku antene u glavnom lobu dok u svim višim elevacijama opada onoliko decibela za koliko su niži bočni lobovi antene. U svim ovim elevacijama kontaminirane su samo rezolucione ćelije radara u kojima su stubovi vetrogeneratora i po jedna susedna ćelija sa obe strane jer se smatra da doprinos klateru daju samo prvi bočni lobovi u azimutalnoj ravni. Očekivano je da

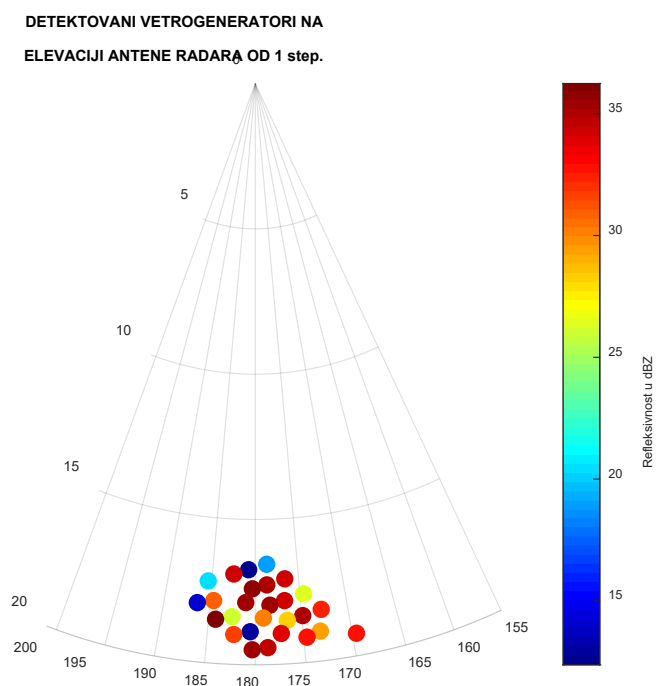
najveći intenzitet u ovakvoj supoziciji bude na najnižoj elevaciji dok na višim intenzitet iščezava i može se uzeti u obzir samo još iz jedne, eventualno dve elevacije. Međutim, izračunavanja za vetropark „BNS“ i meteorološki radar u Samošu pokazuju nešto, mada ne značajno, drugačiju situaciju. Napomenimo i to da je proračun uzeo u obzir potpuno provodne lopatice rotora kao najgori slučaj. U realnoj situaciji lopatice su napravljene od staklo plastike i imaju značajno manju reflektivnost od proračunate. Na Slika 6.4-1 su dati rezultati poračuna sa kolikom reflektivnošću radar detektuje svaki vetrogenerator ponaosob na najnižoj elevaciji radara u Samošu, od $0,6^{\circ}$. Opseg vrednosti je u intervalu od 16 do 49 dBZ-a, sa srednjom vrednošću 40.9 dBZ-a. Interesantno je to da vertogeneratori koji su na manjoj daljini imaju manju reflektivnost, iako se sa teoretskog stanovišta to ne očekuje. Naime, to se dogodilo zbog dobrotka antene radara, odn. njenog oblika dijagrama zračenja.

Iz istog razloga kao u prethodnom slučaju na Slika 6.4-2 koja se odnosi na elevaciju od 1° sasvim je drugačija raspodela reflektivnosti među vetrogeneratorima a i opseg vrednosti je uži, 12,3 do 36,2dBZ i srednjom vrednošću 29.54 dBZ-a.. Znači, radar u Samošu bi pri korišćenju ovakvog rasporeda elevacija imao nešto veći nivo signala na prvoj elevaciji.

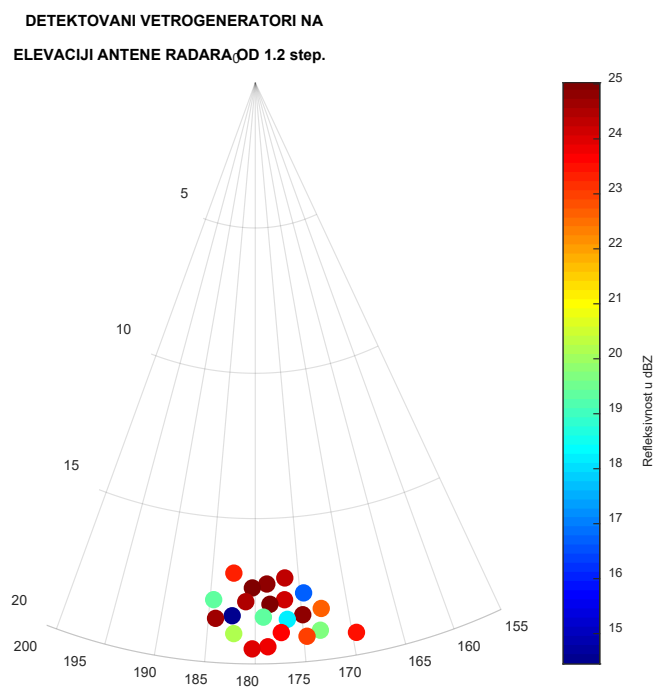
Na trećoj elevaciji od $1,2^{\circ}$ imamo opseg reflektivnosti vetrogeneratora od 14 do 25dBZ-a i srednjom vrednošću 22,19 dBZ-a, očekivane raspodele tako da su na manjim daljinama vetrogeneratori sa većim vrednostima, Slika 6.4-3. Na sledećoj elevaciji od $1,3^{\circ}$ je značajno smanjen broj detektovanih vetrogeneratora, takođe, i njihova reflektivnost, Slika 6.4-4. Na većim elevacijama od $1,3^{\circ}$ ni jedan vetrogenerator nije vidljiv radarom u Samošu. Reflektivnost je izuzetno mala i prilikom korišćenja radara u Samošu, a zbog smanjene refleksije od lopatica rotora (materijal staklo plastika), biće, po proceni, ispod 10dBZ, manje od minimalne vrednosti reflektivnosti meteoroloških fenomena.



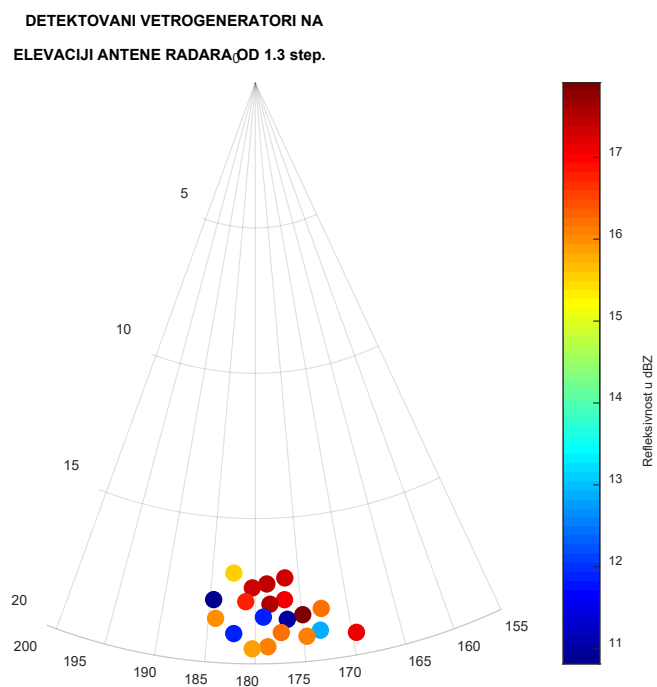
Slika 6.4-1 Radarska refleksivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 0.6°



Slika 6.4-2 Radarska refleksivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 1°



Slika 6.4-3 Radarska refleksivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 1.2°



Slika 6.4-4 Radarska refleksivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 1.3°

WT	dBZ za elevaciju 0.6 ⁰	dBZ za elevaciju 1.0 ⁰	dBZ za elevaciju 1.2 ⁰	dBZ za elevaciju 1.3 ⁰
T1	43.7885859684420	32.7747263829455	23.4525358710393	17.0733703298660
T2	43.4523980137121	32.2230420716477	22.7015166104597	16.1502306366301
T3	37.9699156210578	26.4241091286482	16.6036492442539	NaN
T4	46.0919534268818	34.3407730533309	24.3221799246396	17.3275908556628
T5	30.9245898452533	19.0247572428812	NaN	NaN
T6	24.6452539202094	12.3784959035870	NaN	NaN
T7	47.0256655366155	34.9930292605246	24.6973767425592	17.4464337615152
T8	45.8279793250276	34.0797585601378	24.0640444610940	17.0720834183173
T9	46.4748229526980	34.7939624476695	24.8435852739755	17.9110707426317
T10	40.7253599327553	29.2944088159243	19.5833222754035	12.8654084620143
T11	44.4481909909035	32.8297533834643	22.9396026670908	16.0615580817804
T12	40.2798050785930	28.3373903441520	18.1312620734642	10.9639082596466
T13	47.3001173123420	35.2126921729632	24.8623398698312	17.5599613439961
T14	48.2168699234357	35.7546862631060	25.0231982358206	17.3545543794413
T15	46.6898113226349	34.1281757827145	23.2934312934214	15.5231091262623
T16	16.2738884472363	NaN	NaN	NaN
T17	47.7978745612191	35.2857478726945	24.5025197930216	16.7830607570169
T18	42.3626044144479	30.0133446757370	19.3980096654752	11.8424746750736
T19	46.0995625962420	33.9683276409646	23.5740529323315	16.2301719735935
T20	47.1197467334471	34.6104296999940	23.8301184344952	16.1135312134328
T21	25.7283261543261	13.0572313354451	NaN	NaN
T22	38.8724687128754	25.8138674659920	14.4490695808552	NaN
T23	43.9305952560572	30.7544756335883	19.2607527188433	10.8151026197632
T24	33.6022763424026	20.5223792188961	NaN	NaN
T25	27.7366048870959	14.1897951455919	NaN	NaN
T26	49.5806198426858	36.2385987587211	24.5604242403385	15.9170621314502
T27	44.4310345209987	31.4193476133446	20.1056243729929	11.8491419441607
T28	48.1216750210788	35.2149056515184	24.0146051105255	15.8754656967016

Tabela 6.4-1 Vrednosti refleksivnosti vetrogeneratora po elevacijama skaniranja radara u Samošu (NaN nije detektovan)

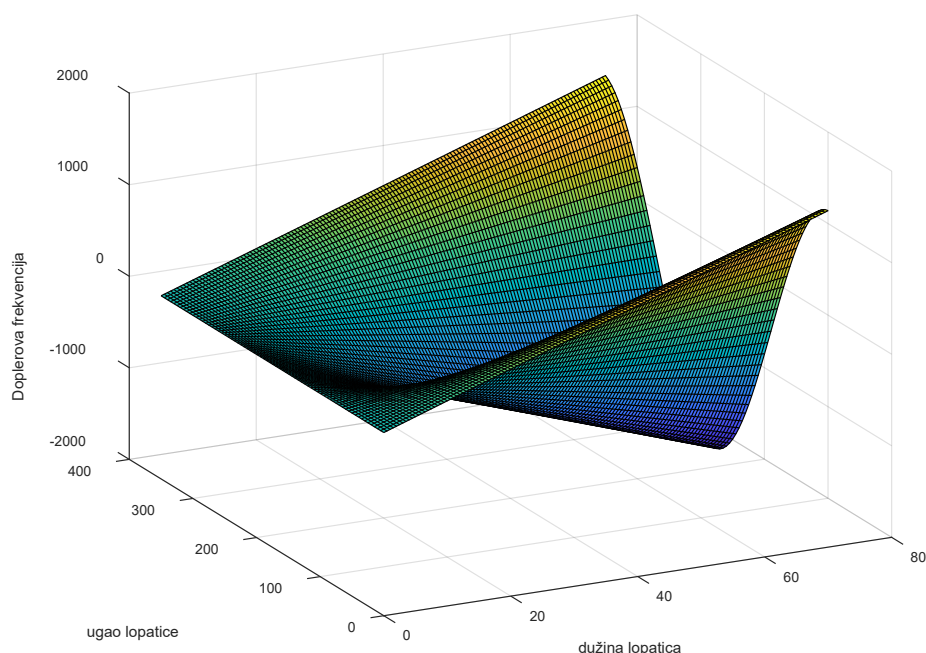
Proračunom refleksivnosti vetrogeneratora su dobijene tačne vrednosti u svakoj rezolucionalnoj ćeliji radara. Broj kontaminiranih rezolucionalnih ćelija je 28 (broj vetrogeneratora) plus 2 puta 28 (susedne ćelije kontaminirane klaterom iz bočnih lobova, znači 84, što u odnosu na 360000 matričnih ćelija koje predstavljaju jedan elevacioni skan radara predstavlja zanemarljiv broj. Iz tog razloga nije potrebno prilagođavati strategiju skaniranja radara za potrebe sprovođenja aktivnosti odbrane od grada i kratkoročne prognoze vremena, zašto se ovaj radar, uglavnom, koristi.

6.5 Osnovni koncept ublažavanja efekta klatera – Doplerovo filtriranje

Radar METEOR 400S instaliran u Samošu ima u procesoru signala ugrađenih petnaest digitalnih eliptičnih IIR filtera za uklanjanje klatera. Frekventni spektri signala reflektovanog od stacionarnog klatera ili stacionarnog klatera koji fluktuiraju i meteorološkog cilja, oblaka, su isti po obliku (Gausov oblik) i malo pomereni jedan u odnosu na drugi. Frekventni spektar stacionarnog klatera je oko nulte vrednosti i zbog

toga, da se ne bi izgubile frekventne komponente korisnog signala reflektovanog od oblaka, nepropusni opseg ugrađenih antiklatskih filtera treba da budu uzani. Iz tog razloga su nepropusni opsezi antiklatskih filtera u rasponu brzina od 0.1 do 4.5 m/sec, za prvi i petnaesti filter, respektivno. Primena antiklatskih filtera sa ovako malim nepropusnim opsezima može efikasno da odstrani stacionarni klater od zemlje, zgrada, itd. u slučaju vetroparka i refleksije od stubova i samih generatora. Međutim, zbog širokog frekventnog spektra koji proizvodi kretanje lopatica vetrogeneratora, nije moguće u potpunosti odstraniti ovaj dinamički klater ugrađenim antiklatskim filtrima, Slika 6.5-1. Dobar deo frekventnog spektra generisanim od lopatica koje se kreću ostaje u smeši korisnog signala i klatera.

I u ovom slučaju, većina koncepata za ublažavanje klatera je primenljiva kako bi se smanjilo pogrešno merenje brzine vetra. U literaturi postoji nekoliko predloga o implementaciji adaptibilnih filtera ali se ne daju algoritmi za njihovu realizaciju. Na žalost, to nije moguće uraditi na radaru u Samošu jer bi trebalo izmeniti softver koji radi obradu sirovog signala sinfazne i kvadraturene komponente. Taj deo softvera je nepoznat korisnicima radara jer je vlasništvo proizvođača. I pored ovih ograničenja treba primenjivati ugrađene antiklatske filtre koji, pri njihovom optimalnom izboru, u značajnoj meri uklanjaju klater od vetrogeneratora.



Slika 6.5-1 Promena Doplerove frekvencije u prijemnom signalu radara u Samošu u funkciji dužine lopatica i njihovog ugla pri okretanju punog kruga za vetrogeneratora SG 6.0-170

7 PREPORUKE ZA RAD OPERATERA U PROCESU RADARSKIH OSMATRANJA

Zona na radaru kontaminirana klaterom od vetro parka „BNS“ je male površine i predstavlja veoma mali procenat (oko 0.023%) zone koju osmatra radar u jednom, najnižem, skanu. S obzirom da se radar u Samošu koristi prvenstveno za poslove odbrane od grada, pa tek kasnije, sporadično, i kao pomoć u kratkoročnoj prognozi vremena, možemo reći na osnovu metodologije korišćenja radara u sprovođenju odbrane od grada da efekat koji proizvodi vetro park nema skoro nikakvog uticaja. I pored toga, za posebne potrebe, koje se očekuju vrlo retko, neophodno je da operateri na radaru u cilju ublažavanja efekata od vetro parka, preduzmu sledeće:

- *Operator na meteorološkom radaru u Samošu treba da dobro poznaje mapu klatera uključujući i zonu gde se nalazi vetro park „BNS“*
- *U periodima bez oblaka, u uslovima čiste atmosfere, treba da izmeri refleksivnost, brzinu vetra i širinu spektra koji generiše vetro park. Ova merenja treba da obavlja u dužem vremenskom periodu i da usrednjene vrednosti koristi u slučajevima kada je oblačnost iznad vetroparka.*
- *U cilju detekcije, treba da koristi karakteristike vetro parka u produktima koji mere brzinu vetra (brzina vetra je mala u velikim vetroparkovima zbog asinhronog kretanja lopatica) i širinu spektra (u prostoru vetroparka širina spektra signala je velika). Paralelnim i naizmeničnim korišćenjem ovih produkata može se izdvojiti meteorološki fenomen iznad vetro parka i prilično dobro meriti njegove karakteristike.*
- *Treba uočiti ponašanje refleksivnosti u vertikalnom preseku (produkt max), zbog refleksija kroz bočne lobove dijagrama zračenja antene i to koristiti u uslovima kada je oblačnost iznad vetro parka*
- *Obavezno treba da koristi ugrađene antiklatorske filtre. Eksperimentisanjem treba da dođe do zaključka koji filter, u zavisnosti od situacije, je najpogodniji za primenu*
- *U retkim slučajevima, ako je potrebno, treba promeniti strategiju skaniranja prostora, isključivanjem najniže elevacije iz zapreminskog skana.*
- *Koristiti osmatranje meteorološkog radara na Fruškoj Gori iznad lokacije vetro parka „BNS“ i upoređivanjem veličina refleksivnosti između dva radara donositi odluke.*

8 ZAKLJUČAK

Ova studija je nedvosmisleno pokazala da uticaj vetro parka „BNS“ na meteorološki radar postoji, međutim, on je mali i nema značajnog efekta na metodologiju sprovođenja odbrane od grada zašto se radar u Samošu prvenstveno koristi i na poslove kratkoročne prognoze vremena. Za posebne slučajeve kada je to neophodno, a takvi slučajevi se događaju vrlo retko, definisane su i metode i postupci operatera na radaru kako bi se ublažio i taj neznatni efekat klatera od vetro parka.

Izgradnjom vetroparka „BNS“ ispunjene su sve preporuke evropske asocijacije OPERA iz 2010. i dopunjene iz 2020. godine navedene u poglavlju 1.1 ove Studije: (1) planirano je da vetropark bude na većoj daljini od 10km u odnosu na radar u Samošu, (2) dimenzije vetroparka za refleksivnosti veće od 20 dBZ su manje od 10 km i (3) svi vetrogeneratori vetroparka imaju refleksivnost manju od 46 dBZ tako da se ne primenjuju preporuke koje se odnose na površine vetroparka.

Možemo zaključiti:

Republički hidrometeorološki zavod Srbije može dati saglasnost za izgradnju vetro parka na lokaciji Banat, jer isti neće imati uticaja na rad radara u svim oblastima njegove namene.

9 Literatura

- [1] L. Hidde, OPERA-4: Guidelines on the coexistence of weather radars and wind turbines, 2020.
- [2] a. a. Gallardo-Hernando B., Wind Turbine Clutter Detection in Scanning Weather Radar Tasks, ERAD, 2010..
- [3] H. G. Norin L., Doppler Weather Radars and Wind Turbines, Swedish Meteorological and Hydrological Institut, Sweden.
- [4] R. Ohs, Modeling the Effects of Wind Turbines on Radar Return, Remcom Inc..
- [5] Gematronik, METEOR 400S Technical Documentation, 2000.

- [6] I. Angulo, Estimating reflectivity values from wind turbines for analyzing the potential impact on weather radar services, Atmos. Meas. Tech, 2015.

10 Spisak slika

Slika 1.1-1 Primer distribucije klatera pre i posle postavljanja vetroparka. Puna vertikalna linija pokazuje medijanu vrednosti.....	10
Slika 1.1-2 Primer koji pokazuje klatere vetrogeneratora koji su na 13 km od meteorološkog radara. (a) klater koji potiče od pet vetrogeneratora (zvezdice), u jednoj radarskoj ćeliji su tri vetrogeneratora a dva u dve odvojene ćelije (b) i (c) raspodela klatera u ćelijama	11
Slika 1.1-3 Primer klatera dva polja vetrogeneratora u zoni osmatranja meteorološkog radara	11
Slika 1.2-1 Primer uticaja vetro parka na merenje brzine.....	13
Slika 1.2-2 Primer uticaja vetro parka na merenje širine spektra signala.....	14
Slika 1.3-1 Uticaj blokiranja vetro parka (žuta elipsa). Primer pokazuje da vetro park na rastojanju 40 km od radara prouzrokuje na daljini od 60 do 70 km blokadu.	15
Slika 2.3-1 Izgled i dimenzije vetrogeneratora SG 6.0-170 za polje vetrogeneratora na lokaciji "BNS"	19
Slika 3.1-1 Geografske pozicije vetrogeneratora sa rednim brojevima (referenca je Tabela)	23
Slika 3.1-2 Geografska pozicija polja vetrogeneratora u odnosu na meteorološki radar u Samošu.....	24
Slika 3.1-3 Geografska lokacija pojedinačnih vetrogeneratora na polju "BNS" u odnosu na meteorološki radar METEOR 400S u Samošu	25
Slika 4.1-1 Sferni koordinatni sistem za proračun ERP-a. R predstavlja lokaciju radara.....	26
Slika 4.1-2 Uticaj položaja lopatica rotora vetrogeneratora na ERP.....	27
Slika 4.1-3 Zavisnost ERP od ugla rotora vetrogeneratora	28
Slika 4.1-4 ERP dobijen simulacijom vetroturbine SG 6.0-170 (stub u glavnom snopu radara).....	29

Slika 4.1-5 ERP dobijen simulacijom vetroturbine SG 6.0-170 (veći opseg elevacionih uglova).....	30
Slika 4.1-6 Radijalna brzina lopatica rotora vetrogeneratora SG 6.0-170 u odnosu na radar u Samošu.....	32
Slika 6.3-1 Izgled vertikalnog preseka terena na liniji meteorološki radar Fruška Gora i sredina lokacije na kojoj je postavljen vetro park "BNS"	37
Slika 6.3-2 Prostorna raspodela vetrogeneratora na lokaciji "BNS" u odnosu na meteorološki radar u Samošu. Na apscisu je azimutalni ugao pod kojim radar detektuje vetrogenerator a na ordinati je dato rastojanje od radara	41
Slika 6.3-3 Raspodela vetrogeneratora u zapreminskoj matrici radara Na apscisu je azimutalni ugao pod kojim radar detektuje vetrogenerator a na ordinati je dat redni broj matrice ćelije kada je ona 250m	41
Slika 6.3-4 Intenziteti signala u radarskoj matrici (prikazuju se na ekranu radara) za prostorni raspored vetrogeneratora sa Slika 6.3-3. Pretpostavljeno je da je intenzitet reflektovanog signala u glavnom snopu radara 36.71 dBZ	42
Slika 6.3-5 Raspodela vetrogeneratora u zapreminskoj matrici radara Na apscisu je azimutalni ugao pod kojim radar detektuje vetrogenerator a na ordinati je dat redni broj matrice ćelije kada je ona 500m	42
Slika 6.3-6 Intenziteti signala u radarskoj matrici (prikazuju se na ekranu radara) za prostorni raspored vetrogeneratora sa Slika 6.3-5. Pretpostavljeno je da je intenzitet reflektovanog signala u glavnom snopu radara 36,71 dBZ	43
Slika 6.4-1 Radarska refleksivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 0.6°	46
Slika 6.4-2 Radarska refleksivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 1°	46
Slika 6.4-3 Radarska refleksivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 1.2°	47
Slika 6.4-4 Radarska refleksivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 1.3°	47
Slika 6.5-1 Promena Doplerove frekvencije u prijemnom signalu radara u Samošu u funkciji dužine lopatica i njihovog ugla pri okretanju punog kruga za vetrogeneratora SG 6.0-170	49

11 Spisak tabela

Tabela 1.1-1 Preporuka Svetske meteorološke organizacije za instalaciju polja vetrogeneratora u zoni osmatranja meteorološkog radara	8
Tabela 1.1-2 Preporuka OPERA grupe o kohabitaciji meteoroloških radara i vetrogeneratora	8
Tabela 2.3-1 Radarske karakteristike predloženih vetroturbina	18
Tabela 3.1-1 Geografske koordinate vetrogeneratora u vetro parku na lokaciji "BNS"	22
Tabela 6.3-1 Procentualna radarska vidljivost sa meteorološkog radara u Samošu svakog od vetrogeneratora na lokaciji "BNS" sa posebnim osvrtom na vidljivost rotorskih lopatica kao dela vetrogeneratora sa najvećim doprinosom klateru	40
Tabela 6.4-1 Vrednosti refleksivnosti vetrogeneratora po elevacijama skaniranja radara u Samošu (NaN nije detektovan)	48