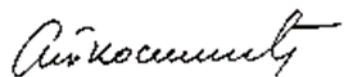


# UTICAJ POLJA VETROGENERATORA NA OSMATRANJE METEOROLOŠKIM RADARIMA

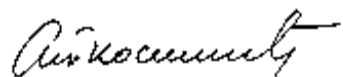
## STUDIJA SLUČAJA

*Uticaj polja vetrogeneratora RAŽANJ 3 na  
osmatranje meteorološkim radarom Mitsubishi RC34A  
RHMZ-a Republike Srbije*

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



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



Datum: 17.11.2024.god

## SADRŽAJ:

<b>1</b>	<b>UTCAJ POLJA VETROGENERATORA NA OSMATRANJE METEOROLOŠKIM RADARIMA .....</b>	<b>7</b>
1.1	Klateri.....	7
1.2	Doplerov pomak .....	13
1.3	Blokiranje snopa .....	15
<b>2</b>	<b>KARAKTERISTIKE METEOROLOŠKIH RADARA U OKRUŽENJU VETROPARKA I VETROGENERATORA .....</b>	<b>16</b>
2.1	METEOROLOŠKI RADAR MITSUBISHI RC34A [4] .....	16
2.1.1	Karakteristike radarske antene .....	17
2.1.2	Karakteristike predajnika .....	17
2.1.3	Karakteristike prijemnika i obrade signala.....	17
2.2	Tehnički podaci za vetrogenerator .....	18
<b>3</b>	<b>POLJE VETROGENERATORA NA LOKACIJI RAŽANJ 3 .....</b>	<b>20</b>
3.1	Geografski raspored vetrgeneratora.....	20
	Analiza radarskog horizonta i vidljivosti vetrogeneratora .....	20
<b>4</b>	<b>ANALIZA UTICAJA VETROGENERATORA NA RAD METEOROLOŠKIH RADARA26</b>	
4.1	Simulacioni model vetrogeneratora .....	26
4.1.1	Refleksija elektromagnetnog zračenja radara od stuba vetrogeneratora .....	31
4.1.2	Refleksija elektromagnetnog zračenja radara od lopatica vetrogeneratora .....	32
4.1.3	Reflaktivnost vetrogeneratora na lokaciji RAŽANJ 3 u odnosu na meteorološke radare.....	33
<b>5</b>	<b>NAČINI UBLAŽAVANJA UTICAJA POLJA VETROGENERATORA NA METEOROLOŠKI RADAR MITSUBISHI RC34A .....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>POLJE VETROGENERATORA NA LOKACIJI RAŽANJ 3 I NJEGOV UTICAJ NA RADAR MITSUBISHI RC34A.....</b>	<b>36</b>

6.1	Antenski sistemi radara MITSUBISHI RC34A .....	37
6.2	Režim radnih performansi radara MITSUBISHI RC34A.....	38
7	PREPORUKE ZA RAD U PROCESU RADARSKIH OSMATRANJA.....	51
8	ZAKLJUČAK.....	53
9	LITERATURA.....	54
10	SPISAK SLIKA.....	54
11	SPISAK TABELA .....	56
12	PRILOG.....	58

# UTICAJ POLJA VETROGENERATORA NA OSMATRANJE METEOROLOŠKIM RADARIMA

## UVOD

Privredno društvo **WPP EAST WIND TWO DOO BEOGRAD-ZVEZDARA** namerava da na lokaciji katastarske opštine Ražanj postavi vetropark koji bi se sastojao od 50 vetrogeneratora (u daljem tekstu Vetropark RAŽANJ 3).

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 250m 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 reflektivnost 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 meteorološke radare i da posebno obradi slučaj vetro parka RAŽANJ 3 i radara MITSUBISHI RC34A u Kruševcu. 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 teoretski osnovi mehanizama stvaranja i efekti klatera na rad radara u vremenskom domenu, tzv. reflektivnost 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 posluže kao osnova za dalju analizu uticaja vetro parka RAŽANJ 3 na meteorološke radare RHMZ-a koji se nalaze u njegovom okruženju.

Druga glava sadrži tehničke karakteristike radara MITSUBISHI RC34A 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 RAŽANJ 3.

Planirani raspored vetrogeneratora u okviru vetroparka RAŽANJ 3 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 RAŽANJ 3 kako ga "vidi" radar u Kruševcu.

# 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

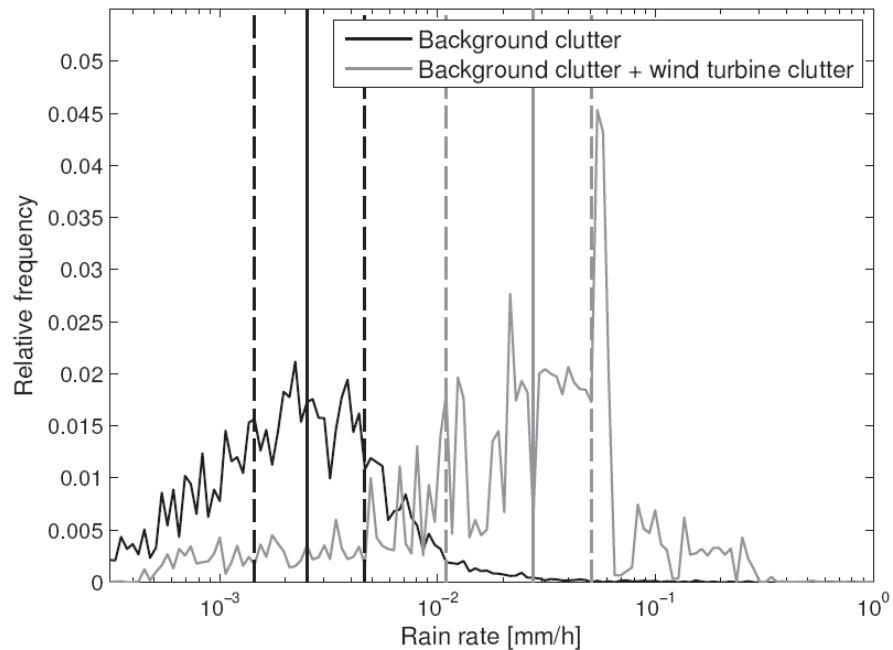
Najnovija preporuka evropske asocijacije OPERA o uslovima koje treba da ispuni projekat vetroparka postavljenog u blizini radara, izdata je 2020.godine i obuhvata sledeće, [1] :

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 km<sup>2</sup>.

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 RAŽANJ 3 i meteorološkog radara Samoš.

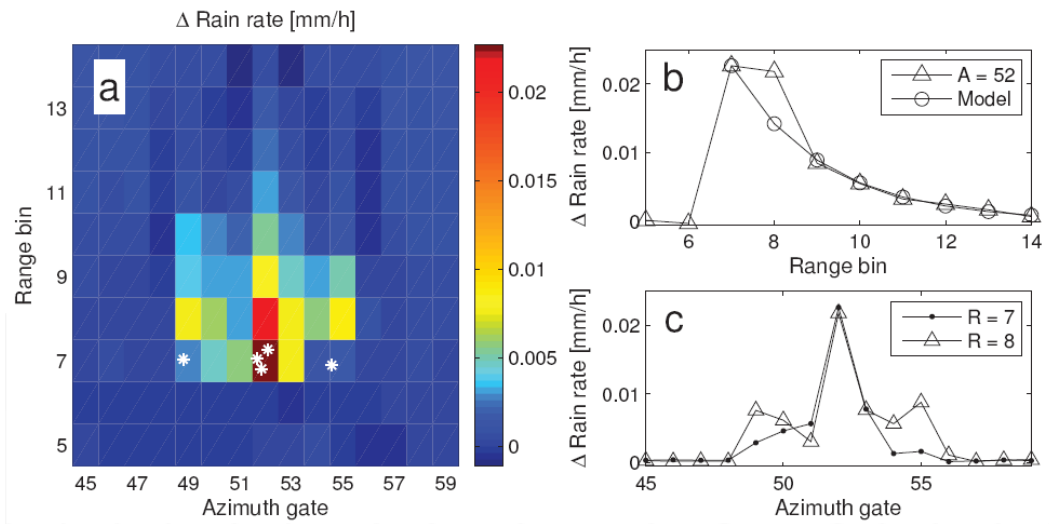
Slika 1.1-1 prikazuje distribuciju klatera pre i posle postavljanja tri vetrogeneratora u jednoj radarskoj rezolucioj ćeliji koja je udaljena 13 km od radara. Sa slike je vidljivo da su dve distribucije klatera jasno razdvojene, da imaju vrlo slične oblike ali sa vrlo velikom razlikom medijana. Evidentno 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.

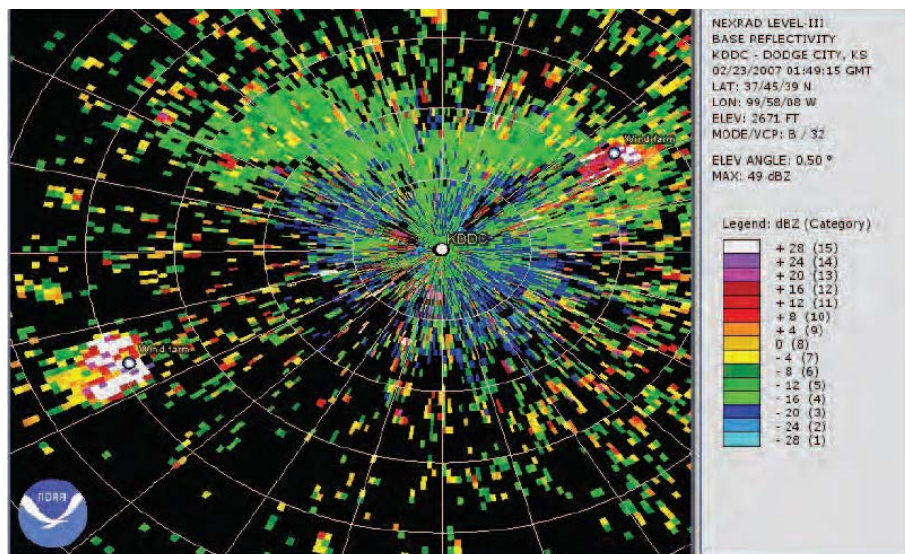
Pri analizi klatera koji stvaraju vetrogeneratori treba uzeti u obzir i klater koji stvaraju vetrogeneratori u rezolucionim ćelijama radara u kojima oni, vetrogeneratori, nisu postavljeni. Naime, vetrogeneratori u jednoj rezolucionoj ćeliji radara stvaraju klater u susednim ćelijama u tangencijalnom 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 naučnoj 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 reflektivnosti 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

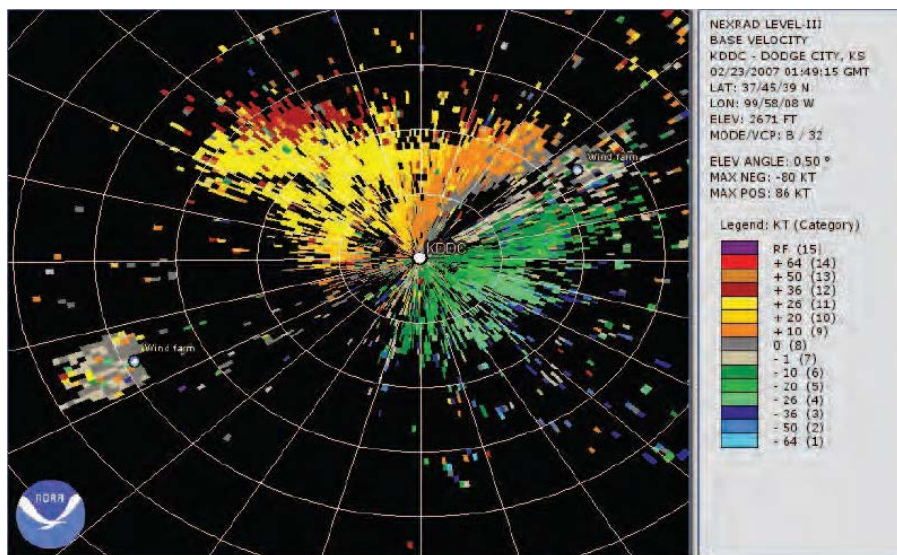
Reflektovani radarski signal od pokretnog objekta nosi informaciju o njegovoj radijalnoj komponenti brzine sadržanu u pomaku noseće frekvencije radara u frekventnom spektru za iznos Doplerove frekvencije. Savremeni meteorološki radari imaju ugrađene, konvencionalne, antiklaterske filtre koji ne propuštaju (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 najjače 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 rezolucioni 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

vetrogeneratora na različitim pozicijama u vetroparku su široko distribuirani u frekventnom domenu tako da je procena usrednjene brzine često blizu nule. Ova činjenica se može iskoristiti u operativnom radu. Naime, operater može da, na osnovu činjenice da u polju brzina ima zonu sa nultom brzinom, prepozna vetropark.

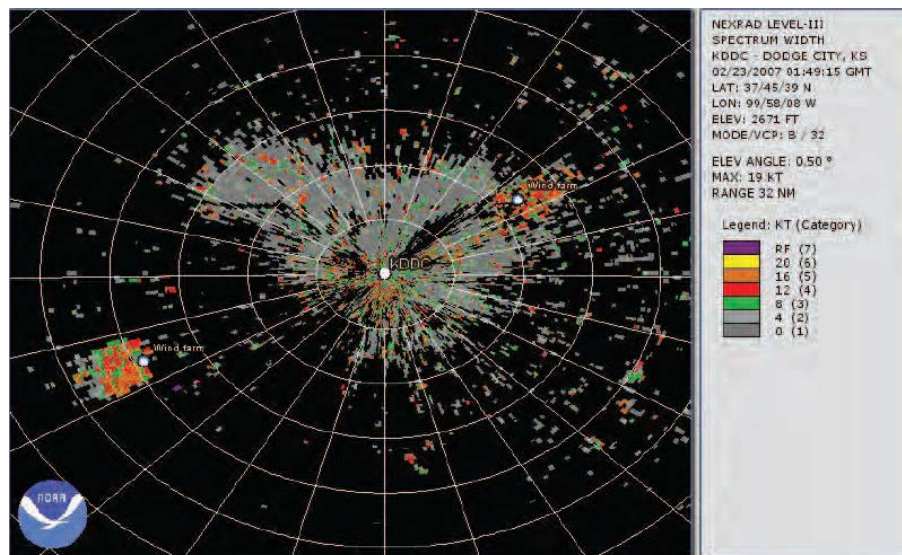
Napomenimo da kao i kod klatera i u procesu merenja brzine vetra postoji rep pogrešnog merenja brzina iza vetrogeneratora.



Slika 1.2-1 Primer uticaja vetro parka na merenje brzine

Na Slika 1.2-2 je pokazana širina spektra merenja brzine vetra i na osnovu toga jasno je da postoji značajno proširenje frekventnog spektra na mestu gde je vetro park. Ova činjenica u kombinaciji sa prethodnom može poslužiti u operativnom radu kako bi se ublažili efekti refleksija od vetroparka.

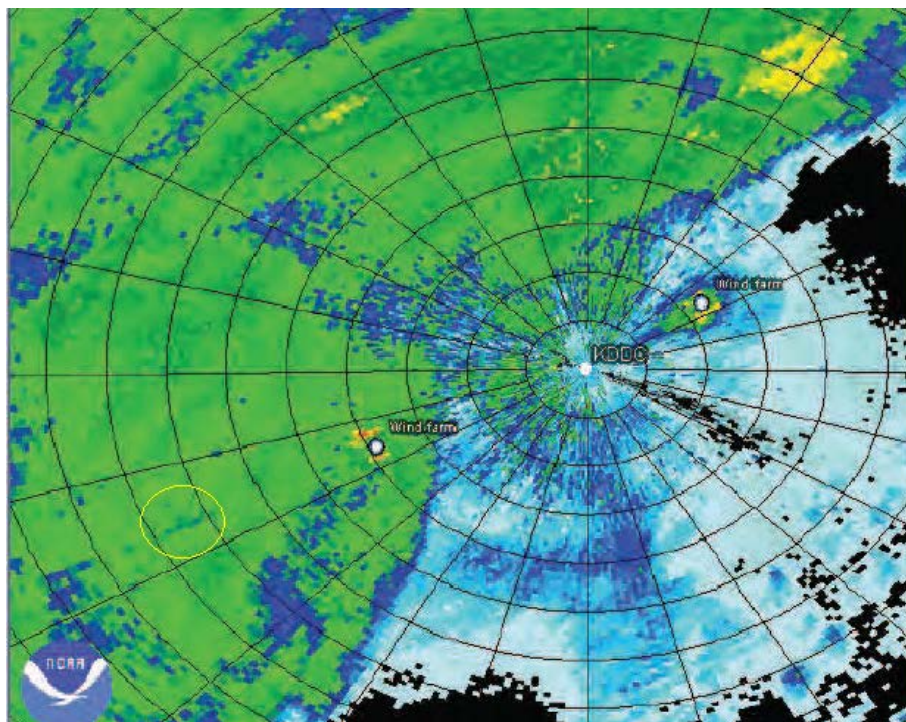
Svi koncepti koji se koriste u ublažavanju efekata klatera validni su i u slučaju Doplera i širine spektra tj. u slučaju pogrešnog merenja brzine vetra. U svrhu otklanjanja klatera od lopatica turbine vetrogeneratora, u literaturi se preporučuje primena adaptibilnog filtra koji može da pomogne u ublažavanju 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 vtro 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 reflektivnost nije uvek vidljivo blokiranje koje stvara vetro park. Ovo je delom zbog klaterskog repa ali i zbog toga što reflektivnosti 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 klaterskog repa i prostorne varijacije refleksije od padavina.

## 2 KARAKTERISTIKE METEOROLOŠKIH RADARA U OKRUŽENJU VETROPARKA I VETROGENERATORA

### 2.1 METEOROLOŠKI RADAR MITSUBISHI RC34A [4]

Radar pripada grupi klasičnih nekoherentnih radara bez mogućnosti stvaranja savremenih meteoroloških produkata. Jedina vrsta merenja prijemnog signala je

atenuaciona metoda koja ne daje reflektivnost u dBZ-ovima, količinu padavina u mm/h niti bilo koji produkt zasnovan na Doplerovoj obradi signala.

Napomenimo da je radar Mitsubishi RC34A osavremenjen sistemom HASIS, [5], koji zahvaljujući posebno razvijenim algoritmima omogućava da snaga reflektovanog signala radara od zapreminskog cilja (oblačne strukture) bude izražena u dBZ-ovima.

### 2.1.1 Karakteristike radarske antene

Predajna frekvencija radara: 2.7 – 2.9 GHz

Polarizacija: linearna horizontalna

Širina snopa na -3 dB:  $2.0^0$  max. bez radoma

Dobitak antene: 37.0 dB max

Prvi bočni lobovi antene u azimutalnoj i

elevacionoj ravni: -25 dB max.

Prečnik: 3.8 m (dijagram zračenja antene je dat na Slika 6.1-1)

### 2.1.2 Karakteristike predajnika

Frekventni opseg: 2700 do 2900 MHz

Impulsna snaga: 250 kW (nominalana snaga po fabričkim podacima je 400 kW, međutim posle modifikacije radara snaga je 250kW)

Trajanje impulsa, širina na 3 dB: 2  $\mu$ s

Frekvencija ponavljanja impulsa,

za impuls od 2  $\mu$ s: 250 Hz

### 2.1.3 Karakteristike prijemnika i obrade signala

Radna frekvencija: u zavisnosti od tipa mafnetrona u opsegu 2700 - 2900 MHz

Faktor šuma prijemnika:  $\leq 2.0$  dB

Minimalni detektabilni signal

za impuls od 2  $\mu$ s: -105 dBm

Efektivni dinamički opseg: 90 dB trenutni

Minimalna rezoluciona ćelija daljine: 300 m

Dužina impulsa u prostoru: 600m

Gubici u prijemniku: -4.6dB

## 2.2 Tehnički podaci za vetrogenerator

Privredno društvo **WPP EAST WIND TWO DOO BEOGRAD-ZVEZDARA** u pripremi za izgradnju vetroparka na lokaciji RAŽANJ 3 je odlučilo da instalira vetroturbinu datih karakteristika u Tabela 2.2-1. Za potrebe ove Studije izvršeni su proračuni uticaja svih vetroturbina u vetroparku na rad meteorološkog radara Mitsubishi RC34A, Kruševac sa sledećim rezultatom:

1. Visina stuba i dužine lopatica, elementi koji utiču na prijemni signal radara, su vrlo slični i variraju u malim granicama u odnosu na većinu vetrogeneratora koji se danas koriste.

2. Efektivna refleksna površina (ERP) stuba vetrogeneratora ima vrednost 64,42 dBm<sup>2</sup>. ERP stuba u radaru Mitsubishi RC34A ima značajan doprinos reflektivnosti jer radar nema mogućnost brisanja stalnih odraza.

3. Doprinos radarskoj reflektivnosti daje, kao što je u Studiji objašnjeno, i ERP lopatica. Ova karakteristika za razmatrani vetrogenerator ima vrednost 56 dBm<sup>2</sup>.

4. Na osnovu konstatovanih činjenica lako se zaključuje da model pokazuje da za razmatrani vetrogenerator radarska reflektivnost ima srednju vrednost 26.1751 dBZ.

5. Za potrebe Studije uzet je vetrogenerator V 162 - 6.2 MW - 149HH , [7].

TIP VETROTURBINA	Visina stuba [m]	Dužina lopatica [m]	Maks. širina lopatica [m]	ERP stuba [dBm <sup>2</sup> ]	ERP lopatica [dBm <sup>2</sup> ]	Radarska reflektivnost [dBZ]
V 162 - 6.2 MW - 149HH	149	79.35	4.3	64.42	56	26.1751
Srednja vrednost				64.42	56	26.1751

Tabela 2.2-1 Radarske karakteristike predloženih vetroturbina

### **Tehnički podaci za VESTAS V 162 - 6.2 MW - 149HH**

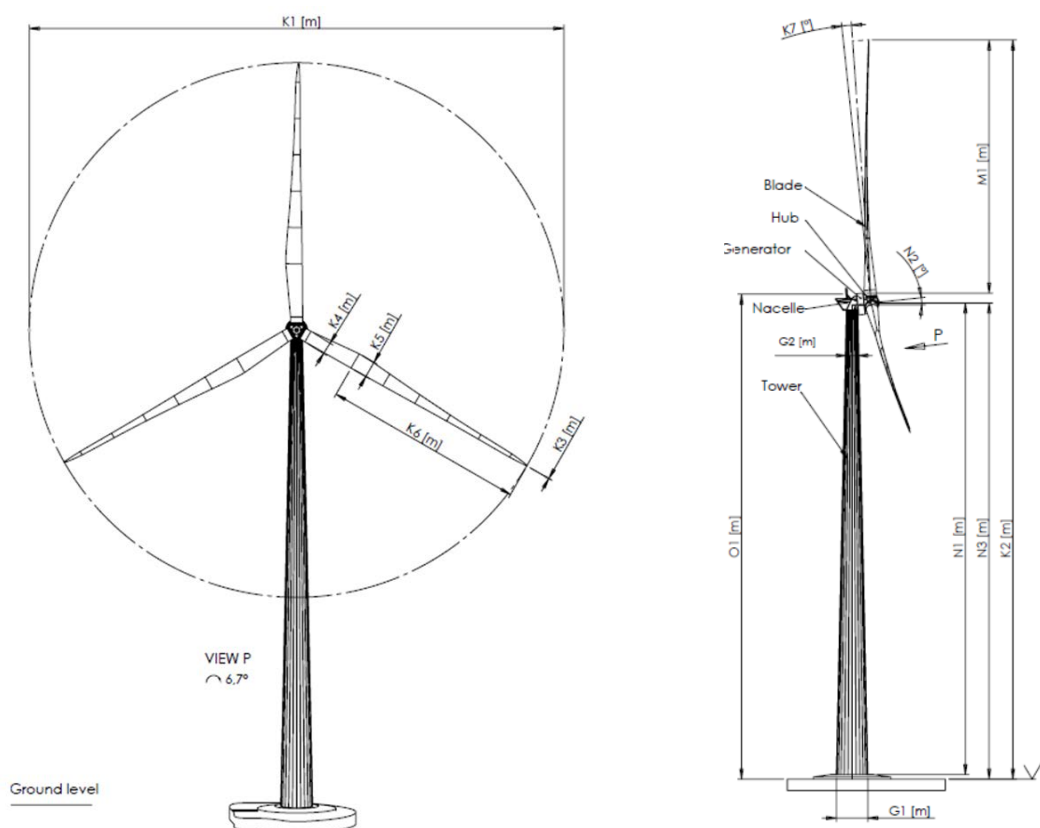
Prečnik osnove stuba: 5.75 m

Prečnik vrha stuba: 3.5m

Prečnik rotora: 170 m

Dužina lopatica: 79.35m

Ukupna visina: 228.35 m  
 Širina vrha lopatice: 0,2m  
 Širina korena lopatice: 3,2m  
 Maksimalna širina lopatice: 4,3m  
 Ugao konusa: 2°  
 Broj lopatica : 3  
 Površina prebrisavanja lopatica: 20612 m<sup>2</sup>  
 Nominalna brzina rotora: 10,0 obrtaja\*min<sup>-1</sup>  
 Smer rotacije: u pravcu kazaljke na satu  
 Brzina vrha lopatice pri nominalnoj brzini rotora: 79 m/sec  
 Visina stuba na kome je generator: 149 m



Slika 2.2-1 Izgled i dimenzije vetrogeneratora **V 162 - 6.2 MW - 149HH** za polje  
 vetrogeneratora na lokaciji RAŽANJ 3

### 3 POLJE VETROGENERATORA NA LOKACIJI RAŽANJ 3

#### 3.1 Geografski raspored vetrгенератора

Privredno društvo **WPP EAST WIND TWO DOO BEOGRAD-ZVEZDARA** namerava da na lokaciji katastarske opštine Ražanj, postavi vetro park koji bi se sastojao od 50 vetrogeneratora tipa **VESTAS V 162 - 6.2 MW - 149HH**. Vetrogeneratori su instalirani na stubovima visine 149 m i sa lopaticama koje čine rotor prečnika 170m (jedna lopatica je dužine 83,3m). 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 meteorološkim radarima na Jastrepcu i Kruševcu 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,**

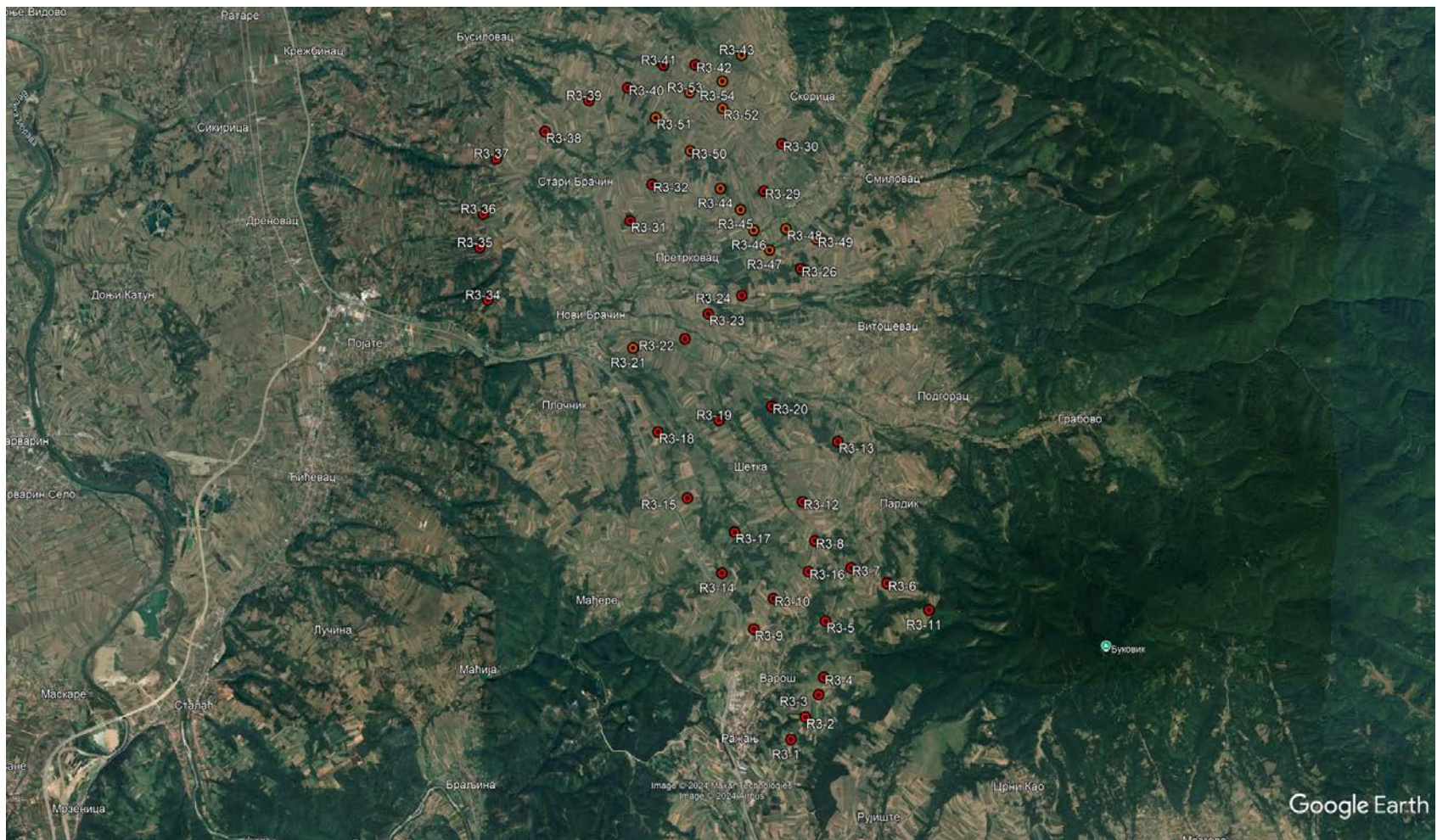
Tabela 6.2-1 za radar MITSUBISHI RC34A pokazuje da je deo vetrogeneratora potpuno ili delimično iznad radarskog horizonta i vidljivi, osim nekoliko njih. U odnosu na radar MITSUBISHI RC34A, vetro park se nalazi na daljinama od 23.49 km do 30.93 km, u azimutalnim pravcima od 47.57° do 77.13°, Slika 6.2-2.

Redni broj	Broj turbine	UTM koordinate WGS 84-zona 34T		WGS84 decimalni stepeni	
		X(east)	Y(north)	$\phi$ (north)	$\lambda$ (east)
1	<b>T1</b>	545265	4835744	43°40'23.97"	21°33'41.44"
2	<b>T2</b>	545541	4836195	43°40'38.53"	21°33'53.90"
3	<b>T3</b>	545794	4836646	43°40'53.09"	21°34'5.34"
4	<b>T4</b>	545890	4836992	43°41'4.28"	21°34'9.73"
5	<b>T5</b>	545895	4838107	43°41'40.42"	21°34'10.30"
6	<b>T6</b>	547096	4838897	43°42'5.76"	21°35'4.20"
7	<b>T7</b>	546372	4839180	43°42'15.10"	21°34'31.94"
8	<b>T8</b>	545643	4839695	43°42'31.95"	21°33'59.53"
9	<b>T9</b>	544473	4837914	43°41'34.48"	21°33'6.72"
10	<b>T10</b>	544849	4838527	43°41'54.27"	21°33'23.70"
11	<b>T11</b>	547931	4838395	43°41'49.29"	21°35'41.34"
12	<b>T12</b>	545380	4840459	43°42'56.77"	21°33'48.01"
13	<b>T13</b>	546054	4841673	43°43'35.97"	21°34'18.50"
14	<b>T14</b>	543809	4839005	43°42'9.98"	21°32'37.38"
15	<b>T15</b>	543081	4840472	43°42'57.69"	21°32'5.27"
16	<b>T16</b>	545529	4839082	43°42'12.11"	21°33'54.25"

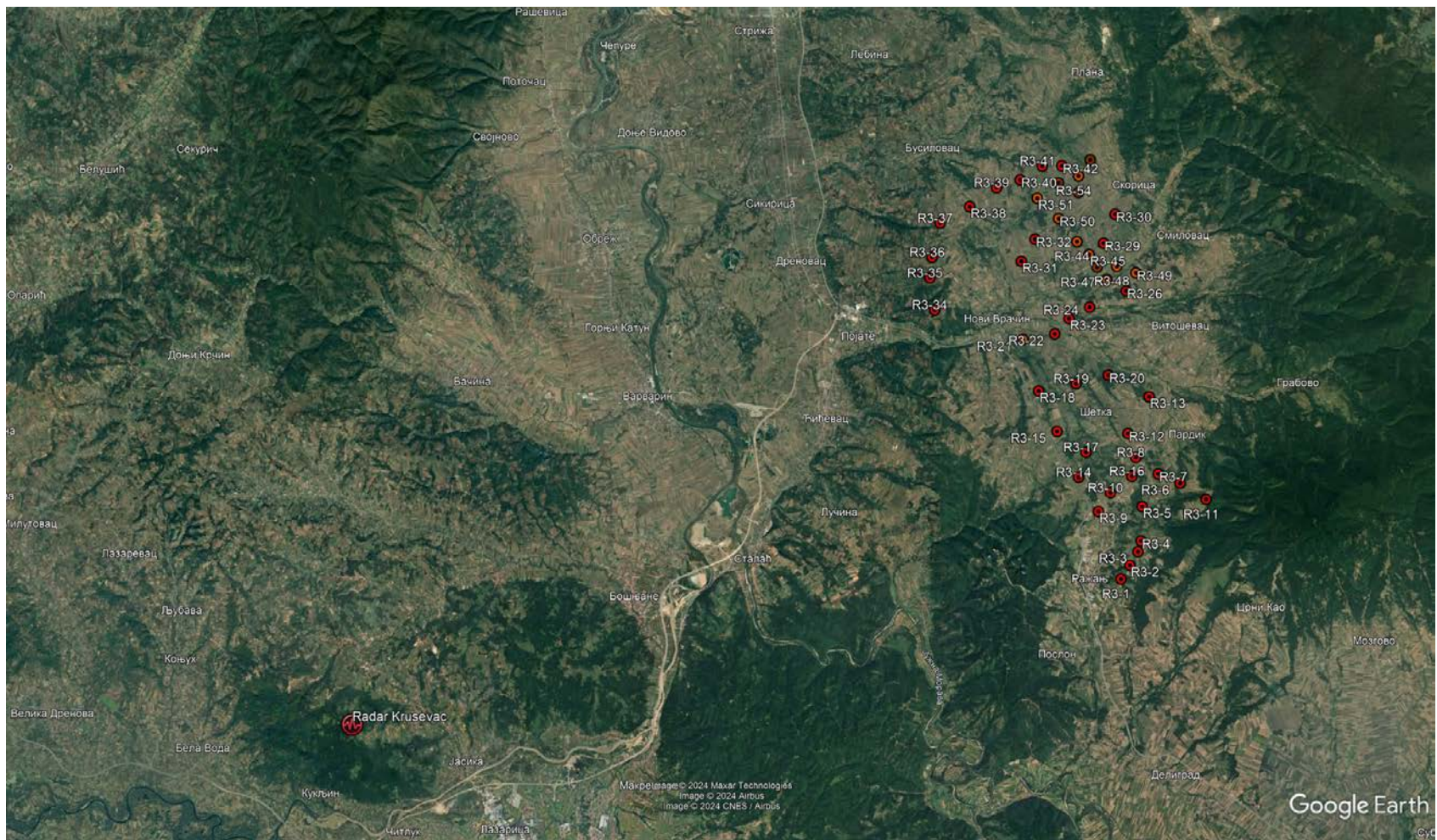
17	<b>T17</b>	544041	4839821	43°42'36.38"	21°32'47.98"
18	<b>T18</b>	542459	4841771	43°43'39.92"	21°31'37.85"
19	<b>T19</b>	543671	4842038	43°43'48.32"	21°32'32.10"
20	<b>T20</b>	544718	4842339	43°43'57.85"	21°33'18.99"
21	<b>T21</b>	545747	4842669	43°44'33.97"	21°31'13.96"
22	<b>T22</b>	542949	4843642	43°44'40.46"	21°32'0.29"
23	<b>T23</b>	543404	4844153	43°44'56.93"	21°32'20.78"
24	<b>T24</b>	544065	4844537	43°45'9.24"	21°32'50.45"
25	<b>T26</b>	545227)	4845092	43°45'26.97"	21°33'42.57"
26	<b>T29</b>	544453	4846622	43°46'16.73"	21°33'8.42"
27	<b>T30</b>	544788	4847562	43°46'47.13"	21°33'23.68"
28	<b>T31</b>	541792	4845967	43°45'56.06"	21°31'9.21"
29	<b>T32</b>	542216	4846700	43°46'19.73"	21°31'28.38"
30	<b>T34</b>	538995	4844311	43°45'2.93"	21°29'3.68"
31	<b>T35</b>	538813	4845348	43°45'36.58"	21°28'55.81"
32	<b>T36</b>	538865	4846016	43°45'58.22"	21°28'58.31"
33	<b>T37</b>	539096	4847126	43°46'34.16"	21°29'8.94"
34	<b>T38</b>	540052	4847690	43°46'52.25"	21°29'51.85"
35	<b>T39</b>	540910	4848330	43°47'12.83"	21°30'30.41"
36	<b>T40</b>	541679	4848607	43°47'21.65"	21°31'4.90"
37	<b>T41</b>	542383	4849071	43°47'36.55"	21°31'36.53"

38	<b>T42</b>	543017	4849092	43°47'37.10"	21°32'4.90"
39	<b>T43</b>	543937	4849311	43°47'43.95"	21°32'46.14"
40	<b>T44</b>	543577	4846649	43°46'17.81"	21°32'29.48"
41	<b>T45</b>	543996	4846247	43°46'4.71"	21°32'47.82"
42	<b>T46</b>	544272	4845845	43°45'51.58"	21°33'0.11"
43	<b>T47</b>	544596	4845460	43°45'39.02"	21°33'14.49"
44	<b>T48</b>	544914	4845889	43°45'52.84"	21°33'28.87"
45	<b>T49</b>	545335	4845691	43°45'46.31"	21°33'56.56"
46	<b>T50</b>	542965	4847383	43°46'41.72"	21°32'2.07"
47	<b>T51</b>	542252	4848029	43°47'2.80"	21°31'30.36"
48	<b>T52</b>	543583	4848243	43°47'9.45"	21°32'29.99"
49	<b>T53</b>	542923	4848541	43°47'19.26"	21°32'0.54"
50	<b>T54</b>	543567	4848774	43°47'26.64"	21°32'29.40"

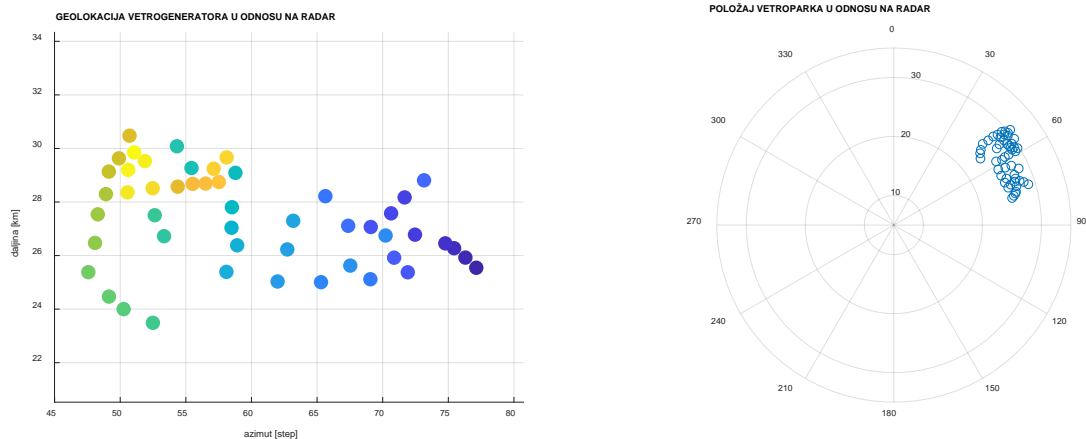
Tabela 3.1-1 Geografske koordinate vetrogeneratora u vetro parku na lokaciji RAŽANJ 3



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



Slika 3.1-2 Geografska pozicija polja vetrogeneratora u odnosu na meteorološki radar na Jastrepcu i radara MITSUBISHI RC34A



Slika 3.1-3 Geografska lokacija pojedinačnih vetrogeneratora na polju RAŽANJ 3 u odnosu na meteorološki radar MITSUBISHI RC34A

## 4 ANALIZA UTICAJA VETROGENERATORA NA RAD METEOROLOŠKIH RADARA

RHMZ koristi za potrebe prikupljanja meteoroloških i hidroloških radarskih podataka impulsne i impulsno-Doplerove radare. Impulsni radari, za Studiju je predstavnik meteorološki radar MITSUBISHI RC34A, imaju vrlo skromne mogućnosti u poređenju sa savremenim metodama obrade signala. Naime, obrada je samo u vremenskom domenu i, kao produkt, daju intenzitet reflektovanog signala od zapreminskog meteorološkog fenomena. Predstavnik impulsno-Doplerovog radara sa punim opsegom najsavremenijih meteoroloških i hidroloških produkata je radar METEOR 600S na Jastrepcu koji ostvaruje obradu signala u vremenskom i frekventnom domenu.

Zbog ovih osobina, Studija kao osnovu za analizu uticaja vetroparka na radare uzima radar na Jastrepcu, METEOR 600S, kao najsavremeniji i u kome su uključena obrada radarskog signala koja se ostvaruje u svim, čak i starijim radarskim sistemima

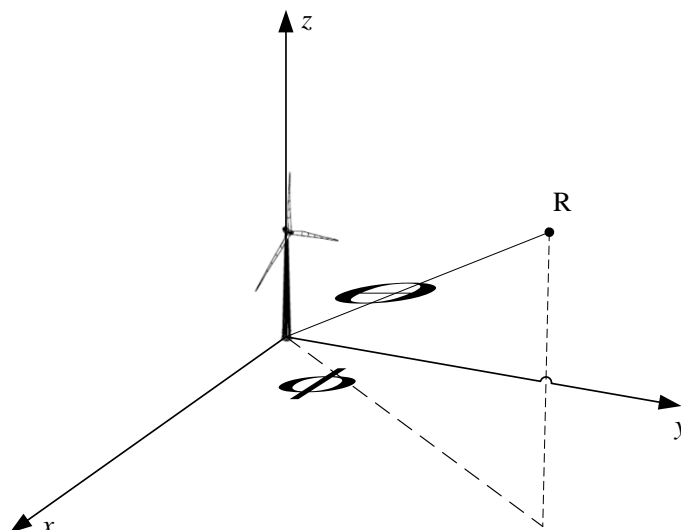
### 4.1 Simulacioni model vetrogeneratora

Meteorološki impulsno Doplerovi radari, kakav je radar METEOR 600S na Jastrepcu, 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, [8]. 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,  $\Theta$  je ugao između vertikalne  $z$  ose i pozicije radara a  $\varphi$  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

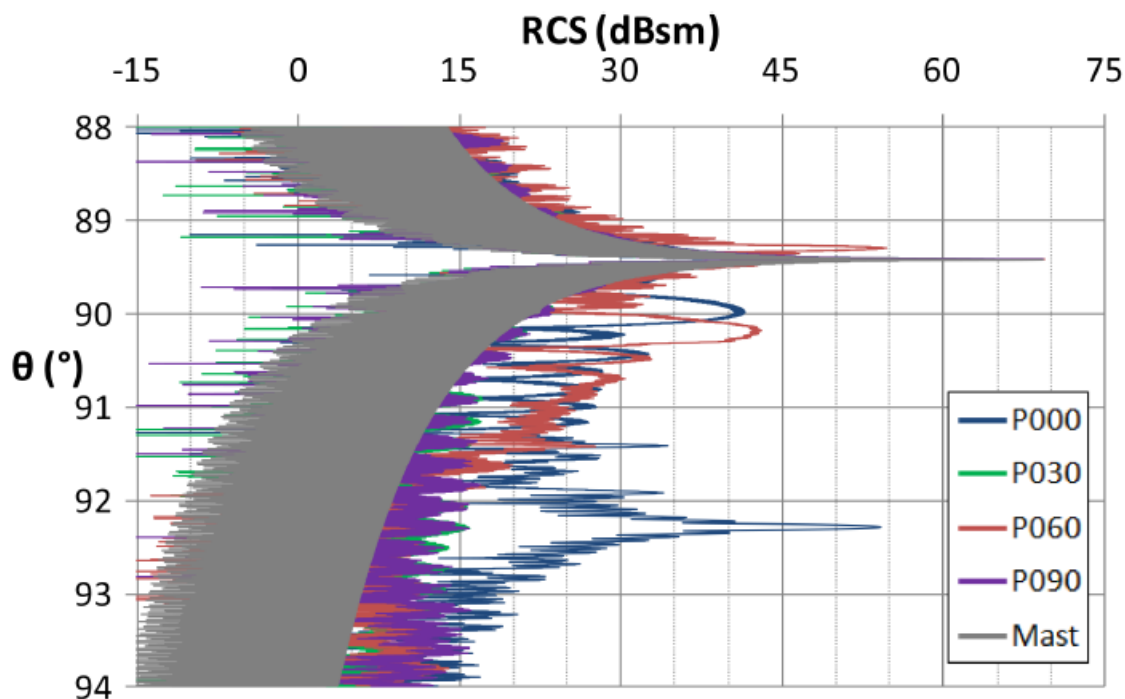
Analiza je napravljena pod pretpostavkom da se polje vetrogeneratora nalazi u zapremini prostora u kojoj se ostvaruje detekcija meteorološkog radara bez ikakvih drugih uticaja. Takođe, ostavrena je:

(1) monostatička refleksija radarskog signala od pojedinačnih vetrogeneratora u polju,

(2) detekcija u frekventnom opsegu rada meteorološkog radara,

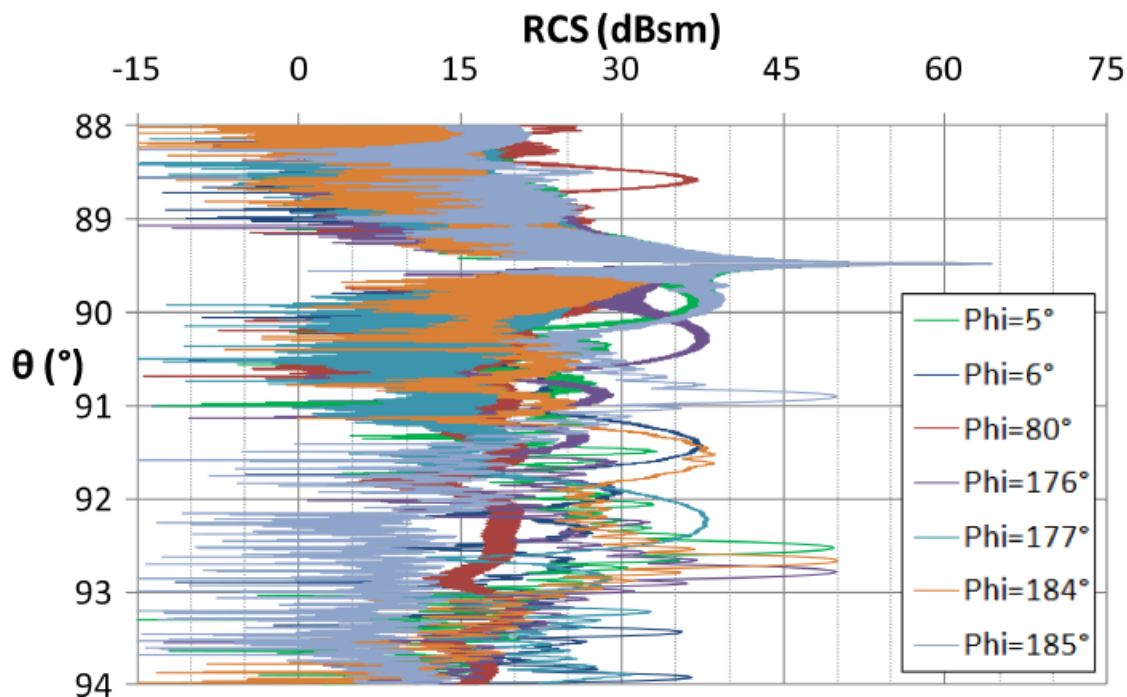
(3) pretpostavka da je metalni stub vetrogeneratora perfektni provodnik, a da su lopatice rotora, iako napravljene od kompozitnih materijala, metalne kako bi se analiza sproveda po metodi najgoreg slučaja. To je urađeno zbog činjenice da je karakterizacija kompozitnih materijala u pogledu refleksije 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 RAŽANJ 3 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 [8], prikazana je zavisnost ERP vetrogeneratora u funkciji pozicija lopatica rotora u nekoliko diskretnih vrednosti ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  i  $90^\circ$ ). Siva zona na slici predstavlja ERP stuba i ima u maksimumu skoro  $70 \text{ dBm}^2$  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  $55 \text{ dBm}^2$ , 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

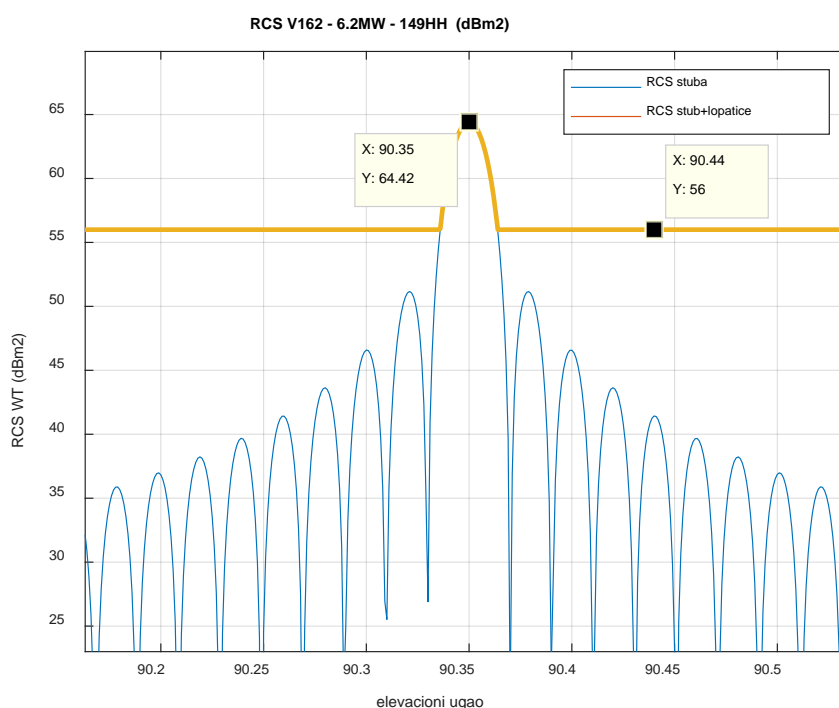
Takođe, Slika 4.1-3, a na osnovu reference, [8], jasno pokazuje da doprinos lopatica reflektovanom radarskom signalu jako zavisi i od orijentacije rotora u odnosu na incidentni radarski signal, dok doprinos stuba ostaje nepromenljiv u horizontalnoj ravni zbog simetrije stuba u odnosu na vertikalnu osu. 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.

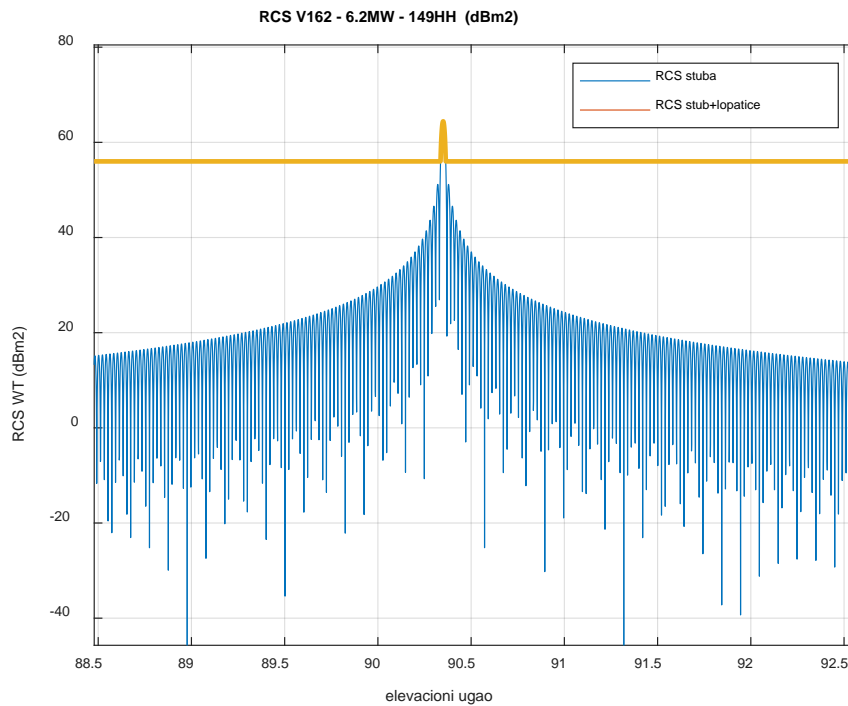
#### 4.1.1 Refleksija elektromagnetnog zračenja radara od stuba vetrogeneratora

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 **V 162 - 6.2 MW - 149HH** je dat na Slika 4.1-4 i Slika 4.1-5, označen plavom krivom.



Slika 4.1-4 ERP dobijen simulacijom vetroturbine **V 162 - 6.2 MW - 149HH** (stub u glavnom snopu radara)



Slika 4.1-5 ERP dobijen simulacijom vetroturbine **V 162 - 6.2 MW - 149HH** (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, pristupiće se 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.

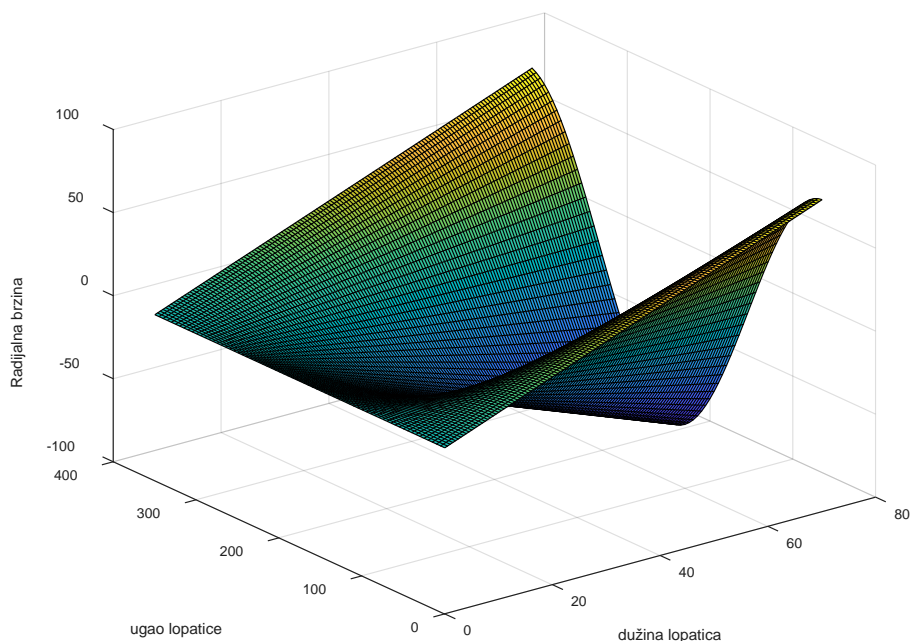
#### 4.1.3 Refleksivnost vetrogeneratora na lokaciji RAŽANJ 3 u odnosu na meteorološke radare

Na osnovu razvijenog matematičkog modela i dobijenih rezultata primenjenih na realnu situaciju meteoroloških radara i vetroparka RAŽANJ 3, možemo zaključiti sledeće:

**Refleksivnost od stuba vetrogeneratora.** Matematički model primenjen na vetrogenerator **V 162 - 6.2 MW - 149HH** i Doplerov radar, dao je maksimalnu vrednos ERP stuba od 66,96 dBm<sup>2</sup> 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<sup>0</sup>, a spekularna refleksija koja daje navedenu ERP treba da bude normalna na omotač kupe, dobijamo da je maksimalna ERP na 90.35<sup>0</sup>. Zbog toga je ERP uzeta pri uglu 91.19<sup>0</sup> i iznosi oko 20 dBm<sup>2</sup>, što je značajno smanjenje, Slika 4.1-5. Ovih 20 dBm<sup>2</sup> je ERP kada radar radi bez upotrebe antiklaterskih filtara (IIR filtri).. Što se tiče ne-Doplerovog radara koji nema brisanje stalnih odraza, MITSUBISHI RC34A, celi vetrogenerator sa stubom je vidljiv.

**Refleksivnost od lopatica rotora vetrogeneratora.** Uzimajući u obzir već rečeno, ERP lopatica rotora vetrogeneratora je aproksimirana konstantnom vrednošću, za vetrogenerator **V 162 - 6.2 MW - 149HH** je to 56 dBm<sup>2</sup>, 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

antiklaterski 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 *V 162 - 6.2 MW - 149HH*

## 5 NAČINI UBLAŽAVANJA UTICAJA POLJA VETROGENERATORA NA METEOROLOŠKI RADAR MITSUBISHI RC34A

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 impulsnih kakav je MITSUBISHI RC34A 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 antiklatorskih filtara, dok dinamički klateri imaju veliki opseg radijalnih brzina i ne mogu biti uklonjeni konvencionalnim antiklatorskim filtrima. Ne-Doplerovi radari nemaju mogućnosti uklanjanja niti jedne vrste klatera.

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. klaterski rep iza vetrogeneratora. Veruje se da ovaj fenomen nastaje zbog efekta višestrukih refleksija. Međutim, u mnogim primerima se vidi da klaterski 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 antiklatorskih 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 klaterskog 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 RAŽANJ 3 I NJEGOV UTICAJ NA RADAR MITSUBISHI RC34A**

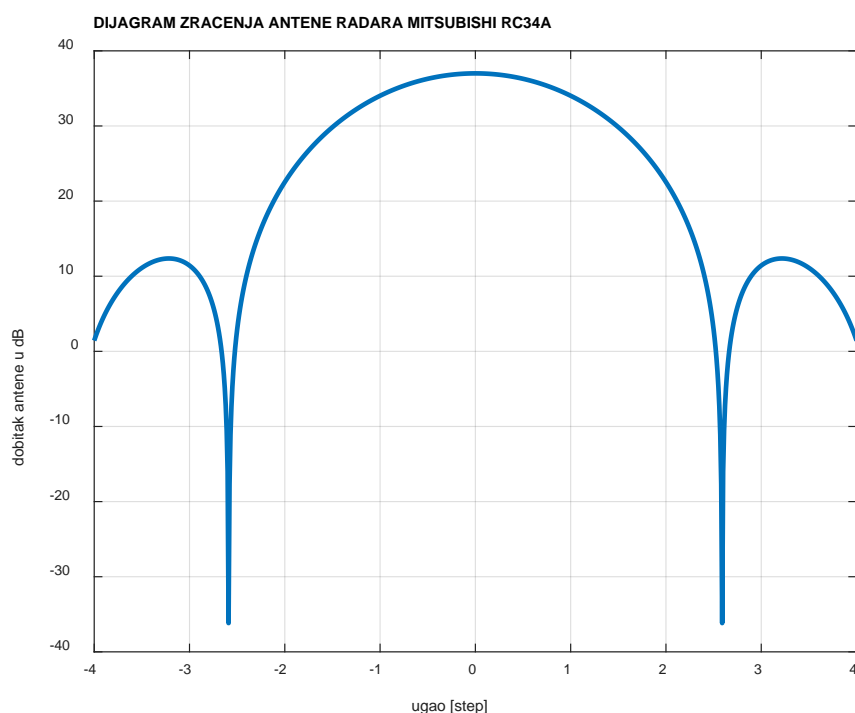
RHMZ je svojim dopisom 03-922-3-132/23 od 29.08.2023.godine (u daljem tekstu Uslovi), Prilog ovoj Studiji, definisao objekte na koje izgrađeni vetropark RAŽANJ 3 ne bi trebalo da utiče u radu. Iz Uslova je vidljivo da RHMZ zahteva da se pokaže da li i koliki je uticaj vetroparka na rad radarskog sistema MITSUBISHI RC34A u Kruševcu. Cilj ove Studije je da ispuni osnovni zahtev RHMZ-a i pokaže, u širem

kontekstu, još i uticaj vetroparka na meteorološke produkte u domenu namene i korišćenja radara.

## 6.1 Antenski sistemi radara MITSUBISHI RC34A

Na sledećoj slici (Slika 6.1-1) prikazan je dijagram zračenja radara Mitsubishi RC34A

S obzirom da geografski raspored svakog vetrogeneratora u vetroparku, geografska pozicija radara i dijagram zračenja u najvećoj meri određuju snagu reflektovanog zračenja na ulazu u prijemnik od objekata u prostoru, očekuje se da radar Mitsubishi RC34A na lokaciji Kruševac ima veoma različite refleksivnosti od svakog vetrogeneratora pojedinačno. Ovo tvrđenje je Studijom potvrđeno.



Slika 6.1-1 Dijagram zračenja antene radara MITSUBISHI RC 34A

## 6.2 Režim radnih performansi radara MITSUBISHI RC34A

Radarski sistem MITSUBISHI RC34A je nabavljen pre skoro 50 godina za potrebe protivgradne zaštite Republike Srbije. Nabavljeno je dvanaest radara što je bio prilično, finansijski izraženo, veliki ugovor za proizvođača. Ta činjenica je omogućila da proizvođač prihvati i posebno projektuje radar za poslove protivgradne odbrane, kao dodatak standardnim radarima iz svoje proizvodnje. Uvedena su neka specifična tehničko tehnološka rešenja koja su odgovarala kvalitetnijoj i bržoj manipulaciji u procesu merenja oblačnih struktura kumulonimbusa i gradonosnih ćelija u njima.

Radar pripada klasi klasičnih impulsnih radara koji mogu da mere samo snagu reflektovanog signala od tačkastih i zapreminskih objekata što se za primenu u radarskoj meteorologiji podrazumeva da su zapreminski objekti oblačne strukture velikih refleksivnosti. U vreme projektovanja i proizvodnje radara MITSUBISHI RC34A primenjena tehničko tehnološka rešenja su bila u samom tehnološkom vrhu, da bi ona, rešenja, sa napretkom radarske meteorologije, tehnike i tehnologije, kojima pripadaju današnji impulsno Doplerovi radari sa dvojnomo polarizacijom, predstavljala veoma skromna rešenja sa skromnim mogućnostima u radu. Rečeno se prvenstveno odnosi na činjenicu da radar MITSUBISHI RC34A ima samo obradu u vremenskom, a nema u frekventnom domenu. To u suštini znači da su mu mogućnosti detektovanja i merenja meteoroloških fenomena smanjene jer nema mogućnosti brisanja stalnih, nepokretnih, objekata i neželjene refleksije od tla, jednom rečju klatera. Naime, u oblastima relativno bliskim radaru izuzetno su jake refleksije od tla koje se superponiraju refleksijama od oblaka i parktično onemogućavaju merenja za potrebe meteorologa. U zavisnosti od okolnog terena (urbano okruženje, šumovito, livade, itd) radar do par desetina kilometara detektuje kroz bočne lobove antene refleksije od tla koje mogu po rerleksivnosti ići i do 20-tak dBZ-ova. Na većim daljinama taj efekat je značajno smanjen ili ga nema. Ova činjenica je značajna za zaključke koji će biti izneseni u ovoj Studiji.

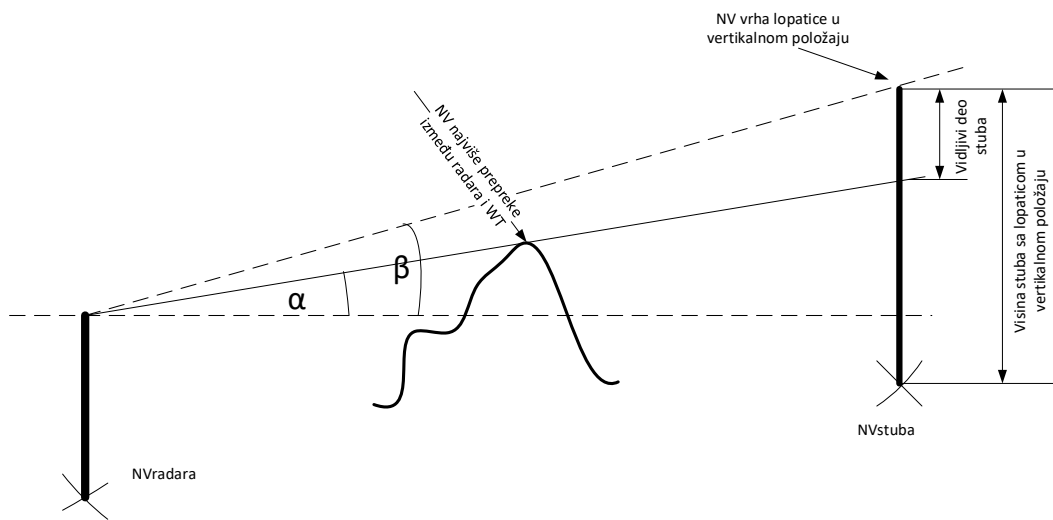
Radarski sistem MITSUBISHI RC34A koristi jednu širinu impulsa koja je odabrana kako bi se obezbedio kompromis između zahteva za osetljivošću i rezolucije po daljini. Širina dugog impulsa od 2  $\mu$ s obezbeđuje prihvatljivu osetljivost i rezoluciju po daljini od 300m.

Radar MITSUBISHI RC34A je analogni radar i njegove rezolucione ćelije su definisane širinom predajnog impulsa, a ne odabiranjem prijemnog signala i naknadnom digitalnom obradom. Na Slika 6.2-3 do Slika 6.2-6 su prikazani položaji i reflektivnosti vetrogeneratora na približne pozicije analognih ćelija radara, kao ilustracija.

Značajno je za ovu Studiju da se definiše i "mrtva zona" oko radara. Za vreme zračenja impulsa, 2  $\mu$ s, prijemnik ne radi. Tome treba dodati i vreme uključanja prijemnika, njegovog oporavka, koje proizvođač ne definiše tačno već kao vreme od nekoliko  $\mu$ s. Ukupno vreme se može sa sigurnošću definisati do 8 od 10  $\mu$ s koje odgovara daljini od 1.2 do 1.5 km oko radara u kojoj zoni radar ne vrši ni merenje ni osmatranje.

Geografska supozicija radara i vetroparka je takva da prepreka između njih u velikoj meri maskira vetropark, što se pokazano u Tabela 6.2-1. Prepreku predstavlja planina Debelo Brdo, zapadno od Ražnja. Tabelom je pokazan procenat vidljivosti svakog vetrogeneratora u vetroparku, uglavnom se mogu detektovati delovi rotora, maksimalna vidljivost je kod desetak vetrogeneratora kada se vide celi rotori, bez stubova, a dvadesetdevet vetrogeneratora ima mali procenat vidljivosti i mogu se smatrati slabo uočljivi radarom, dok se šest vetrogeneratora ne vidi. Ovo pokazuje da je uticaj vetroparka na radar MITSUBISHI RC34A izuzetno smanjen i malo značajan.

Procenat smanjenja ERP vetrogeneratora za vetropark RAŽANJ 3 dat je u Tabela 6.2-1 i odnosi se na elevacioni ugao radarske antene od  $1.0^{\circ}$ . Procenat koji ulazi u proračun ERP vetrogeneratora, a samim tim i reflektivnosti, dobijen je kao odnos vidljivog dela vetrogeneratora i njegove maksimalne visine, Slika 6.2-1.



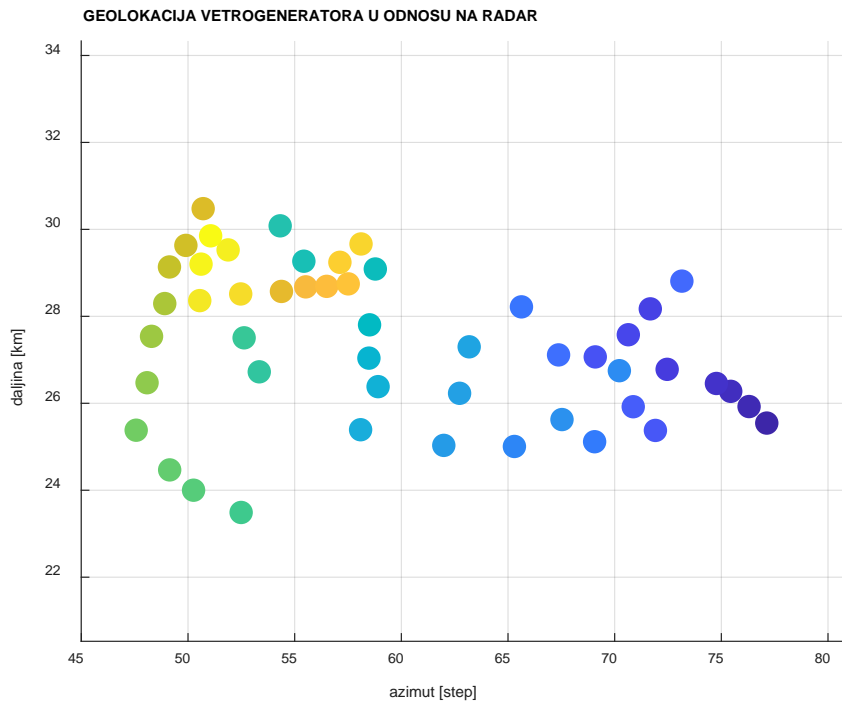
Slika 6.2-1 Uticaj orografske prepreke na osmatranje vetrogeneratora radarom

Faza	WT #	Nadmorska visina WT	Nadmorska visina vrha vertikalne lopatice	Nadmorska visina prepreke	Procenat vidljivosti WT radarom	Dužina vidljivosti WT od vrha lopatice prema dnu WT	Vidljivost rotora WT
		[m]	[m]	[m]	[%]	[m]	
TT Planirano postavljanje 50 WT	<b>T1</b>	365	593.35	420	75.87719	173	celi rotor
	<b>T2</b>	364	592.35	420	75.4386	172	celi rotor
	<b>T3</b>	356	584.35	420	71.92982	164	deo rotora
	<b>T4</b>	366	594.35	420	76.31579	174	celi rotor
	<b>T5</b>	359	587.35	418	73.24646	167.0019	celi rotor
	<b>T6</b>	390	618.35	418	86.84299	198.002	celi rotor
	<b>T7</b>	411	639.35	418	96.0535	219.002	celi VG
	<b>T8</b>	353	581.35	337	70.66164	161.1085	deo rotora
	<b>T9</b>	362	590.35	418	74.5622	170.0018	celi rotor
	<b>T10</b>	360	588.35	418	73.68503	168.0019	celi rotor
	<b>T11</b>	451	679.35	418	113.5974	259.0021	celi VG
	<b>T12</b>	319	547.35	337	55.74944	127.1087	deo rotora
	<b>T13</b>	280	508.35	357	38.63344	88.08425	deo rotora
	<b>T14</b>	337	565.35	337	63.64066	145.1007	deo rotora
	<b>T15</b>	297	525.35	357	46.08538	105.0747	deo rotora
	<b>T16</b>	366	594.35	418	76.31663	174.0019	celi rotor
	<b>T17</b>	285	513.35	337	40.83454	93.10275	deo rotora
	<b>T18</b>	244	472.35	334	22.8488	52.09525	deo rotora
	<b>T19</b>	257	485.35	334	28.55255	65.09981	deo rotora

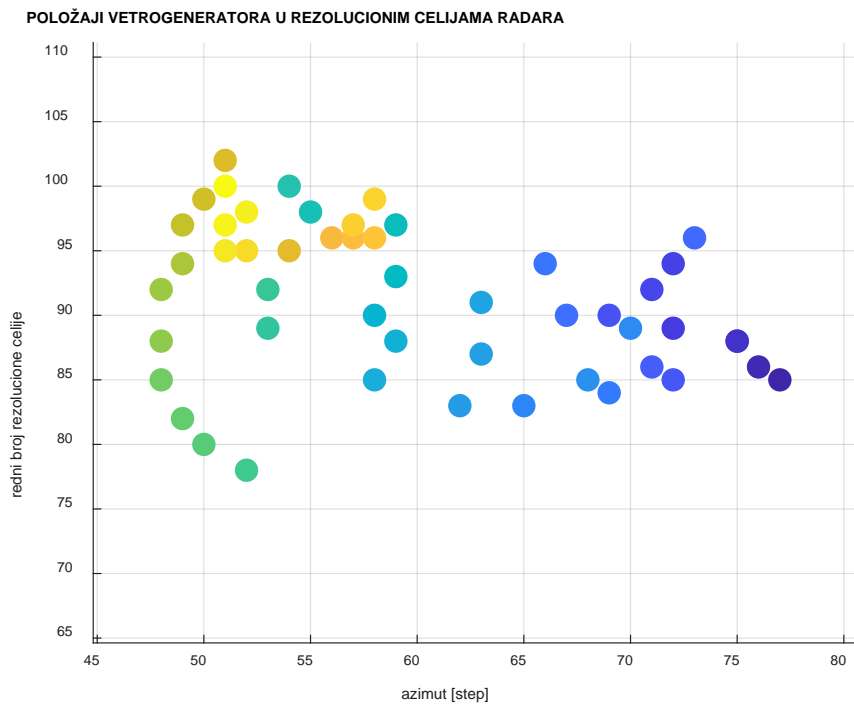
<b>T20</b>	253	481.35	334	26.79995	61.10388	deo rotora
<b>T21</b>	207	435.35	337	6.619848	15.09325	ne vidi se
<b>T22</b>	183	411.35	337	0.4385965	1	ne vidi se
<b>T23</b>	213	441.35	337	9.25408	21.0993	ne vidi se
<b>T24</b>	208	436.35	337	7.062331	16.10212	ne vidi se
<b>T26</b>	248	476.35	337	24.60826	56.10683	deo rotora
<b>T29</b>	248	476.35	274	24.64048	56.1803	deo rotora
<b>T30</b>	310	538.35	274	51.83566	118.1853	deo rotora
<b>T31</b>	226	454.35	274	14.98449	34.16463	deo rotora
<b>T32</b>	243	471.35	274	22.44274	51.16945	deo rotora
<b>T34</b>	278	506.35	274	37.78276	86.1447	deo rotora
<b>T35</b>	298	526.35	313	46.5361	106.1023	deo rotora
<b>T36</b>	300	528.35	313	47.41417	108.1043	deo rotora
<b>T37</b>	284	512.35	313	40.39833	92.1082	deo rotora
<b>T38</b>	272	500.35	313	35.13722	80.11285	deo rotora
<b>T39</b>	268	496.35	313	33.38483	76.1174	deo rotora
<b>T40</b>	259	487.35	313	29.43887	67.12062	deo rotora
<b>T41</b>	271	499.35	313	34.7036	79.12421	deo rotora
<b>T42</b>	291	519.35	313	43.47646	99.12632	deo rotora
<b>T43</b>	286	514.35	313	41.28505	94.12992	deo rotora
<b>T44</b>	258	486.35	274	29.02457	66.17602	deo rotora
<b>T45</b>	230	458.35	274	16.74415	38.17667	deo rotora
<b>T46</b>	199	427.35	337	3.116389	7.105366	ne vidi se

<b>T47</b>	199	427.35	337	3.11648	7.105575	ne vidi se
<b>T48</b>	198	426.35	337	2.678683	6.107397	ne vidi se
<b>T49</b>	241	469.35	337	21.53901	49.10895	deo rotora
<b>T50</b>	258	486.35	274	29.02441	66.17566	deo rotora
<b>T51</b>	250	478.35	313	25.49163	58.12091	deo rotora
<b>T52</b>	283	511.35	274	39.99206	91.1819	deo rotora
<b>T53</b>	268	496.35	313	33.38793	76.12448	deo rotora
<b>T54</b>	308	536.35	313	50.93301	116.1273	deo rotora

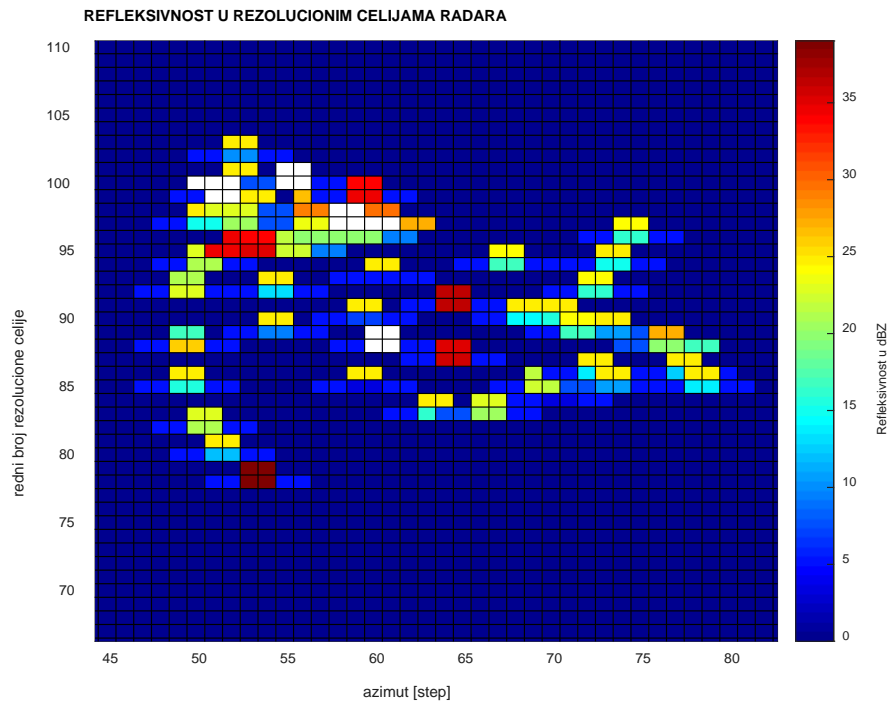
Tabela 6.2-1 Procentualna radarska vidljivost sa meteorološkog radara MITSUBISHI RC34A svakog od vetrogeneratora na lokaciji RAŽANJ 3 sa posebnim osvrtom na vidljivost rotorskih lopatica kao dela vetrogeneratora sa najvećim doprinosom klateru



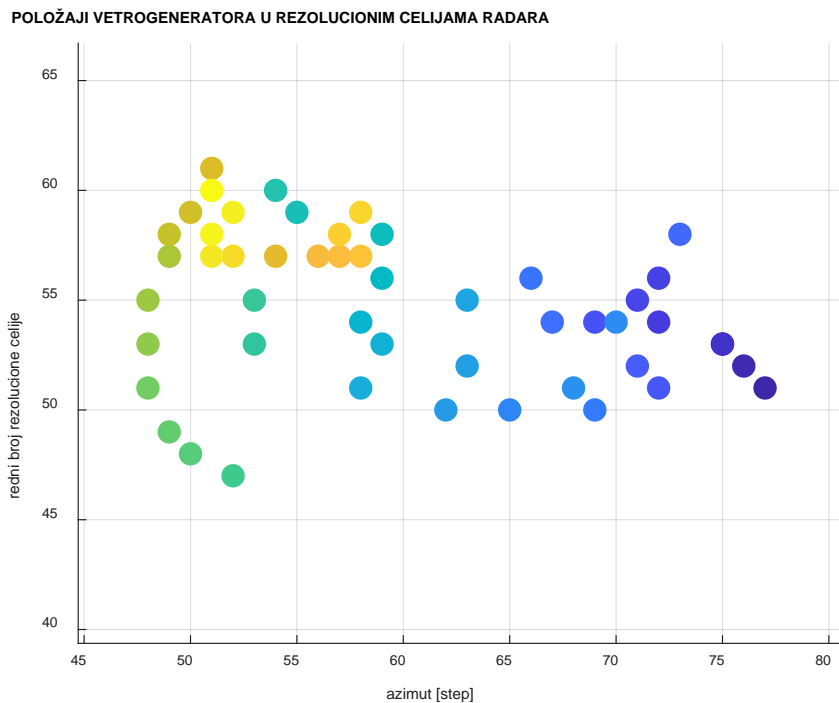
Slika 6.2-2 Prostorna raspodela vetrogeneratora na lokaciji RAŽANJ 3 u odnosu na meteorološki radar T49 MITSUBISHI RC34A u Kruševcu. Na apscisu je azimutalni ugao pod kojim radar detektuje vetrogenerator a na ordinati je dato rastojanje od radara



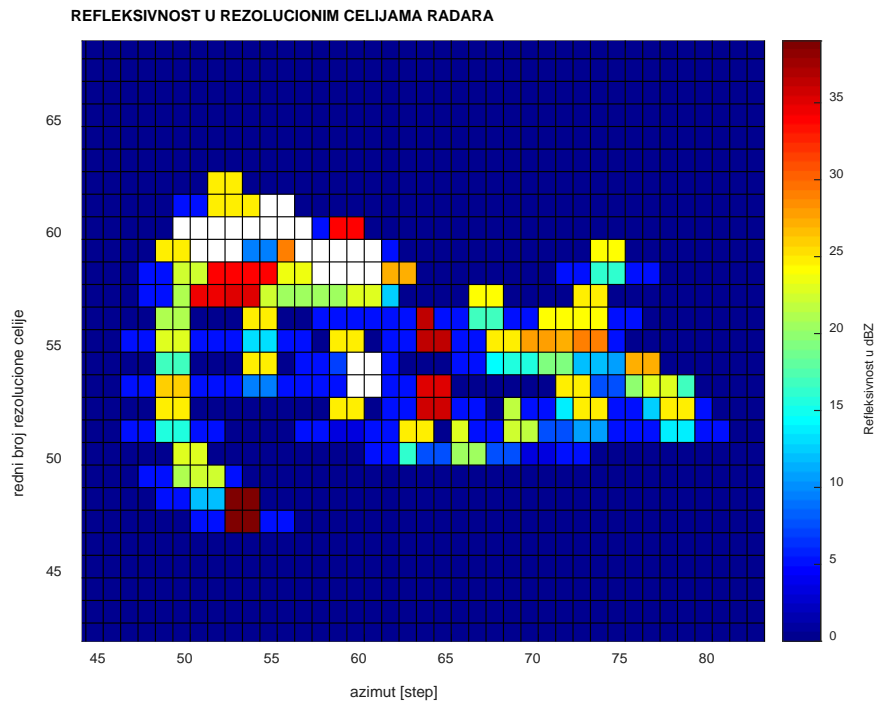
Slika 6.2-3 Raspodela vetrogeneratora u zapreminskoj matrici radara. Na apscisu je azimutalni ugao pod kojim radar detektuje vetrogenerator a na ordinati je dat redni broj matrice ćelije kada je ona 250m



Slika 6.2-4 Intenziteti signala u radarskoj matrici (prikazuju se na ekranu radara) za prostorni raspored vetrogeneratora sa Slika 6.2-3. Pretpostavljeno je da je intenzitet reflektovanog signala u glavnom snopu radara 36.71 dBZ



Slika 6.2-5 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



Slika 6.2-6 Intenziteti signala u radarskoj matrici (prikazuju se na ekranu radara) za prostorni raspored vetrogeneratora sa Slika 6.2-5. Pretpostavljeno je da je intenzitet reflektovanog signala u glavnom snopu radara 36,71 dBZ

Prostor koji zauzima vetropark RAŽANJ 3 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 i, eventualno, drugom bočnom lobu dijagrama zračenja antene. To znači da se klater vetroparka može naći u najviše dve 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. Napomenimo i to da je na navedenim elevacijama izuzetno jaka refleksija elektromagnetnih talasa od tla koja maskira refleksije od vetrogeneratora zbog nemogućnosti radara da briše stalne odraze. Međutim, izračunavanja za vetropark RAŽANJ 3 i meteorološki radar MITSUBISHI RC34A, zbog prepreke koja u velikoj meri predstavlja zaklon za radar pri osmatranju vetroparka, pokazuju nešto 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 refleksivnost od proračunate.

Na Slika 6.2-7 su dati rezultati poraćuna sa kolikom refleksivnošću radar detektuje svaki vetrogenerator ponaosob na najnižoj elevaciji radara MITSUBISHI RC34A, od  $1.0^0$ . Opseg vrednosti je u intervalu od 4.88 do 51.22 dBZ-a, sa srednjom vrednošću 27.16 dBZ-a, ali jedan vetrogenerator nije detektovan. Interesantno je to da refleksivnost vertogeneratora varira u većem obimu a kao posledica dobitka dijagrama zraćenja i ugla pod kojim se ozračava stub vetrogeneratora, njegov oblik i lopatice rotora.

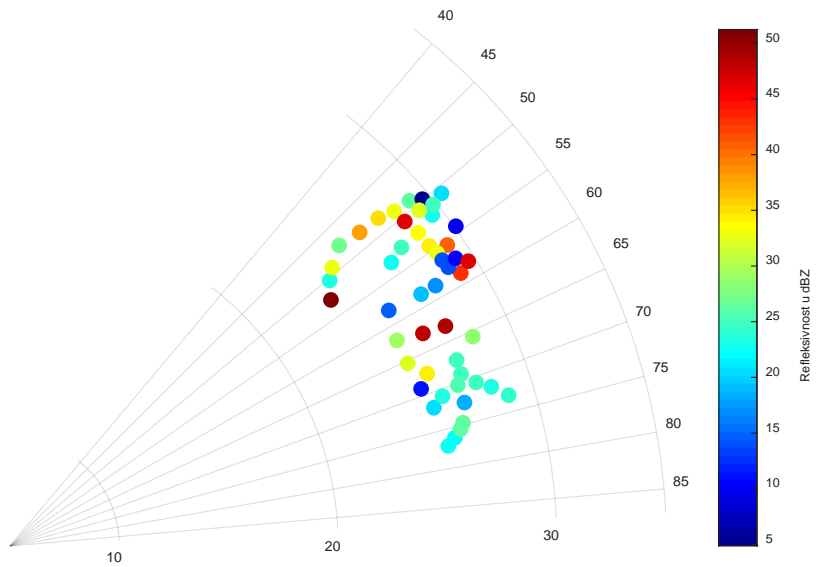
Iz istog razloga kao u prethodnom slučaju na Slika 6.2-8 koja se odnosi na elevaciju od  $1.5^0$  sasvim je drugačija raspodela refleksivnosti među vetrogeneratorima a i opseg vrednosti je uži, 0.3 do 39.02 dBZ i srednjom vrednošću 17.05 dBZ-a, dok, kao i na najnižoj elevaciji, četiri generatora nisu vidljiva radarom. Znači, radar MITSUBISHI RC34A bi pri korišćenju ovakvog rasporeda elevacija imao veći nivo signala na prvoj elevaciji.

Na trećoj elevaciji od  $2.0^0$  imamo opseg refleksivnosti vetrogeneratora od 1.27 do 13.97 dBZ-a i srednjom vrednošću 7.08 dBZ-a, uz napomenu da četrdeset vetrogeneratora nije detektovano radarom MITSUBISHI RC34A, Slika 6.2-9.

Na sledećoj elevaciji od  $2.5^0$  je opseg refleksivnosti vetrogeneratora od 1.85 do 6.53 dBZ-a i srednjom vrednošću 3.71 dBZ-a, uz napomenu da četrdesetpet vetrogeneratora nije detektovano, Slika 6.2-10.

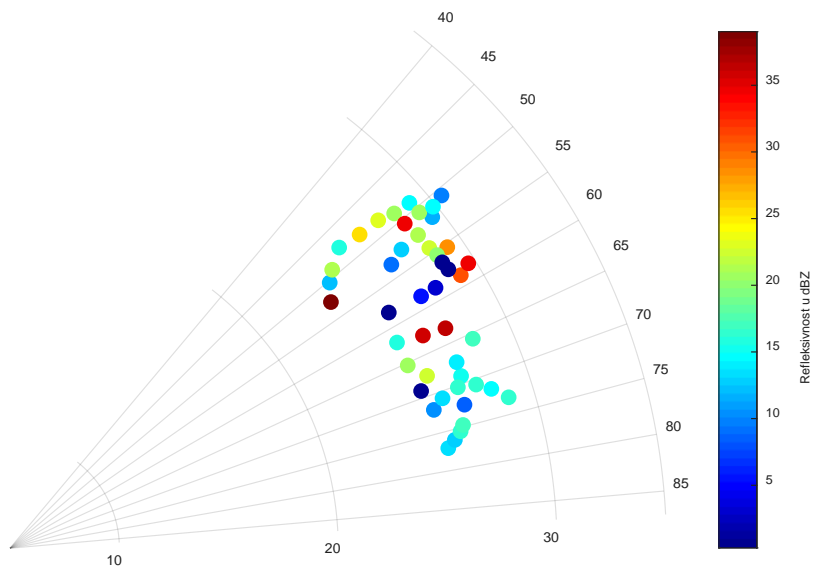
Refleksivnost vetrogeneratora u vetroparku VETROPARK je izuzetno mala prilikom korišćenja radara MITSUBISHI RC34A, a zbog smanjene refleksije od lopatica rotora (materijal staklo plastika), biće, po proceni, za 10dBZ, još manja od minimalne vrednosti refleksivnosti dobijene proračunom.

DETEKTOVANI VETROGENERATORI NA  
ELEVACIJI ANTENE RADARA OD 1 step.



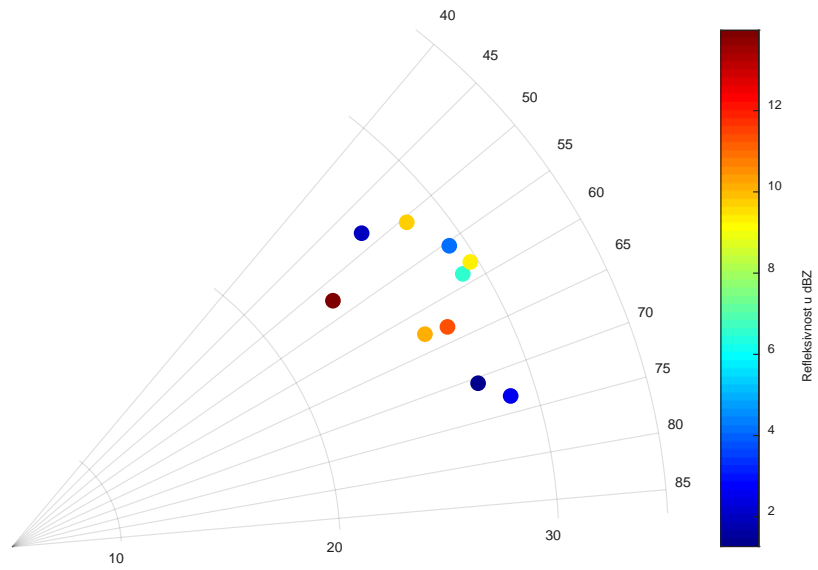
Slika 6.2-7 Radarska refleksivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji  $1^{\circ}$

DETEKTOVANI VETROGENERATORI NA  
ELEVACIJI ANTENE RADARA OD 1.5 step.



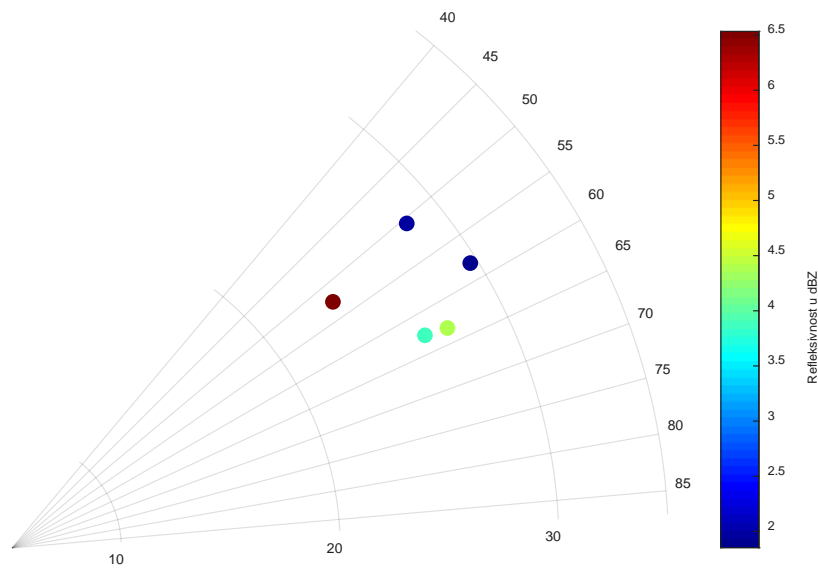
Slika 6.2-8 Radarska refleksivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji  $1.5^{\circ}$

DETEKTOVANI VETROGENERATORI NA  
ELEVACIJI ANTENE RADARA OD 2 step.



Slika 6.2-9 Radarska reflektivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 2<sup>o</sup>

DETEKTOVANI VETROGENERATORI NA  
ELEVACIJI ANTENE RADARA OD 2.5 step.



Slika 6.2-10 Radarska reflektivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 2.5<sup>o</sup>

WT	dBZ za elevaciju 0.5 <sup>0</sup>	dBZ za elevaciju 1 <sup>0</sup>	dBZ za elevaciju 1.5 <sup>0</sup>	dBZ za elevaciju 2 <sup>0</sup>
T1	22.8429715038238	13.2847806942610	NaN	NaN
T2	22.0106858909496	12.4483399744296	NaN	NaN
T3	26.3231432865151	16.5960228839535	NaN	NaN
T4	26.1658704664445	16.6737501983041	NaN	NaN
T5	18.3265841099154	8.69426670334220	NaN	NaN
T6	23.5276824198327	14.5934110918793	NaN	NaN
T7	24.7710572622264	16.2387212529308	1.26956188339314	NaN
T8	24.6382862891603	14.8872847179190	NaN	NaN
T9	20.1605095999182	10.5234815715519	NaN	NaN
T10	23.2336403698548	13.5792176498705	NaN	NaN
T11	24.0278907223578	16.2175295339093	2.64312907568082	NaN
T12	24.5275442357293	13.9891588562501	NaN	NaN
T13	28.1480857549892	16.7588918817164	NaN	NaN
T14	11.1585746511344	0.892555512995472	NaN	NaN
T15	31.9296939131401	20.5712835077049	NaN	NaN
T16	25.6379003520119	16.1589665710196	NaN	NaN
T17	33.9590451487999	22.3458693627796	NaN	NaN
T18	28.9077961826129	15.8863945006560	NaN	NaN
T19	47.9620894690308	35.6206941322343	10.0513614500057	3.88975346451458
T20	48.7877158913246	36.5236062877611	11.2604864212503	4.36237569660937
T21	14.5859493471719	0.305178340801600	NaN	NaN
T22	NaN	NaN	NaN	NaN
T23	19.2686645405012	5.68981870756192	NaN	NaN
T24	16.8258530730964	3.27558653574667	NaN	NaN
T26	43.1940917085129	31.0911090247002	6.44752615185257	NaN
T29	40.7516296740307	28.6768340224754	4.13912239790244	NaN
T30	9.36452792717380	NaN	NaN	NaN
T31	22.4659826747728	9.24477123326455	NaN	NaN
T32	25.1290941013412	12.6089888523907	NaN	NaN
T34	51.2256120780158	39.0185931234778	13.9778405090806	6.53256800926834
T35	23.3582562630276	11.8808151484225	NaN	NaN
T36	32.5353238699722	21.1871572965658	NaN	NaN
T37	27.2156437052811	15.5354910164168	NaN	NaN
T38	37.4730669413370	25.6182291798832	1.88263480451587	NaN
T39	34.6156999877597	22.8148908364062	NaN	NaN
T40	32.6762403406573	20.7454048270908	NaN	NaN
T41	26.0434918461451	14.5435696602523	NaN	NaN
T42	4.88793366009382	NaN	NaN	NaN
T43	20.6535394307141	9.66276033484063	NaN	NaN
T44	34.1608684326487	22.2457686489572	NaN	NaN
T45	32.4561857339944	19.7790440966920	NaN	NaN
T46	14.1669550963173	0.544324398173561	NaN	NaN
T47	14.2764597069499	0.667954229091613	NaN	NaN
T48	9.95879431081460	NaN	NaN	NaN
T49	46.5882318030120	34.3901613891062	9.38397502630374	1.85267505634459
T50	33.3562365892089	21.4323157117422	NaN	NaN
T51	46.8450221856756	34.6785435706252	9.79377472474655	1.95815606591520
T52	22.9355913557608	11.7755377473859	NaN	NaN
T53	31.8418721372119	20.2749995695699	NaN	NaN
T54	25.1310401317639	14.5750922631464	NaN	NaN

Tabela 6.2-2 Vrednosti refleksivnosti vetrogeneratora po elevacijama skaniranja radara MITSUBISHI RC34A (NaN nije detektovan)



jednom, najnižem, skanu. S obzirom da se radar u Kruševcu koristi prvenstveno za poslove odbrane od grada, pa tek kasnije, sporadično, i kao pomoć u kratkoročnoj prognozi vremena, možemo reći na osnovu svega definisanog u ovoj Studiji, da efekat koji proizvodi vetro park nema nikakvog uticaja.

I pored toga, za posebne potrebe, koje se očekuju vrlo retko, a na osnovu iskustava meteoroloških organizacija u svetu koje u okruženjima svojih meteoroloških radara imaju velike vetroparkove objavljene su u većem broju radova preporuke za operatere na radaru u cilju ublažavanja efekata od vetroparka. Po tim preporukama, operateri treba da preduzimaju sledeće:

- *Operator na meteorološkom radaru treba da dobro poznaje mapu klatera uključujući i zonu gde se nalazi vetro park*
- *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 antiklaterske 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 susednih meteoroloških radara iznad lokacije vetro parka i upoređivanjem veličina refleksivnosti između dva radara donositi odluke.*

## 8 ZAKLJUČAK

Ova Studija je nedvosmisleno pokazala da uticaj vetro parka RAŽANJ 3 na meteorološki radar MITSUBISHI RC34 **postoji**, međutim, on je toliko mali da nema značajnog efekta na primenu meteorološkog radara u svim domenima njegove namene, posebno u poslovima odbrane od grada. Za posebne slučajeve kada je to neophodno (npr. rad radarske antene na negativnim elevacionim uglovima), a takvi slučajevi se događaju vrlo retko ili skoro nikako, poznate su i metode i postupci operatera na radaru kako bi se ublažio i taj neznatni efekat klatera od vetro parka.

Izgradnjom vetroparka RAŽANJ 3 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 MITSUBISHI RC34A, (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, osim jednog, tako da se ne primenjuju preporuke koje se odnose na površine vetroparka, iako isti možemo tretirati kao dve celine koje su, svaka za sebe, manje od 10 km<sup>2</sup>.

Na osnovu svega rečenog u ovoj Studiji kao zaključak možemo predložiti:

***Predlažemo da Republički hidrometeorološki zavod Srbije da saglasnost za izgradnju vetro parka na lokaciji RAŽANJ 3, jer isti neće imati uticaja na rad radara MITSUBISHI RC34A (Kruševac) u odgovarajućem okruženju u svim oblastima njegovih namena.***

## 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] „Mitsubishi RC34A Technical documentation“.
- [5] „Tehnička dokumentacija sistema HASIS,“ Elektronski fakultet Niš.
- [6] „METEOR 600S Technical documentation,“ GEMATRONIK.
- [7] „V 162 - 6.2 MW - 149HH -Developer Package“.
- [8] I. Angulo, Estimating reflectivity values from wind turbines for analyzing the potential impact on weather radar services, Atmos. Meas. Tech, 2015.
- [9] GEMATRONIK, REINBOW; File format, 2013..
- [10] M. M. G. Greving, Weather Radar and Wind Turbines - an Update of Theoretical and Practical Analysis of Effects, ERAD2010, 2010.
- [11] M. Ćurić, Modifikacija vremena, RHMZ Srbije, 2001.

## 10 Spisak slika

Slika 1.1-1 Primer distribucije klatera pre i posle postavljanja vetroparka. Puna vertikalna linija pokazuje medijanu vrednosti..... 11

Slika 1.1-2 Primer koji pokazuje klaterne 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 .....	12
Slika 1.1-3 Primer klatera dva polja vetrogeneratora u zoni osmatranja meteorološkog radara .....	12
Slika 1.2-1 Primer uticaja vetro parka na merenje brzine.....	14
Slika 1.2-2 Primer uticaja vetro parka na merenje širine spektra signala.....	15
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.	16
Slika 2.2-1 Izgled i dimenzije vetrogeneratora <b>V 162 - 6.2 MW - 149HH</b> za polje vetrogeneratora na lokaciji RAŽANJ 3 .....	19
Slika 3.1-1 Geografske pozicije vetrogeneratora sa rednim brojevima (referenca je Tabela 3.1-1) .....	24
Slika 3.1-2 Geografska pozicija polja vetrogeneratora u odnosu na meteorološki radar na Jastrepcu i radara MITSUBISHI RC34A .....	25
Slika 3.1-3 Geografska lokacija pojedinačnih vetrogeneratora na polju RAŽANJ 3 u odnosu na meteorološki radar MITSUBISHI RC34A .....	26
Slika 4.1-1 Sferni koordinatni sistem za proračun ERP-a. R predstavlja lokaciju radara.....	28
Slika 4.1-2 Uticaj položaja lopatica rotora vetrogeneratora na ERP.....	29
Slika 4.1-3 Zavisnost ERP od ugla rotora vetrogeneratora .....	30
Slika 4.1-4 ERP dobijen simulacijom vetroturbine <b>V 162 - 6.2 MW - 149HH</b> (stub u glavnom snopu radara) .....	31
Slika 4.1-5 ERP dobijen simulacijom vetroturbine <b>V 162 - 6.2 MW - 149HH</b> (veći opseg elevacionih uglova) .....	32
Slika 4.1-6 Radijalna brzina lopatica rotora vetrogeneratora <b>V 162 - 6.2 MW - 149HH</b> .....	34
Slika 6.1-1 Dijagram zračenja antene radara MITSUBISHI RC 34A.....	37
Slika 6.2-1 Uticaj orografske prepreke na osmatranje vetrogeneratora radarom .....	40
Slika 6.2-2 Prostorna raspodela vetrogeneratora na lokaciji RAŽANJ 3 u odnosu na meteorološki radar T49 MITSUBISHI RC34A u Kruševcu. Na apscisu je azimutalni ugao pod kojim radar detektuje vetrogenerator a na ordinati je dato rastojanje od radara.....	44

Slika 6.2-3 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 .....	44
Slika 6.2-4 Intenziteti signala u radarskoj matrici (prikazuju se na ekranu radara) za prostorni raspored vetrogeneratora sa Slika 6.2-3. Pretpostavljeno je da je intenzitet reflektovanog signala u glavnom snopu radara 36.71 dBZ .....	45
Slika 6.2-5 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 .....	45
Slika 6.2-6 Intenziteti signala u radarskoj matrici (prikazuju se na ekranu radara) za prostorni raspored vetrogeneratora sa Slika 6.2-5. Pretpostavljeno je da je intenzitet reflektovanog signala u glavnom snopu radara 36,71 dBZ .....	46
Slika 6.2-7 Radarska reflektivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 1 <sup>0</sup> .....	48
Slika 6.2-8 Radarska reflektivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 1.5 <sup>0</sup> .....	48
Slika 6.2-9 Radarska reflektivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 2 <sup>0</sup> .....	49
Slika 6.2-10 Radarska reflektivnost [dBZ] od pojedinačnih vetrogeneratora pri osmatranju na elevaciji 2.5 <sup>0</sup> .....	49
Slika 6.2-11 Izgled vetroparka RAŽANJ 3 na PPI pokazivaču radara u Kruševcu pri najnižoj elevaciji radarske antene i daljini osmatranja od 120km (levo) i izgled displeja MAX produkta jednog oblačnog sistema (nasumično odabranog) .....	51
Slika 6.2-12 Klasteri vetroparka RAŽANJ 3 za elevaciju antene od 1 <sup>0</sup> .....	51

## 11 Spisak tabela

Tabela 1.1-1 Preporuka Svetske meteorološke organizacije za instalaciju polja vetrogeneratora u zoni osmatranja meteorološkog radara .....	9
Tabela 1.1-2 Preporuka OPERA grupe o kohabitaciji meteoroloških radara i vetrogeneratora .....	9
Tabela 2.2-1 Radarske karakteristike predloženih vetroturbina .....	18

Tabela 3.1-1 Geografske koordinate vetrogeneratora u vetro parku na lokaciji RAŽANJ 3 .....	23
Tabela 6.2-1 Procentualna radarska vidljivost sa meteorološkog radara MITSUBISHI RC34A svakog od vetrogeneratora na lokaciji RAŽANJ 3 sa posebnim osvrtom na vidljivost rotorskih lopatica kao dela vetrogeneratora sa najvećim doprinosom klateru.....	43
Tabela 6.2-2 Vrednosti refleksivnosti vetrogeneratora po elevacijama skaniranja radara MITSUBISHI RC34A (NaN nije detektovan) .....	50



Република Србија  
РЕПУБЛИЧКИ ХИДРОМЕТЕОРОЛОШКИ ЗАВОД  
Београд, Кнеза Вишеслава 66, поштански фах 100  
Тел.: 30 50 923, факс: 30 50 847, e-mail: office@hidmet.gov.rs



Број: 03-922-3-133/ 23  
Датум: 29.08.2023. године  
БЕОГРАД

ОПШТИНА РАЖАЊ  
ОПШТИНСКА УПРАВА  
Одељење за друштвене делатности, општу управу, правне и заједничке послове  
Одсек за планирање, урбанизам, изградњу и озакоњење  
ТРГ СВЕТОГ САВЕ БРОЈ 33  
37215 РАЖАЊ

**Предмет:** Информација о метеоролошким, хидролошким и лансирним (противградним) станицама и њиховој евентуалној заштити за потребе израде Плана детаљне регулације за изградњу ветроелектране "Ражањ 3" на територији општине Ражањ

У вези са захтевом број 350-45-11/2023-02 од 16.08.2023. године, наш број 03-922-3-133/23 од 24.08.2023., којим тражите податке за израду Плана детаљне регулације за изградњу ветроелектране "Ражањ 3" на територији општине Ражањ (у даљем тексту План), односно податке о метеоролошким, хидролошким и противградним станицама и њиховој евентуалној заштити, обавештавамо вас следеће:

- Законом о метеоролошкој и хидролошкој делатности (Службени Гласник РС бр.88/10) и Уредбом о утврђивању локација метеоролошких и хидролошких станица државних мрежа и заштитних зона у околини тих станица, као и врстама ограничења које се могу увести у заштитним зонама ("Службени гласник РС" бр. 34/13), прецизирани су називи и локације метеоролошких и хидролошких станица које су у надлежности Републичког хидрометеоролошког завода (РХМЗ), као и ограничења која се уводе у заштитним зонама у околини тих станица.

- Законом о одбрани од града ("Службени гласник РС" 54/15), члан 13, предвиђено је увођење заштитних зона око лансирних (противградних) станица, у којима је ограничена изградња нових и реконструкција постојећих објеката и извођења радова који могу нарушити испаливање противградних ракета, које спадају у 1. категорију експлозивних материја. **Изградња нових објеката на одстојању мањем од 500 m од противградних станица Центра за одбрану од града, могућа је само по обезбеђењу посебне сагласности и мишљења РХМЗ.**

1. **Метеоролошке станице** - У границама предметног плана налазе се метеоролошке станице државне мреже:

Редни бр.	Локација	Програм рада	Координате	
			Latitude (°)	Longitude (°)
1	Крушевац	Радарски центар	43.62268700	21.25268800
2	Витошевац	падавинске станице	43.74527222	21.57581389
3	Прасковче	падавинске станице	43.62108889	21.53575556

У горе поменутој уредби у члану 5, су дефинисана ограничења у заштитним зонама у околини метеоролошких станица и услови за увођење ограничења, а у овом случају је посебно важна тачка 6 овог члана:

„6) забрану постављања ветрогенератора у околини радарског центра, у зони полупречника 10 km од локације радарске антене, осим у брдовито-планинским теренима где се ветрогенератор може поставити и на удаљености мањој од 10 km од радарске антене када се највиша тачка ветрогенератора налази испод базе полусфере зрачења радара, уз обавезну израду студије утицаја на радарска осматрања и прибављање сагласности Републичког хидрометеоролошког завода.

Израда студије из тачке 6. став 1. овог члана и прибављање сагласности Завода неопходни су и за постављање ветрогенератора у прстену од 10 km до 30 km.“

Предметним планом предвиђено је да се већи део ветропарка “Ражањ 3” налази у прстену од 10 km до 30 km од радарског центра Крушевац. По наведеној Уредби, неопходно је пре добијања сагласности да се изради и достави студија утицаја на радарска осматрања.

2. Хидролошке станице површинских вода - РХМЗ има успостављену хидролошку станицу:

Редни бр.	Назив водотока	Назив хидролошке станице	УТМ координате положаја станице		Кота “нуле” (m.n.m.)
			X	Y	
1	Јужна Морава	Мојсиње	539230	4831060	135,973 (НВТ2)

2.1 Хидролошке станице подземних вода – РХМЗ нема успостављене хидролошке станице подземних вода на предметном подручју.

3. Лансиране (противградне) станице – У границама предметног Просторног плана, а унутар заштитне зоне од 500 метара, налазе се лансиране (противградне) станице, са којих се током сезоне одбране од града испалају противградне ракете, које спадају у 1. категорију експлозивних материја. Локације лансирних (противградних) станица дате су у табели

Ред. бр.	Назив лансирне станице	Гаус-Кригерове координате		Н (mm)	Општина/ Град
		X	Y		
1	290-Нови Брачин	4847168	7539672	316	Ражањ
2	291-Шетка	4842648	7544364	264	Ражањ
3	292-Чубура	4836134	7542975	412	Ражањ
4	293-Силовац	4847842	7545808	202	Ражањ
5	294-Грабово	4842721	7551352	350	Ражањ
6	295-Црни Као	4835623	7550086	411	Ражањ
7	296-Прасковче	4832177	7544164	260	Ражањ

Изградња нових објеката на одстојању мањем од 500 m од противградних станица Центра за одбрану од града, могућа је само по обезбеђењу посебне сагласности и мишљења РХМЗ.

ДИРЕКТОР  
  
 Проф. др. Југослав Николић, дипл.мет.