

**ROMÂNIA**  
**MINISTERUL APĂRĂRII NAȚIONALE**



*Statul Major al Forțelor Aeriene*

**PARCURILE CU CENTRALE EOLIENE**  
**ȘI IMPACTUL ASUPRA**  
**DESCOPERIRII ȘI URMĂRIRII AERONAVELOR**  
**DE CĂTRE RADARELE DIN CADRUL SISTEMULUI DE**  
**SUPRAVEGHERE AERIANĂ**

**- BUCUREȘTI -**  
**- 2011 -**

NESECRET

În cursul ultimilor ani, s-a depus un efort sporit pentru a explora și documenta impactul pe care turbinele eoliene îl au asupra apărării aeriene și a sistemelor radar. Acest lucru a fost datorat creșterii numărului de parcuri eoliene propuse pentru a fi construite, precum și a numărului de turbine eoliene incluse în aceste parcuri și a creșterii dimensiunilor fizice ale acestora.

Trebuie menționat că atunci când nu se află în radioorizontul radarului sau sunt mascate de teren centralele eoliene nu influențează sistemele radar.

Specialiștii sunt relativ unanimi în opinia că pentru a putea face o evaluare a impactului centralelor eoliene asupra radarelor trebuie definite cel puțin trei zone corespunzătoare diferitelor niveluri de expertizare tehnică, coroborate cu influența centralei/centralelor asupra capacității radarului de a-și îndeplini misiunea pentru care a fost instalat, respectiv o zonă de protecție exclusivă, o zonă în care să se realizeze evaluări detaliate și eventual o zonă în care nu se mai fac evaluări.

În conformitate cu precizările și studiile elaborate la nivelul ICAO și EUROCONTROL, aceste zone sunt prezentate în tabelele de mai jos<sup>1</sup>:

*Tabel 2. Zonele de analiză recomandate pentru radarul secundar*

<b>Zona 1 De protecție</b>	<b>Zona 2 Evaluare detaliată</b>	<b>Zona 3 Nu necesită evaluare</b>
0 - 5 km	5 km - 16 km și în radioorizont	Peste 16 km și în afara radioorizontului

Pentru radarele primare, zonele respective sunt:

*Tabel 3. Zonele de analiză recomandate pentru radarul primar*

<b>Zona 1 De protecție</b>	<b>Zona 2 Evaluare detaliată</b>	<b>Zona 3 Evaluare simplă</b>	<b>Zona 4 Nu necesită evaluare</b>
0 - 5 km	5 km - 15 km și în limita radioorizontului	în limita radioorizontului dar peste 15 km	În afara radioorizontului

Zona de protecție a radarului primar, acolo unde nici o turbină nu ar trebui amplasată, precum și celelalte zone au fost obținute prin studierea practicilor uzitate de mai multe state membre NATO, ICAO și ECAC.

Se poate remarca că pentru radarul secundar nu există zonă de evaluare simplă. Mai departe de 16 km de locul de stație impactul unei centrale eoliene asupra radarului secundar este considerat tolerabil.

În cazul în care între turbina eoliană și radar se află obstacole naturale (forme de relief) sau artificiale (clădiri), efectele turbinelor eoliene asupra radarului pot fi atenuate sau anulate în funcție de gradul de acoperire a turbinei eoliene realizat de aceste obstacole.

Probabilitatea de descoperire scade în regiunea acoperită din spatele turbinei și în spațiul de deasupra și din jurul turbinei, atunci când aceasta se află în radioorizontul unui radar. Atenuarea apare datorită faptului că turbina constituie un obstacol pentru radiația electromagnetică, iar în a doua porțiune de spațiu cantitatea mare de energie reflectată de către turbină determină o creștere a nivelului bruiajului pasiv în acel sector.

Datorită suprafeței efective de reflexie mari și a componentelor lor mobile, turbinele pot determina apariția țintelor false pe radarul primar. Dacă cel mai înalt punct al turbinei este în radioorizontul radarului primar se presupune că aceasta va fi detectată de acesta. De asemenea dacă numărul de ținte false generate de reflexiile de la turbinele eoliene este mult prea mare, astfel încât se

<sup>1</sup> *European Guidance Material on Managing Building Restricted Areas*, The European and North Atlantic Office of ICAO, 2009, p. A-4-1, A-4-2 și *Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors*, Eurocontrol Headquarters, Bruxelles, 2009, p. 27.

depășește capacitatea de procesare a radarului, capacitatea operațională va avea de suferit. Trebuie menționat că în această situație, sectoarele afectate nu depind de zona unde sunt amplasate turbinele ci de configurația internă a sistemului.

Când o turbină eoliană este amplasată în apropierea unui radar (la mai puțin de 15 km pentru radarul primar și la mai puțin de 16 pentru radarul secundar) se va face o evaluare detaliată. Acest studiu de impact trebuie să ia în calcul următoarele aspecte: acoperirile ce apar, țintele false generate, erorile în determinarea distanței sau azimutului, depășirea capacității de procesare și saturarea receptorului în cazul radarului primar, iar pentru radarul secundar probabilitatea de descoperire, apariția țintelor false și precizia în determinarea coordonatelor.

Acoperirile și saturarea receptorului vor fi abordate din perspectiva probabilității de descoperire descrise mai sus.

O evaluare detaliată privind apariția țintelor false trebuie să includă:

- un calcul al cantității de energie reflectate de către centrala eoliană care să țină cont de: diferitele orientări ale nacelei, pozițiilor palelor, frecvențele radar, condițiile de mediu și de reflexiile din zona apropiată;
- impactul energiei electrice produse în termeni de afișare a țintelor fixe având în vedere următoarele: sensibilitatea receptorului, reglarea automată în timp a amplificării, tipul de antenă, filtrarea Doppler, puterea minimă la recepție.

Pe lângă acestea, un alt mecanism ce poate genera ținte false îl constituie recepția semnalelor provenite de la ținte reale dar reflectate de turbină sau de reflexii de la turbina eoliană care ajung apoi să se reflecte de la aeronave. Există patru cazuri referitoare la trinomul radar – turbină eoliană – aeronavă unde apar ecouri secundare datorate semnalelor reflectate ce pot fi recepționate de radiolocator..

La fel ca și în cazul radarului primar, radarul secundar este afectat de regiunile cu acoperiri. Dacă o turbină eoliană se află în apropierea unui radar secundar poate influența negativ posibilitatea de descoperire a unei aeronave aflate pe același azimut cu turbina.

Se consideră distanța de 16 km ca fiind limita dintre zona 2 SSR (de evaluare detaliată) și zona 4 SSR (care nu necesită evaluare).

Datorită reflexiilor semnalului de interogare, ale semnalului de răspuns sau ale ambelor semnale pe suprafața turbinei eoliene pot apărea ținte false.

Astfel, în cazul în care turbina eoliană este amplasată la o distanță de 16 km de SSR iar distanța dintre transponder și turbina eoliană este mai mică de 5250 m, atunci transponderul nu va răspunde semnalului de interogare reflectat de către turbina eoliană datorită folosirii ISLS. De asemenea, transponderul nu va răspunde nici în cazul în care distanța dintre transponder și turbina eoliană este mai mare de 5250 m deoarece puterea semnalului de interogare reflectat recepționat de transponder este mai mică decât puterea minimă la recepție.

Erorile în determinarea coordonatelor pentru radarul secundar apar atunci când apare o ușoară diferență de drum între semnalul direct și cel reflectat așa cum se poate vedea în figura 22.

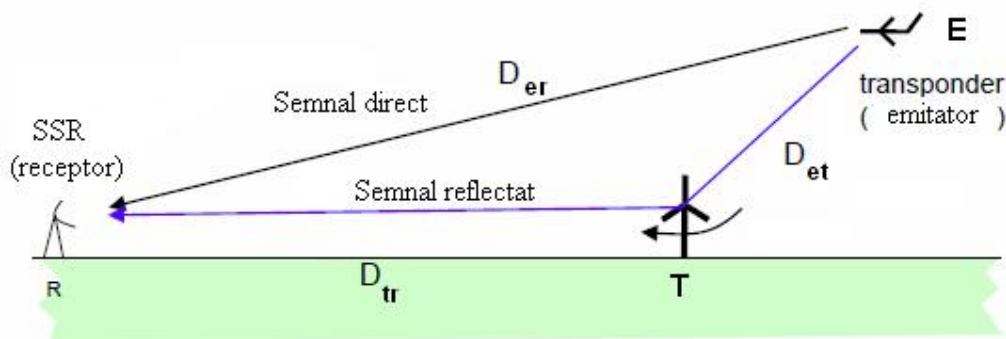


Figura 28. Reflexia semnalului de răspuns al radarului secundar

Dacă criteriul diferenței de drum de mai sus este îndeplinit, atunci acest lucru va influența capacitatea de determinare a azimutului dacă raportul dintre semnalul direct și cel reflectat este mai mic decât un anumit prag.

Raportul dintre semnalul de răspuns direct și cel reflectat poate fi calculat având în vedere următoarele:

- atenuările de propagare ale semnalului de la radarul secundar către turbină și către aeronavă sunt similare;
- atenuările de propagare ale semnalului între transponder și turbină, și între transponder și radarul secundar sunt similare;
- câștigul antenei transponderului este același atât pe direcția turbinei eoliene cât și pe direcția radarului secundar;
- câștigul antenei radarului secundar este același atât pe direcția turbinei eoliene cât și pe direcția transponderului.

**Având în vedere raționamentele anterioare putem afirma că atunci când distanța dintre SSR și turbina eoliană este mai mare 16 km, impactul asupra preciziei în determinarea azimutului este acceptabil indiferent de diferența de drum dintre semnalul direct și cel reflectat.**

*Trebuie menționat că în cazul parcurilor de centrale eoliene toate calcule trebuie refăcute pentru fiecare centrală în parte.*

În urma dispunerii la diferite distanțe în apropierea parcurilor eoliene a unor radare și executarea unor zboruri planificate au rezultat următoarele:

- radarul este puternic influențat de reflexiile datorate suprafeței efective de reflexie a turbinelor centralelor eoliene, combinată cu schimbarea de frecvență Doppler produsă de rotirea palelor acestora, influență materializată pe harta Doppler furnizată de radar, în care parcul cu centrale eoliene apare ca o formațiune de relief bine pronunțată și care nu este înlăturată prin creșterea pragului de procesare a semnalului ;

- intensitatea reflexiilor este influențată de viteza de rotație a palelor centralelor eoliene (viteza și intensitatea vântului), precum și de numărul centralelor eoliene aflate în funcțiune la momentul respectiv;

- pe ecranele radarelor, în zona parcului eolian, se inițializează ploturi primare (PSR) care se mențin mai multe perioade de scanare/treceri de antenă, inițializându-se chiar și track-uri, care au o viteză variabilă de la 150 la 850 km/h și înălțimi variind de la 100m la 6500m, evoluția acestora în azimut, distanță, înălțime și viteză fiind total aleatoare pentru același track ID; numărul acestora este influențat de viteza de rotație a palelor centralelor eoliene (viteza și intensitatea vântului), precum și de numărul centralelor eoliene aflate în funcțiune la momentul respectiv;

- în evoluția țintelor aeriene la înălțimi de peste 500m, deasupra și în spatele parcului eolian, se manifestă discontinuități în urmărirea acestora, adică se pierde semnalul pe mai multe perioade (3 la 10/ 30 secunde la 100 secunde) de sondare a spațiului aerian (treceri de antenă), în principal pe radarul primar (PSR), dar și pe cel secundar (SSR).

- **țintele aeriene care au evoluat la înălțimi de sub 400m, deasupra și în spatele parcului eolian nu au putut fi urmărite pe fondul reflexiilor de la centralele eoliene.**

- manifestările prezentate mai sus au fost comune ambelor poziții de dislocare de pe care s-a executat cercetarea spațiului aerian.

În concluzie, putem afirma că impactul suprafeței efective de reflexie a turbinelor centralelor eoliene, combinată cu schimbarea de frecvență Doppler produsă de rotirea palelor acestora, asupra radarelor este semnificativ afectând negativ capacitatea radarelor de a diferenția reflexiile de la turbinele eoliene de cele de la o aeronavă aflată în zbor, în zona respectivă.

Analizând influența construcției centralelor/parcurilor eoliene asupra performanțelor unui radar, concluzia, fără echivoc, este aceea că acestea au un impact negativ asupra capacității

radarului de a-și îndeplini funcțiunile de bază atunci când acestea sunt amplasate în zona de supraveghere a radarului. Amploarea impactului va depinde de mai mulți factori cum ar fi: poziția turbinei și a palelor față de fascicolul radar, precum și de numărul acestora și distanțele dintre ele.

Turbinele eoliene afectează în mod diferit radarul primar (PSR) și cel secundar (SSR) datorită particularităților constructive ale celor două tipuri de radare.

Astfel **în cazul radarelor primare (PSR)**, când turbina eoliană este amplasată la o distanța mai mică decât cea a orizontului radio apar următoarele efecte:

1. Reducerea probabilității de detecție a țintelor datorită:
  - zonei de umbrire din spatele turbinei eoliene, zonă ce se întinde până la distanța maximă de descoperire a radarului, datorită faptului că turbina reprezintă un obstacol în calea propagării undelor electromagnetice;
  - creșterii nivelului pragului alarmelor false (CFAR) în cadrul celulei de rezoluție azimut-distanță în care se află situată turbina precum și în celulele adiacente acesteia, și mai ales într-un număr de 1-16 celule de rezoluție aflate deasupra celulei în care se află turbina eoliană, ca urmare a nivelului mare al semnalului reflectat de către turbina eoliană. Dimensiunea acestei celule azimut-distanță depinde de tipul radarului și de algoritmul folosit de acesta la prelucrarea semnalului recepționat.
2. Apariția de ținte false pe azimutul pe care se află turbina eoliană ca urmare a reflexiei semnalului emis de radar pe structura fizică a turbinei eoliene. Aceste ținte pot fi:
  - ținte fixe datorate reflexiilor de la turnul sau nacela turbinei eoliene și pot fi eliminate doar de radarele prevăzute cu sisteme de selecție a țintelor mobile (SȚM sau MTI).
  - ținte mobile datorate reflexiilor de la palele turbinei eoliene, care datorită dimensiunilor pe care le au, la vitezele normale de lucru, produc semnale reflectate ale căror frecvențe Doppler corespund unor viteze cuprinse între 100-300km/h. Datorită acestui fapt, aceste ținte mobile nu pot fi eliminate în totalitate de către sistemele MTI ale radarelor; țintele false mobile care nu pot fi eliminate vor fi afișate și vor forma și traiecte aleatoare în zona de amplasare a turbinelor eoliene.
3. Apariția de ținte mobile false (țintă imagine a unei ținte reale) pe azimutul turbinei eoliene ca urmare a reflexiei semnalului ecou al unei ținte reale de către turbina eoliană, în cazul în care ținta reală se află în apropierea turbinei eoliene sau în apropierea radarului.
4. Apariția de ținte mobile false pe azimutul unei ținte reale ca urmare a ca urmare a reflexiei semnalului de sondaj al radarului de către turbina eoliană, în cazul în care ținta reală se află în apropierea turbinei eoliene sau în apropierea radarului.
5. Supraîncărcarea procesorului de date radar. Această supraîncărcare apare în cazul în care numărul total de ploturi (inclusiv cele provenite de la reflexiile datorate turbinelor eoliene) este mai mare decât capacitatea de prelucrare a procesorului de date radar, fapt de face ca procesorul de date radar să aplice metode specifice de evitare a supraîncărcării. Acest fapt are un impact major asupra capacității operaționale a radarului și nu depinde de zona de amplasare a turbinelor eoliene.
6. Apariția erorilor în determinarea distanței și azimutului țintelor reale. Atunci când între semnalul direct și semnalul reflectat există o mică diferență de drum, semnalul recepționat va fi o combinație a celor semnale, ceea ce va duce la erori în determinarea coordonatelor (azimut și distanță) țintelor reale. Acest efect apare în cazul țintelor aflate pe același sector de azimut cu turbina eoliană și la o distanță față de radar mai mare decât distanța la care se află turbina eoliană.
7. Saturarea receptorului radarului. În anumite cazuri, când turbina eoliană este amplasată aproape de poziția radarului, cantitatea de energie reflectată de turbina eoliană este foarte mare, ceea ce poate duce la saturarea receptorului radarului, fapt ce duce la afectarea majoră a probabilității de detecție a țintelor.

Pe de altă parte, în **cazul radarului secundar (SSR)**, când turbina eoliană este amplasată la o distanță mai mică decât cea a orizontului radio apar următoarele efecte:

1. Reducerea probabilității de detecție a țintelor și a probabilității de detecție a răspunsurilor în modurile A și C datorită zonei de umbră din spatele turbinei eoliene, zonă care în cazul în care distanța dintre SSR și turbina eoliană este mai mare de 16 km, are dimensiuni mici, ce nu afectează decât țintele aflate pe același azimut cu turbina eoliană și în imediata vecinătate a turbinei eoliene.

2. Apariția țintelor false datorată reflexiei semnalului de interogare sau a semnalului de răspuns sau a ambelor semnale pe suprafața turbinei eoliene. Deși majoritatea sistemelor SSR folosesc hărți ale țintelor fixe (ale reflexiilor din teren) pentru suprimarea semnalelor de răspuns ale țintelor reflectate de acestea, în cazul turbinelor eoliene, datorită particularităților lor constructive, această metodă nu este eficientă deoarece acestea nu sunt văzute ca obiecte fixe de către SSR. Acest efect este înlăturat prin poziționarea turbinei eoliene față de poziția radarului la o distanță mai mare de 16 km și prin implementarea mecanismului ISLS la transponderele aeronavelor.

3. Apariția erorilor în determinarea distanței și azimutului țintelor reale. Atunci când între semnalul direct și semnalul reflectat există o mică diferență de drum, semnalul recepționat va fi o combinație a celor semnale, ceea ce va duce la erori în determinarea coordonatelor (azimut și distanță) țintelor reale. Datorită particularităților constructive ale radarelor SSR impactul asupra preciziei de determinare a coordonatelor este considerat ca fiind tolerabil, în cazul în care distanța dintre radar și turbina eoliană este mai mare de 16 km, indiferent de diferența de drum dintre semnalul direct și cel reflectat.

*Rezultatele au demonstrat că suprafața efectivă de reflexie mare a unei turbine eoliene combinată cu schimbarea de frecvență Doppler produsă de rotirea palelor acesteia poate afecta capacitatea unui radar de a diferenția turbinele eoliene de o aeronavă.*

Aceste teste au demonstrat, de asemenea, că parcurile eoliene au potențialul de a altera capacitatea de localizare, ca urmare a efectelor de umbră și a ecourilor parazite produse pe indicatorul radarului.

Amplasarea centralelor eoliene în apropierea radarelor face aproape imposibilă descoperirea aeronavelor care evoluează la înălțimi mici, fapt ce afectează executarea misiunilor de către subunitățile de radiolocație din subordinea Statului Major al Forțelor Aeriene.

Conform celor prezentate, coroborat cu studii similare dezvoltate în statele mai sus menționate sau de către EUROCONTROL, rezultă că efectele produse de centralele eoliene asupra radarelor (PSR și SSR) au un impact major asupra capacității operaționale a radarelor și ca urmare distanțele la care acestea pot fi amplasate față de locul de stație al radarului trebuie să fie reglementate pe baza unui act normativ, asigurându-se astfel baza legală pentru acordarea sau nu a avizelor pentru Planurile Urbanistice Zonale.

Dincolo de limita orizontului radio nu sunt restricții de amplasare a centralelor eoliene deoarece, în acest caz, acestea nu afectează capacitatea operațională a radarelor.

Concluziile de mai sus țin seama doar de acoperirile generate de turbinele eoliene, dar, după cum am văzut pe parcursul lucrării, pot apărea și alte efecte negative generate de poziționarea acestora în zona de descoperire a radarului. Aceste efecte vor fi determinate pentru fiecare caz în parte atât pe baza calculelor teoretice, cât și pe baza măsurătorilor din teren efectuate cu radare mobile amplasate în zone unde există deja construite centrale eoliene și prin efectuarea de zboruri în aceste regiuni.

Măsurile actuale pentru prevenirea oricăror alterări ale performanțelor radarelor sunt limitate la metodele care evită amplasarea turbinelor eoliene în zona de observare radar. Aceste atenuări pot fi realizate prin distanță, mascarea terenului sau prin forma reliefului și trebuie să fie examinate de la caz la caz.

S-au inițiat eforturi de cercetare și dezvoltare pentru elaborarea unor strategii de atenuare suplimentară care, în viitor, ar putea permite turbinelor eoliene să fie amplasate în zona de supraveghere a radarelor fără a avea vreun impact asupra performanțelor acestora. Eforturile de dezvoltare ar trebui să fie continuate. Viitoarele tehnici de atenuare vor necesita o testare adecvată și de validare înainte de a putea fi folosite.

Având în vedere creșterea preconizată în dezvoltarea energiei eoliene, procedurile existente de amplasare precum și abordările privind atenuarea efectelor acestora trebuie să fie revizuite și consolidate în scopul de a asigura dezvoltarea continuă a acestei resurse importante de energie regenerabile menținând în același timp capacitatea vitală de apărare. Toate aceste considerente vor fi corelate cu cerințele și indicațiile structurilor internaționale în domeniul aeronautic la care România este parte.

## BIBLIOGRAFIE

1. \*\*\*\* *Studiul privind impactul dezvoltării parcurilor cu centrale eoliene asupra detecției țintelor aeriene de către radarele din cadrul sistemului de supraveghere aeriană*, Forțelor Aeriene, 2011
2. \*\*\* *European Guidance Material on Managing Building Restricted Areas*, The European and North Atlantic Office of ICAO, 2009;
3. \*\*\* *Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors*, Eurocontrol Headquarters, Bruxelles, 2009;
4. \*\*\* F.A./Rdlc.-1, *Manualul pentru întrebuințarea Centrului de Supraveghere Aeriană*, Statul Major al Forțelor Aeriene, București, 2010;
5. \*\*\* *Memoratorul trupelor radiotehnice*, Ministerul Apărării Naționale, București, 1982;
6. \*\*\* F.A.-8/3, *Manualul specialistului de radiolocație*, Statul Major al Forțelor Aeriene, București, 2006;
7. \*\*\* F.A./Rdlc.-2, *Manualul pentru întrebuințarea radarului FPS-117*, Statul Major al Forțelor Aeriene, București, 2002;
8. \*\*\* *Report to the Congressional Defense Committees, The Effect of Windmill Farms On Military Readiness*, Office of the Director of Defense Research and Engineering, Washington, 2006;
9. \*\*\* *CAA Policy and Guidelines on Wind Turbines*, UK Civil Aviation Authority, Londra, 2010;
10. \*\*\* *ICAO Annex 10 Volume IV 4th edition*, July 2007
11. \*\*\* *Assessment of the Effects of Wind Turbines on Air Traffic Control Radars - NTIA Technical Report TR-08-454*, National Telecommunication and Information Administration, July 2008, <http://www.its.bldrdoc.gov/pub/ntia-rpt/08-454/08-454.pdf>;
12. \*\*\* *Windmills characteristics*, Danish Wind Industry Association Wiki, [http://wiki.windpower.org/index.php/Main\\_Page](http://wiki.windpower.org/index.php/Main_Page);  
\*\*\* *Influence of Windmill Activity on Radiolocation Means*, Lockheed Martin MS2, August 10, 2011.