

**THE EFFECT OF WIND TURBINES
ON RADARS****SZÉLERŐMŰVEK HATÁSA
A RADAROKRA**BRAUN András¹**Abstract**

In Hungary, military facilities equipped with three-dimensional radar can be found in three settlements in different parts of the country. Bánkút, Medina and Békéscsaba. These radars can detect air targets at different angles, altitudes and distances. In my research, I investigate the expected effect of the wind farm to be built near Medina on the radiated microwave signals. I describe the anomalies and system-level degradation of radar, both with the help of pictures and diagrams, and I also write about electromagnetic wave propagation and jamming. I carry out experimental measurements and calculations, then I compare the obtained data in case of real radars and wind farms that can be installed in their vicinity. After the results obtained, I analyse the data and make a proposal for the elimination, mitigation and solution of problems in the future.

Keywords

Wind farm, RAT-31DL radar, Military Technology

Absztrakt

Magyarországon három településén, az ország különböző pontjain, található háromdimenziós radarral felszerelt katonai létesítmény. Bánkút, Medina és Békéscsaba. Ezen radarok különböző oldalszögeken, különböző magasságokon és távolságokon képesek a légi célokat felderíteni. Kutatómunkám során Medina település közelében épülő szélenergiafarm várható hatását vizsgálom a kisugárzott mikrohullámú jelekre. Ismertetem a radar leképezési anomáliáit, rendszerszintű degradációit, képek és ábrák segítségével egyaránt, illetve írok az elektromágneses hullámterjedésről és a zavarásról is. Kísérleti méréseket, számításokat végzek, majd összehasonlítom a kapott adatokat a valós radarok és azok környékén telepíthető szélenergiafarmok esetén. A kapott eredmények után elemzem az adatokat és javaslatot teszek a problémák jövőbeni kiküszöbölésére, enyhítésére, megoldására.

Kulcsszavak

Szélenergiafarm, RAT-31DL radar, Haditechnika

¹ braun.andras92@gmail.com | ORCID: 0009-0008-3958-5751 | Military and Safety Technology Engineer, Radar Engineer, Certified Security Engineer, HBBB INVEST Kft. | Had- és biztonságtechnikai mérnök, Radar mérnök, Okleveles biztonságtechnikai mérnök, HBBB INVEST Kft.

BEVEZETÉS

A szélerőművek hatásának vizsgálata a radarokra ismertetése és vázolása után, különböző mérések, számítások és megállapítások fogják alátámasztani az általam leírtakat, konkrétan a RAT-31DL három dimenziós radarok segítségével. Ilyen például a medinai radar, ahol egy a közeli Németkér falu melletti területen építendő 16 darab szélerőművel, szélerőműparkkal vetem össze, melyet vizsgálok nulla és egy darab szélerőmű esetén is. A témához szükséges szakirodalmak gyűjtésekor a Nemzeti Közszerológiai Egyetem könyvtárában, de nagy részben az interneten és a különböző konferenciák előadásából végeztem kutatómunkát. Munkám elkészítéséhez főképp online elérhető folyóiratokat, cikkeket, konferencián meghallgatott előadásokat használtam fel. Rendelkezésemre álltak még a munkám során talált, idegen nyelvről fordított, kapott céges dokumentumok, gyakorlati mérések, illetve az eddig szerzett tapasztalataim. Ebben a témában még nem jelent meg ezzel a területtel foglalkozó felhasználható magyar nyelvű tanulmány, a meglévő 1-2 általánosíthatón kívül, s ezért is igazán érdekes ennek a témának az összefoglaló feldolgozása. Az általam szemléltetett és vizsgált problémák, valamint összefüggések csak egy kis részei ennek a hatalmas témakörnek, mellyel manapság is, de hamarosan a jövőben is rengetegen foglalkozni.

A RADAROK MŰKÖDÉSE ÉS ALKALMAZÁSA

A radar, mint rádiófelderítő és meghatározó eszköz, a II. Világháború óta ismert. A radar a célpontot rádióhullámok segítségével deríti fel és a tárgyak térbeli helyzetét térképszerűen ábrázolja.[1] A rádióhullámok füstön, felhőn, ködön, még falakon is áttérjednek, a fény számára áthatolhatatlan tárgyon is kitűnően látnak.[2] Az antenna rádióhullámokat sugároz ki, majd várja a kibocsájtott jel visszaverődő hullámait. Egyszerre több jelet is kiséleg, hogy rövid idő alatt minél több irányba derítsen, s eközben az antenna folyamatosan forog, forgó mozgást végez. A radarok kibocsájtott impulzusait úgy kell időzíteni, hogy legyen ideje a már elküldött jel visszaérkezésének is, mielőtt még a következő impulzust elküldené az antenna.[3] A visszavert jelből megmérhető egy célpont távolsága, különböző radaroknál a magassága is.

A rádiólokátorok osztályozási módok:

- Üzem szerint: folytonos vagy impulzusüzemű.
- Használatos hullámhossz szerint: méteres, deciméteres, milliméteres hullámhosszú.
- Elsődleges feladat szerint: követés, keresés.
- Telepítés helye szerint: hajó, földi, repülőgép stb.

Az aktív radarok alapvető eleme az antenna és a tápvonalrendszer, az indikátor, az adó-vevő, az antennavezérlő rendszer, valamint az áramforrás. A passzív üzemű radaroknak nincs adóberendezése. A folyamatos üzemű radarok a kiválasztott céltárgy radiális sebességének meghatározása a Doppler-effektus felhasználásával alkalmasak. A Doppler-effektus a hullám frekvenciájában és ezzel együtt a hullámhosszban megjelenő változás, mely amiatt alakul ki, hogy a hullámforrás és a megfigyelő egymáshoz képest mozog. Az antenna által a légtérbe kisugárzott nagyfrekvenciás energia, melyet az adó állított elő 3×10^8 m/s

sebességgel terjed. Majd egy célpontról, céltárgyról visszaverődött jelet a vevőantenna fel fogja, a vevő erősíti, majd az indikátor képernyőre juttatja, ahol látható információvá alakul át.

A rádiólokáció alkalmazása polgári életben:

- Iparban: kutatás és hiba helymeghatározás, megfigyelés.
- Meteorológiában: koordináták meghatározása, szélsébség mérése és az időjárás előrejelzése, felhők vándorlásának megfigyelése.
- Közlekedésben: földi, vízi és légi járművek felkutatása, irányítása, sebesség és egyéb koordináták megállapítása, balesetek esetleges megelőzése.
- Mezőgazdaságban: terménybecslés.

A rádiólokáció alkalmazása a hadseregben:

- Felismerés és zavarás.
- Célfelderítés, célkövetés, célpont meghatározás és tűzvezetés, célelfogás.
- Repülőgépek fel- és leszállásának irányítása, cél koordinátáinak meghatározása és az ellenséges célra való rávezetés.
- Parancsjeles távvezérlés, mélységmérés és kikötőbe bevezetés, rakéták és torpedók irányítása.

RAT-31-DL HÁROMDIMENZIÓS RADAR

A RAT-31 DL² egy nagy hatótávolságú háromdimenziós radar, mely felügyeletet és felderítést biztosít a légi járművek felett. A legkorszerűbb radar rendszer, melyet a katonai légvédelemben működtetnek. [4] Antennája szélessávú dipólokból felépített fázisvezérelt antennarács, s felderítési hatótávolsága 470 km. A radar túlélhetőséget biztosít, valamint sokoldalú működési rugalmasságot a különböző ellenséges zavarokkal szemben. Teljesen félvezetős, távvezérelhető, adóteljesítménye 84 kW, D/L sáv 1215-1400 MHz, IFF³ rendszere Mode 4 és Mode S, illetve Mode 5. Adott esetekben légi irányításként is alkalmazható, hiszen a légi felügyelet mellett korai figyelmeztetést és helyzet felismerést tesz lehetővé a fegyverrendszerek időbeni alkalmazásához. Célja, rendeltetése az ECM⁴ környezet és a clutter⁵ feltérképezése, a feldolgozott plotok továbbítása, a radar felderítési tartományában tartózkodó repülő eszközök felderítése, valamint a térbeli koordináták, a távolság, oldalszög és magasság meghatározása.

A RAT-31 DL radarról elmondható, hogy rendelkezik az összes olyan modern adatfeldolgozó képességgel, mint például az adaptív zavartérképek, illetve az összes modern zavarászűrő technikával az ismert szárazföldi objektumokra. Az irányszögbéli forgása mechanikusan, míg a fősugár szögmagassága elektronikusan, fázisvezérléses elven, azaz fázisváltókkal történik. A radar antennafelülete körülbelül 10⁰-al vissza van döntve annak érdekében, hogy a lehetséges legalacsonyabb radarsugár szögértéket érjük el. Létrehozták

2 RAT31-DL - olasz gyártású háromdimenziós felderítő radar

3 IFF – Identification Friend or Foe, Barát vagy ellenség rádiófelismerés, egy az irányításra és ellenőrzésre tervezett azonosítási rendszer. Lehetővé teszi a katonai és polgári légi forgalomirányító rendszerek számára, hogy azonosítsák a repülőgépeket, járműveket vagy erőket barátként és meghatározzák a kérdezőtől való irányukat, illetve távolságukat.

4 ECM – Electronic Countermeasure, Elektronikai ellentevékenység.

5 Clutter – Zavar, zavaró tényező.

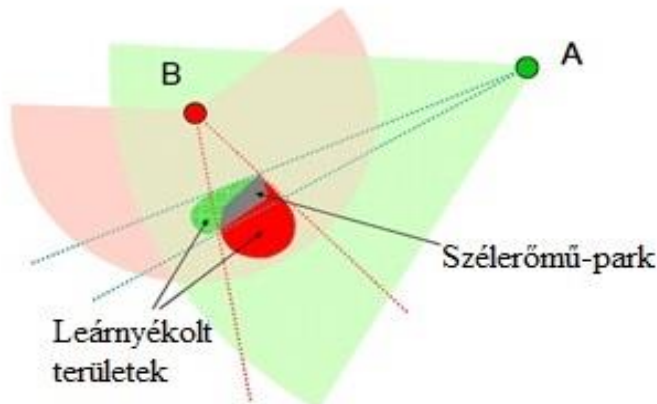
az idők során a RAT-31 DL/M verzióját, mely a mobil, szállítható verzióját takarja, eme korszerű háromdimenziós radar rendszernek. Paramétereikben, tulajdonságaikban szinte teljesen megegyeznek, a legnagyobb különbség a mobilitásban lelhető fel.[5]

SZÉLERŐMŰVEK HATÁSA A KISUGÁRZOTT JELEKRE

Korábbi tanulmányok igazolják, hogy az elektromágneses energia terjedésére hatással vannak a szélerőművek, hiszen felépítésük után a szélerőművek mögött olyan térrész alakul ki egy adott irányban, ahol csökkentett teljesítménnyel fog tovább haladni a radar által kisugárzott elektromágneses energia.[4] A kisugárzott energia egy része a radar irányába visszaverődik, másik része szétszóródik, melyek oka a beton, fém, illetve a terjedés szempontjából átlátható turbinalapát felületei, harmadik része pedig megfelelően halad tovább a légi jármű irányába.[6] A légi járművekről visszaérkező, tehát a visszavert jelek, a már említett hatásokat ismételten elszenvedik, s ennek eredményeként a légi járművek detektálási valószínűsége, nyomon követése, felderíthetősége lecsökken, illetve megszűnik.

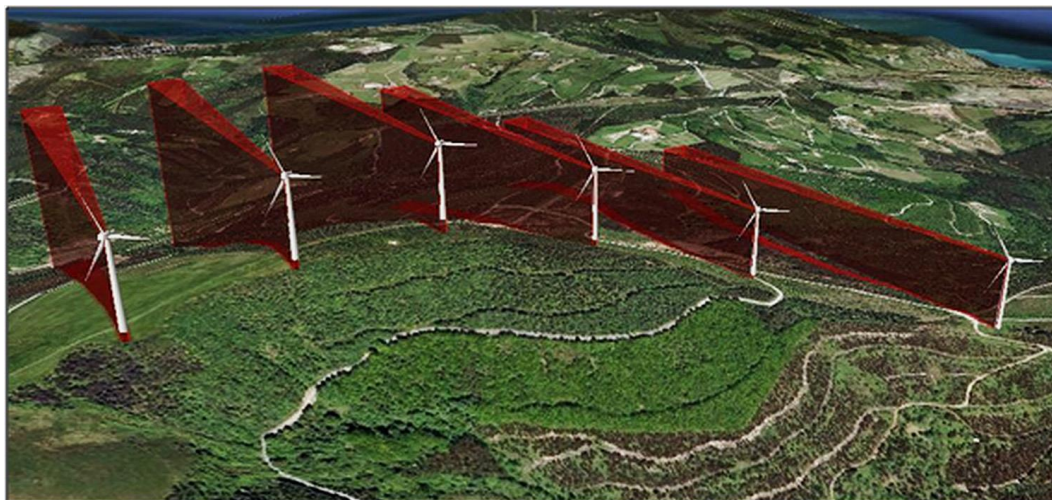
RADAR LEKÉPEZÉSI ANOMÁLIÁK

A szélerőművek nem „kerítésként” működnek, így nem okoznak maguk mögött vak-foltokat, de néhány irányban enyhe mezőgyengülés tapasztalható (1. ábra), s semmiképp sem a ferdetávolság csökkenését kell kiemelni, hanem a felderítési valószínűség csökkenését.[7]



1. ábra: A szélerőművek által árnyékolt területek, ahol A és B radarok, a szerző szerkesztése

A hamis jelek, azaz a célok száma jelentősen megnő a szélerőművek környezetében, s emiatt a zavarjelek lehetséges célként jelennek meg a légtérellenőrző rendszerek, illetve radarok kijelzőin, indikátorain (2. ábra). Ezáltal két probléma merül fel: Az egyik, ami a fontosabb, hogy a radar által feldolgozható jelek száma véges, így a jelfeldolgozás túlterhelte és telítetté válik. A másik kevésbé, de szinté fontos, hogy a kezelőszemélyzetnek jobban oda kell figyelnie, ami leterheltséget és figyelem elvonást eredményezhet.[4]



2.ábra: Szélerőművek árnyékolása, a szerző szerkesztése

RENDSZERSZINTŰ DEGRADÁCIÓK

A szélerőművek hatása egyaránt érvényesül a céltárgyakra és a clutterekre is. Két fő csoportba oszthatók melyek szerint van statikus (torony, gondola) és dinamikus (lapátok) szórás. A statikus szórás a céltárgyakra szellemképet eredményezhet, illetve megnövekedett mérési hibákat okoz. A clutterekre pedig úgy hat, hogy áthelyezi, átpozicionálja őket a térben, ahol az álló földi clutterek nem kerülnek áthelyezésre a sebességtérben.[1] Dinamikus szórás esetén a céltárgyakra gyakorolt hatása szerint hamis, ugráló plotok⁶ jönnek létre, illetve ugyan úgy, mint a statikusnál, itt is megnövekedett mérési hibákat okoz. Viszont itt már a clutterekre jobban kihatással vannak, hiszen pozíciótérben ugráló clutterekről beszélünk és az álló földi clutterek is áthelyezésre kerülnek a sebességtérben.

Rendszerszintű PSR⁷ degradációk:

- Tracker⁸ telítésbe vétele.
- Lehetséges vevő szaturáció.
- Hamis (ghost) plotok.
- Redukált detekciós valószínűség (Pd)⁹.
- Távolság- és szögmérési pontatlanság.

Rendszerszintű SSR¹⁰ degradációk:

- Hamis (ghost) plotok.
- Távolság- és szögmérés pontatlanság.
- Redukált detekciós valószínűség (Pd).
- Tracker telítésbe vétele.

6 Plot – A Doppler-frekvencia és az irány vektorból képezik a plotot. A rendelkezésre álló plot adatokat hozzárendelik a célokhoz. Több önálló plot alapján inicializálják az adott célhoz tartozó útvonalat a tracket.

7 PSR – Primer Surveillance Radar, Elsődleges felderítő radar, Primer.

8 Track – Plotok sorozata, mely egy útvonalat alkot.

9 Pd – Detekciós valószínűség.

10 SSR – Secondary Surveillance Radar, Másodlagos felderítő radar, Szekunder.

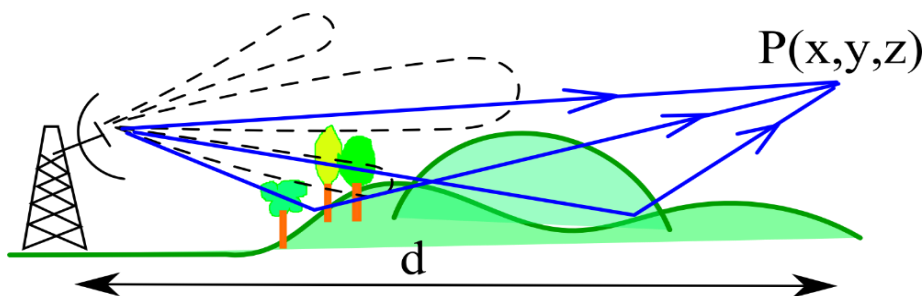
Az Szekunder (másodlagos) felderítő radar enyhébben érzékeny a szélerőművek káros hatásaira, mint a Primer (elsődleges) felderítő radar. Hamis IFF/SSR plotok jelentkeznek több kérdezési módban is, például magas építményekről. Az egyik eshetőségnél a szekunder radar antenna iránykarakterisztikájának oldalszirmán kisugárzott P1 és P3 impulzusok, a közel térben nagy felületű tetőszerkezetről, a valós detektálandó cél irányába verődve aktiválják a céltárgy transzponderét¹¹, s ezáltal hamis plotok, valamint hamis útvonal is keletkezhet. A transzponder válaszol az interrogátor kérdésére és a válaszjel ugyanazon az úton bekerül a jelfeldolgozásba. A szekunder antenna a válasz idején a főantennával együtt, szinte akkor még az északi irányon áll, ezáltal hamis útvonalat képeznek a hamis plotok, melyek azon az oldalszögön sorakoznak fel. Egy másik eshetőségnél a szekunder radar antenna iránykarakterisztikájának főszirmán kisugárzott P1 és P3 impulzusok, a közel térben nagy felületű tetőszerkezetről, a valós detektálandó cél irányába verődve aktiválják a céltárgy transzponderét, holott az antenna a forgása alatt még a valós cél oldalszögének irányát sem érte el, s ezáltal hamis plotok, valamint hamis útvonal keletkezhet. A transzponder válaszol az interrogátor¹² kérdésére és a válaszjel ugyanazon az úton bekerül a jelfeldolgozásba. A szekunder antenna a válasz idején a primer antennával együtt még a kérdéses céltárgy irányán áll, ezáltal hamis útvonalat képeznek a hamis plotok, melyek azon az oldalszögön sorakoznak fel.[5] Eme problémák megoldására, kiküszöbölésére a legjobb megoldás az, hogy a közel térben nagyobb csillapítást kell alkalmazni.[3]

ELEKTROMÁGNESES HULLÁMTERJEDÉS, ZAVARÁS

A szélerőművek, szélerőműparkok zavarják a telekommunikációs eszközöket, de ez elkerülhető a körültekintő tervezésükkel.[4] Szélerőművek tervezői, illetve az illetékes katonai és polgári szervek konzultálnak egymással, hogy megállapítsák, várhatók-e elektromágneses zavarok az adott területen, hiszen a légügyi kommunikációs rendszereket és mikrohullámú hálózatokat befolyásoló problémákat már a tervezés szakaszában figyelembe kell venni, rendezni kell.[8] A közelben lévő vevőkészülékek venni fogják a lapátkerékről visszavert és a közvetlen jeleket is, így kelthetnek a szélerőművek elektromágneses zavaró hatást. Azokat a katonai és polgári kommunikációs jeltípusok, amelyeket az elektromágneses zavaró hatások befolyásolhatnak, a TV- és rádióadásokat, mikrohullámú és cellás rádió-kommunikációt, valamint a különböző navigációs és légi közlekedési ellenőrző rendszereket foglalják magukba.[9] A modern lapátkerékekhez már üvegszál-as poliészter használunk, amely részlegesen áteresztő az elektromágneses hullámok számára, s emiatt közbenső helyet foglal el az elektromágneses zavarások skáláján. Fontos szerepet játszanak felderítési szempontból az elektromágneses hullámterjedésben tehát a domborzati viszonyok (geometria), a növényzet (reflexió, diffrakció, elnyelés), a megvilágító adó iránykarakterisztikája, polarizációja és frekvenciája, mint „bementi” adatok. „Kimeneti” adatként pedig az elektromágneses sugárzás intenzitása, iránya, polarizációja tetszőleges P (x, y, z) pontban, melyet a 3. ábra szemléltet.

11 Transzponder – A repülésben használt radar-válaszjeladó megnevezése, amely név az angol transmit (továbbít, sugároz) és responder (válaszadó) szavak összevonásából származik.

12 Interrogátor – A kérdező jelet kisugárzó.

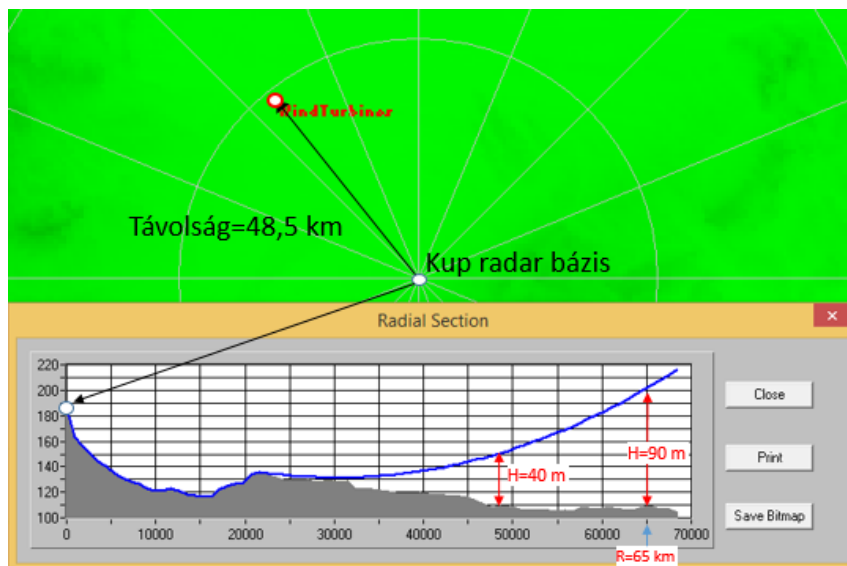


3.ábra: Az elektromágneses hullámterjedés szimulációja, a szerző szerkesztése

Komplex hatások szimulációjánál figyelembe kell venni tehát a terjedési- és reflexiós szimulációk összekapcsolását, a lefedettség változtatását („kitakarítás” a torony mögött), erősen reflektáló tereptárgyakat, szélérőműpark elemei közötti reflexiós kölcsönhatásokat és a többszörös reflexiót (cél tárgy RCS¹³ és WT RCS), a turbulencia hatását esős időben. A pirotechnikai eszközök stadionba bevitele elméleti síkon tilos, azonban detektorok és röntgen átvizsgáló kapuk hiányában a biztonsági személyzet a kiszűrésükre többnyire alkalmatlan.

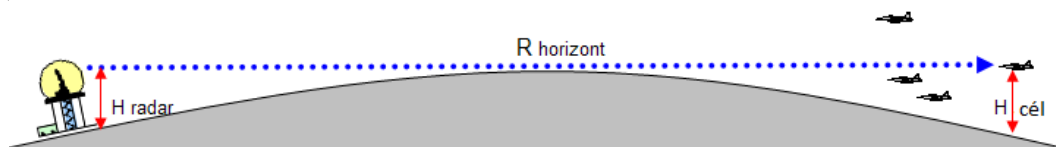
MEGÁLLAPÍTÁSOK, ÖSSZEFÜGGÉSEK

Az eddig leírtak alapján megállapítom, hogy a szélérőművek telepítése mindenképpen hatással lesz a radarokra, hisz erősen kiveszi a részét a szárazföldi zavarokból. A 4. ábrán látható, hogy kell elképzelni egy radar bázis és egy szélérőműpark egyszerű kapcsolatát, valamint a domborzati viszonyokat.



4.ábra: Kup radar bázis és Veszkény szélérőműpark telep távolsága, domborzati viszonyok, a szerző szerkesztése számítások alapján

Továbbá, választásom, elemzés és összevetés szempontjából, a magyarországi háromdimenziós radarokra esett, melyek Békéscsabán, Medinán és Bánkúton találhatóak. Ezek közül a Medinán elhelyezkedő RAT-31 DL háromdimenziós radart vizsgáltam, mivel az ottani radarra nagy hatással lenne a Németkér falu közelében építendő szélerőműpark. A medinai radar egy dombon van elhelyezve, mely körülbelül 30 méteres és ehhez hozzáadva még a betontorony magasságát, amin az elhelyezkedik az antenna, összesen 35 méteres körülbelüli értéket kapunk. Tehát a föld felett, a Föld görbületét beleszámítva (5. ábra), ilyen magasan van elhelyezve az antenna, amit egy szendvicsszerű multipanel radarantenna kupolával látott el a gyártó, az olasz Selex cég. A terepviszonyokat is figyelembe véve állítom, hogy a létrehozandó szélerőműpark optikailag teljes mértékben látható a radar számára. Feltételezhető, hogy a legalacsonyabb sugárnyaláb körülbelül $+0,9^0$ szögmagasságra mutat, vagyis -3dB értékre a horizonton, annak érdekében, hogy a működési frekvenciatartományban a földről visszaverődő sugarak által keltett jelentős zavarás elkerülhető legyen.



5. ábra: A Föld görbületi hatásai a detektálható célokra ((1)-(7) számítások), a szerző szerkesztése számítások, mérések alapján

$$r_{\text{föld(bal oldalt)}} = 6370 \text{ km} \quad r_{\text{föld(jobb oldalt)}} = 6370 \text{ km} \quad (1)$$

$$r_{\text{föld effektív}} = 8500 \text{ km} \quad r_{\text{föld egyenértékű sugár}} = 6370 \text{ km} \quad (2)$$

$$H_{\text{radar}} = 250 \text{ m} \quad H_{\text{cél}} = 1000 \text{ m} \quad (3)$$

$$R_{\text{horizont}} = \sqrt{2 * k * R_f} * (\sqrt{H_{\text{radar}}} + \sqrt{H_{\text{cél}}}) \quad (4)$$

$$\sqrt{H_{\text{radar}}} = 15,81139 \quad \sqrt{H_{\text{cél}}} = 31,62278 \quad (5)$$

$$\sqrt{H_{\text{radar}}} + \sqrt{H_{\text{cél}}} = 47,43416 \text{ m} \quad (6)$$

$$R_{\text{horizont}} = 3605 * (\sqrt{H_{\text{radar}}} + \sqrt{H_{\text{cél}}}) = 196,508 \text{ m} \quad (7)$$

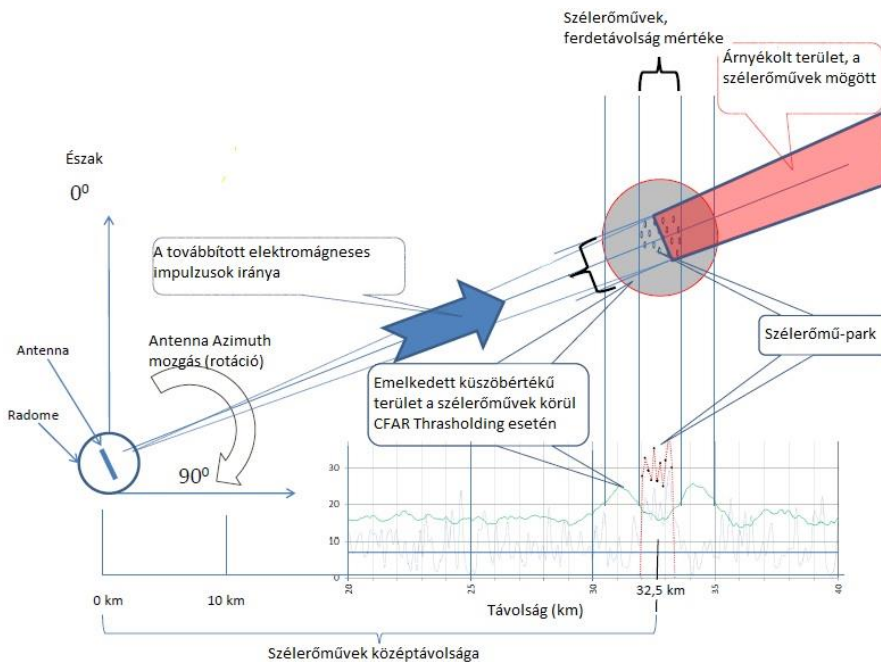
A szélerőműpark körülbelül 35 km-re lesz légvonalban a medinai radartól, mely a felderítésben hatalmas nagy problémát okozhat, nem is beszélve a visszaverődő különböző jelekről, melyeket már korábban említettem. Ugyanakkor a telepíteni kívánt szélerőműpark Budapesttől sincs messze, mindössze 90 km-re van, mely a Ferihegyi repülőtér radarjait is nagymértékben befolyásolhatja. Mind a primer mind pedig a szekunder radarnál okozhat problémákat, ha a kisugárzott jel egy szélerőműparkba „ütközik”. A szekunder radarnál felmerül, hogy a visszaverődések erősebbek a légi jármű transzponderének minimum küszöbértékénél, így a transzponder a visszaverődésekre ad választ, valamint figyelembe kell még venni a monopulse¹⁴ szöghibákat is, mint problémát. A primer radarnál pedig hamis célazonosítást eredményezhet a visszaverődések miatt, melyek elég nagy távolságban is előfordulhatnak, függetlenül attól, hogy 35 km-ről vagy többszörös távolságokról beszélünk, valamint hatótávolság-csökkenést okoz a potenciális elnyelési és visszaverődési, szóródási

14 Monopulse – Nagyobb irányszög pontosságú

hatások miatt. A szélérőművek jellegzetessége, hogy bár a jelük „állandó” egy adott helyen, de a róluk visszaverődő jel forgó rotor lapátok esetén Doppler eltolódást mutat. Az eltolódás spektruma annál szélesebb, minél gyorsabban forognak a szélturbinák lapátjai. Az eltolódás függ továbbá attól, hogy a radartól milyen szögben látszódnak - a széliránynak megfelelően - a rotor lapátok.

A MEDINAI RAT-31DL HÁROMDIMENZIÓS RADAR ÉS A NÉMETKÉR MELLETTI SZÉLERŐMŰPARK ÖSSZELETÉSE, ELEMZÉSE

Összesen tizenhat darab szélérőműből álló szélérőműpark hatását vizsgálom, mely különböző mértékben befolyásolja a medinai RAT-31 DL háromdimenziós radar felderítését, nulla, egy, illetve a tizenhat szélérőmű esetén. A RAT-31DL háromdimenziós radarra gyakorolt hatása a szélérőműveknek függ attól, hogy mennyi szélérőmű helyezkedik el a radar látómezőjében. Különböző szempontok alapján figyelembe kell venni a szélérőművek kumulatív hatásait, hogyan árnyékolnak, például, hogy milyen magasak ,rotorral együtt természetesen, valamint milyen sok van belőlük az adott területen, tehát milyen széles skálát fednek le ezáltal. Az árnyékról feltételezzük, hogy konstans Azimuth iránnyal rendelkezik, amely a tizenhat szélérőmű ferdetávolságának mértékétől és a középtávolsága által került meghatározásra. Valamint azt is feltételezem, hogy konstans magassággal és szélességgel rendelkezik, amely a szélérőművek magassága, beleértve a rotort is, középtávolsága által került meghatározásra (6. ábra). Méréseim alapján a nulla darab szélérőmű elhelyezéséhez képest, mikor pontosan 1 darab szélérőművet helyezünk el a szélérőműpark települési helyén, akkor a szélérőmű által leárnyékolt tartomány $0,1^0$ lesz, míg 16 darab szélérőmű esetén pedig $1,6^0$.



6. ábra: Az „árnyék” modell a szélturbinák mögött, a szerző szerkesztése mérések alapján

KONKLÚZIÓ

Az összehasonlításnál vizsgáltam a szélerőművek hatását a radarokra, miszerint figyelembe vettem a különböző szempontokat, melyek problémákat okoznak. Amikkel foglalkoztam ez esetben, azok a különböző radar leképezési anomáliák, a szélerőművek hatása a kisugárzott jelekre, a rendszerszintű degradációk, az elektromágneses hullámterjedés, illetve zavarás. Hatalmas problémát okoznak ugyanis a légtérfelderítésben a különböző felületekről érkező reflexiók, hamis plotok, árnyékolt területek, a tracker telítésbe vétele, a redukált detekciós valószínűség, távolság- és szög mérés pontatlanság, melyeket mind megemlítettem, de van, amit ábrákkal szemléltettem munkám írása folyamán. Kutatómunkám további része, mely a bizonyításokról, mérésekről, összefüggésekről és megállapításokról szól, nem egyszerű, ám annál lényegre törőbb választ ad az általam vizsgált problémákra. Én ugyanis elsősorban a Medinán elhelyezkedő RAT-31 DL három dimenziós radar és a tőle 35 km-re elhelyezkedő Németkér falu melletti terület összevetésével vizsgáltam meg azt, hogy ha a szélerőműparkot megépítenék az nagy mértékben befolyásolná a légtérfelderítést. A mérési eredmények kielégítő választ adnak, miszerint szélerőmű nélkül nagyobb felderítési távolsága van a radarnak, viszont, ha egy vagy tizenhat darab szélerőmű akadályozza a felderítést, akkor 10, illetve 1,60 már leárnyékolt tartomány jön létre, ahol a célt nem látja a radar.

Úgy gondolom, hogy mivel a radarok felderítési hatótávolságát már a különböző domborzati viszonyok (dombok, hegyek, fák), meteorológiai jelenségek (felhő, eső), építmények (magaslatra épített házak) alapjáraton is befolyásolják, s hatalmas problémát okoznak, akkor ezt, a szélerőműparkok közeli telepítésével a radarállomásokhoz csak is kizárólag növelni fogják. Véleményem szerint kétféle megoldás létezik a probléma elkerülésére, illetve csökkentésére, melyeket még így is csak kompromisszum kötés alapján lehetne a jövőben kiküszöbölni. Az általam vélt egyik közös megegyezés alapján történő megoldás az lenne, ha a szélerőműveket viszonylag messze telepítenék a radarállomásoktól, s így a lehető legminimálisabban zavarnának be a légtér felderítésében. A másik viszont az, hogy a lehető legmagasabb helyekre kellene építeni a radarállomásokat, illetve helyezni a radarokat, s a szélerőműveket ennél jóval alacsonyabb pontra helyezni, ahol szintén minimális zavarást okozna a légtér felderítésében. A probléma Magyarországon az, hogy nagyon kevés a magaslati pont, s azok sem túl magasak, így se szélerőműpark, se radar telepítésénél nincs túl nagy választék a helyek tekintetében. Ezeket összegezve, s a két általam vázolt megoldás alapján a legjobb az lenne, ha a kettő ötvözése megvalósulna. Tehát kompromisszumot kell kötni, ha jól működő légtér felderítés, illetve szélerőműparkok építése a cél, akkor ezeket úgy kell telepíteni, illetve létrehozni adott esetben, hogy minimális legyen a szélerőműparkok radarra gyakorolt hatása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] WOLFF, C. *Radar Basics*, 2010, [Online] <https://www.radartutorial.eu/index.en.html>
- [2] FEKETE L. *Radar, Radarrendszer*, 2000, [Online] <http://suszter.atw.hu/>
- [3] WOODFORD, C. *Radar*, 2015, [Online] <https://www.explainthatstuff.com/radar.html>
- [4] SELLER R. *Szemelvények a szélerőmű – radar kérdéskörben I.*. Veszprém: Szimpózium, 2015.

- [5] WOLFF, C. *RAT-31 DL. L-BAND/SOLID STATE 3D Air Surveillance Radar*, 2014, [Online] <https://www.radartutorial.eu/19.kartei/02.surv/karte012.en.html>
- [6] EUROCONTROL, *How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors*, 2014, [Online] <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-guidelines-assessing-potential-impact-wind-turbines-surveillance-sensors>
- [7] KÁRÁNDI Zs. *A Magyar Honvédség helye, szerepe a szélérőművek telepítésének engedélyeztetési eljárásában*. Veszprém: Szimpózium, 2015.
- [8] SZÖKRÉNY Z. *Radartechnika órai jegyzet*. Budapest: Nemzeti Közszerződési Egyetem, 2015.
- [9] SIPOS Gy. *Elektronikai hadviselés a XX. században 2. rész*, 2014, [Online] https://lazarbibi.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=124:radarhaboru&catid=23:haditechnika&Itemid=125