

**Nyizsnyik Ferenc**  
[ferenc.nyizsnyik@mil.hu](mailto:ferenc.nyizsnyik@mil.hu)

## RADARLEFEDETTSÉG SZÁMÍTÁSA ARCGIS SEGÍTSÉGÉVEL

### *Absztrakt*

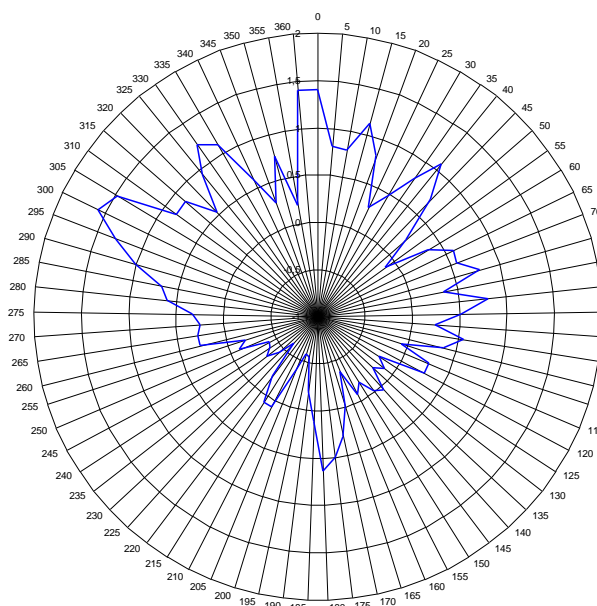
*A radarok egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy a légi járműveket milyen távolságon képesek felderíteni. Ez a radar hatótávolságán kívül több tényezőtől is függ, főképp a kismagasságú és földközeli légi járművek esetében. Fontos tehát, hogy képesek legyünk meghatározni egy adott települési helyhez tartozó felderítési paramétereket. Az ArcGIS térinformatikai szoftver beépített eszközei megkönnyítik ezen feladat elvégzését.*

*One of the most important properties of radars is the distance they can detect aircraft at. This is influenced by several factors besides the radar's maximum range, especially in the case of low-flyers. Therefore it is important to be able to determine the surveillance parameters for any given site. ArcGIS geographic information software has a set of built-in tools which ease this process.*

**Kulcsszavak:** radar, felderítés, láthatóság vizsgálat, térinformatika, ArcGIS ~ radar, surveillance, coverage, geoinformatics, ArcGIS

## BEVEZETÉS

A radarok láthatóság-vizsgálata a múltban időigényes feladat volt. A mérést a települési helyen kellett végezni, teodolit segítségével meg kellett határozni azt a minimális helyszöget (fedezőszög), amelyen a radar „ellát” a domborzat fölött. Ez a táblázat (vagy diagram) még csak közvetve alkalmas arra, hogy a légi járművek repülési magassága alapján eldöntsük, milyen távolságon képes a radar felderíteni azokat, mivel nem magasság-, hanem szögértékek olvashatók le róla.



1. ábra. Fedezőszög-diagram

Az *ArcGIS* térinformatikai szoftver segítségével ez a feladat bárhol elvégezhető, és a ráfordítandó idő is jelentősen kevesebb. Ezen felül közvetlenül szemléltethető a radar adott magasságú légi járművekre vonatkozó felderítési képessége. Természetesen ennek a módszernek is megvannak a korlátai: az eredményül kapott adatok pontosságát a bemenő adatok pontossága határozza meg.

A láthatóság-vizsgálat elvégzése elengedhetetlen új radarok vagy mozgó radaralegységek települési helyeinek kiválasztásakor, de hasznos elvégezni a már meglévő települési helyek vonatkozásában is, így képet kaphatunk a rádiólokációs mező jellegéről, illetve meghatározhatók azok a területek, ahol szükséges azt kiegészíteni.

Az *ArcGIS* program rendelkezik láthatóságot vizsgáló eszközökkel, ilyen pl. a *Radial Line of Sight* vagy a *Viewshed* eszköz. Ezek azonban azt vizsgálják, hogy a domborzat egy adott pontján állva a domborzat (talaj) mely részei láthatóak. Ez légi járművek láthatóságának vizsgálatára nem alkalmas. Lehetőség van viszont arra, hogy az *ArcGIS* programot új eszközzel egészítsük ki, azaz saját eszközt hozzunk létre. Az *ArcGIS* erre a célra a Python nyelvet támogatja, ezért ez az eszköz ebben íródott.

## A LÁTHATÓSÁGOT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A láthatóságot elsősorban természetesen a domborzat határozza meg. A nagy kiterjedésű tereptárgyak (pl. hegyek) mögött repülő légi jármű rejtve marad.

A radar függőleges iránykarakteristikája közvetlenül hatással van a felderítési képességre: a minimális helyszög azt mutatja meg, mennyire lát „lefelé” a radar, azaz a nála alacsonyabban

lévő légijárműveket milyen mértékben képes felderíteni, a maximális helyszög pedig a holtkúp nagyságát határozza meg.

A távoli légijárművek esetében előfordulhat, hogy a jármű kívül esik a radar horizontján, vagyis a Föld görbülete miatt nem látszik.

A domborzat és a Föld görbületének hatását ellensúlyozza kissé az atmoszférikus refrakció. A jelenség alapja az, hogy a Föld légköre nem egyenletes sűrűségű, a gravitáció miatt a Föld felszínének közelében sűrűbb, a magasság növekedtével pedig egyre ritkul. Ez azt jelenti, hogy a nagyfrekvenciás jel folyamatosan egyre ritkább közegbe megy át, és a törési törvény értelmében az útja meghajlik.

A légkör refrakciós tulajdonságait a levegő hőmérséklete, a páratartalom, a légnyomás és a levegőben lévő vízgőz nyomása határozza meg. Ezek pedig a magasság függvényében változnak. Jól elkeveredett levegőben a hőmérséklet, a nyomás és a páratartalom a magasság növekedtével exponenciálisan csökken. [1]

## A LEFEDETTSÉGI DIAGRAM SZÁMÍTÁSA

### Bemenő adatok

A számításhoz elengedhetetlen egy digitális domborzatmodell (*DEM – Digital Elevation Model*). Az *ArcGIS* több formátumú domborzatmodellt is képes kezelni. Az *SRTM (Shuttle Radar Topology Mission) project*<sup>1</sup> keretében a Föld kb. 80 %-ára elkészült egy 1 szögmásodperces fölbontású domborzatmodell. Az *USGS* honlapjáról<sup>2</sup> regisztráció után ingyenesen letölthető a fölmért területre kiterjedő domborzatmodell *DTED level 1* formátumban. Ez egy raszteres formátum, földrajzi koordinátarendszerben. Egy cella 3 szögmásodpercnek felel meg (az 1 szögmásodperces fölbontású domborzatmodell csak az Egyesült Államok területére hozzáférhető), ez kb. 90 m távolságot jelent az Egyenlítőn. Természetesen, ha rendelkezésre áll nagyobb fölbontású modell, a számítások is pontosabbak lesznek.

Az *SRTM project* 5,6 cm hullámhosszon végezte a domborzat fölmérését. Az ilyen hullámhosszú sugárzást a lomboszat illetve az épületek jól visszaverik, ezért az *SRTM* által előállított adatok tartalmazzák az erdőket és az épületeket is. [3] Ez a radarlefedettség számítása szempontjából előnyös, hiszen ezek a tereptárgyak befolyásolják a radar mérőjelének útját is.

Az adatállományok 1x1°-os mezőket tartalmaznak. Ahhoz, hogy ezt a modellt föl tudjuk használni a számításainkhoz, először is összefüggővé kell tennünk ezeket. Ezt a *Mosaic to New Raster* eszközzel tehetjük meg.

A következő lépés az adatok tisztítása. Néhány helyen a domborzatmodell a magassági adat helyett „NoData” értéket tartalmaz. Ez lehetetlenné teszi az adott helyen a számítás elvégzését, hiszen ezzel matematikai művelet nem végezhető, illetve a relációk sem értelmezhetőek rá. Ezeket a helyeket tehát át kell alakítanunk, hogy itt is numerikus értékek szerepeljenek. Célszerű a domborzat legalacsonyabb helyénél alacsonyabb értéket beállítani (pl. 1-et vagy 0-t), így a számításokat ezek a helyek nem fogják befolyásolni. Ezt megtehetjük például a *Conditional* eszköztár eszközeivel. A „NoData” értékek általában olyan helyeken fordulnak elő, ahonnan a műholdra nem verődött vissza jel, például magashegységek szűk völgyeiből, vagyis azzal, hogy ezeken a (kis kiterjedésű) területeken 0-val helyettesítjük a magassági értékeket, nem hamisítjuk meg a számításokat.

Ahhoz, hogy számolni tudjunk a domborzatmodellel, a távolságoknak lineáris egységekben (célszerűen méterben) kell lenniük. Ehhez síkkoordináta-rendszerbe kell vetíteni a modellt a *Project Raster* eszközzel. Érdemes olyan síkkoordináta-rendszert választani, amelynek alapja

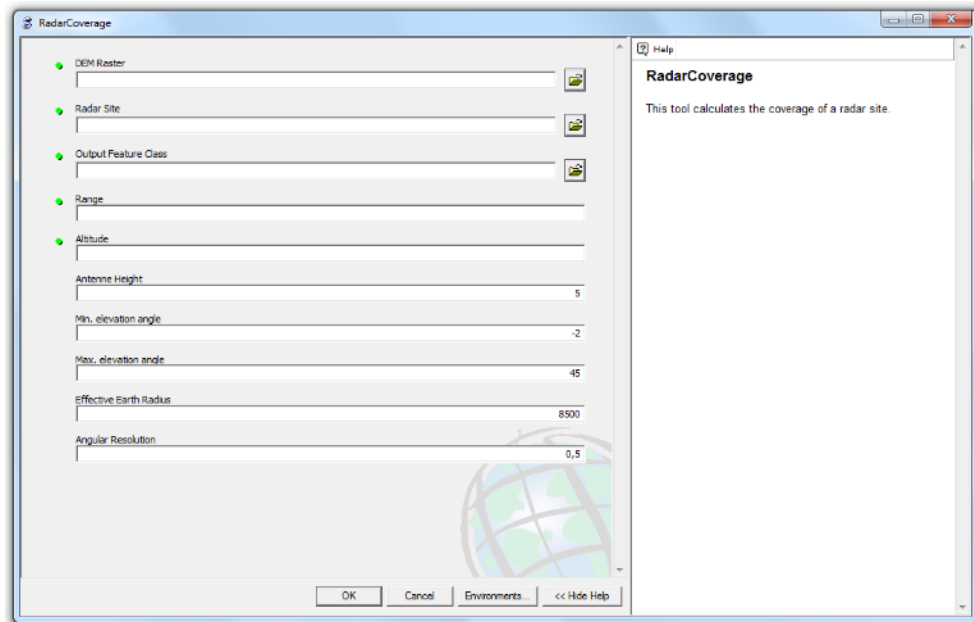
---

<sup>1</sup> <http://srtm.usgs.gov>

<sup>2</sup> <http://earthexplorer.usgs.gov>

a WGS 1984 ellipszoid, ilyen pl. a Mercator-vetület. Ekkor nem kell külön transzformációt végezni.

Szükség van továbbá a radar települési helyére, a maximális hatótávolságra, a minimális és maximális helyszögre, az antenna felszín fölötti magasságára és arra a repülési magasságra, amelyre a vizsgálatot el akarjuk végezni. Megadható továbbá a számítás oldalszög szerinti fölbontása is.

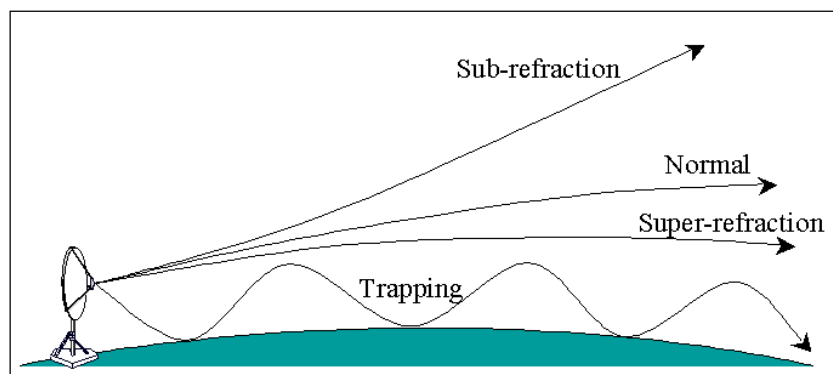


2. ábra. A program felhasználói felülete

### Az atmoszférikus refrakció

A program az atmoszférikus refrakciót a nagyfrekvenciás hullámok terjedésének számításában bevált módon úgy veszi figyelembe, hogy a Föld valós sugara helyett effektív földszugárral számol. Az effektív földszugár alkalmazása lehetővé teszi, hogy a hullám útját egyenesnek vehessük, nagyban megkönnyítve a terjedés számítását.

A refrakció a légkör állapotától függ. A hullámterjedésre gyakorolt hatása alapján négy eset különböztethető meg: a normális, a szuper- és a szubrefrakció, illetve a vezetés, vagyis „duct”. [4][5]



3. ábra. A mérőjel útja a refrakció különböző eseteiben<sup>3</sup>

<sup>3</sup> [4], Figure 4

### **Normális terjedés**

Normális terjedés esetén az effektív fűdsugár a valós sugár 4/3-szorosa (8500 km). [2] A mérsékelt éghajlati övben az idő kb. 50 %-ában ez a jellemző.

A normális terjedés instabil időjárású viszonyok esetén fordul elő. A ciklonok és a közepes vagy erős szél hozzájárulnak ahhoz, hogy a légkör jól elkeveredjen, így nem, vagy csak alig alakulnak ki inverziók, amelyek anomáliás terjedést okozhatnának.

### **Szubrefrakció**

Szubrefrakció esetén a refrakciós gradiens értéke sokkal nagyobb, mint normális terjedés esetén. Ez a mérőjel „fölfelé” hajlását idézi elő. Ilyenkor az effektív fűdsugár csökken, a tereptárgyak relatív magassága pedig nő. Ilyenkor a radarok felderítési távolsága csökken.

Szubrefrakciót okoz a földfelszín közelében kialakuló forró, száraz levegőréteg, amely esetenként pár száz méter magas is lehet, vagy ha meleg, párás légtömeg nyomul a hűvös, szárazabb felszíni levegő fölé. Elsősorban melegfrontok közelében kell számolni szubrefraktív terjedéssel.

### **Szuperrefrakció**

A refrakciós gradiens csökkenésekor alakul ki szuperrefrakció, amely azt eredményezi, hogy a hullám „lefelé”, a földfelszín felé hajlik, sokkal jobban, mint a normál terjedés esetén. Ilyenkor az effektív fűdsugár értéke megnő. A gradiens egy adott értékénél akár végtelen is lehet, ami azt jelenti, hogy a mérőjel útja pontosan követi a Föld görbületét.

A szuperrefrakció a radarok felderítési távolságának kismértékű növekedéséhez vezet, viszont számolni kell a többutas terjedésből származó interferenciákkal is.

Elsősorban felszíni inverziók okoznak szuperrefrakciót.

### **Vezetés**

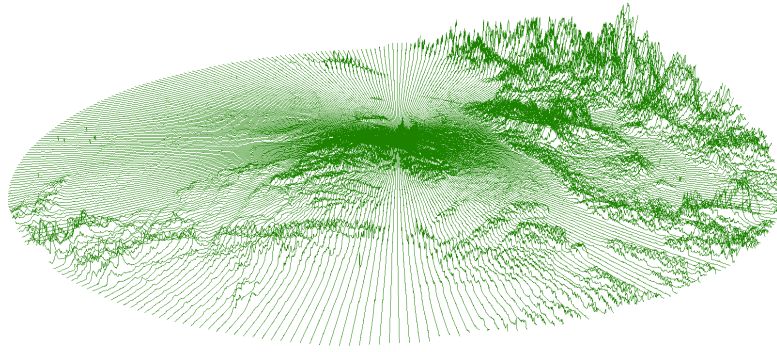
A vezetés a szuperrefrakció egy speciális esete. Ilyenkor a mérőjel egy, a Föld felszíne és egy magasabban kialakult inverziós réteg között, mint egy hullámvezetőben („duct”) halad. Ez a jelenség a radarok hatótávolságának nagymértékű növekedését eredményezi, de a radar maximális hatótávolságán túlról érkező visszavert jelek hamis célként jelennek meg.

Mivel a vezetett hullám visszaverődéseket szenved, a hatása nem szimulálható az effektív fűdsugár változtatásával. Az inverziós réteg kiterjedése sem számítható, ezáltal a hatótávolság növekedése sem. Emiatt az ilyen terjedési viszonyok közötti felderítés a programmal nem számítható.

### **A számítás menete**

A program az adatok bekérése és előkészítése után egy radiális vonalhálózatot hoz létre, melynek középpontja a radar települési helye, a vonalak hossza pedig a megadott maximális távolság. A vonalak az oldalszög szerinti fölbontásnak megfelelő szöget zárnak be egymással.

Ezután ezeket a vonalakat a domborzatmodellre interpolálja. Így minden vonal a domborzatmodell adott irányú metszetét fogja reprezentálni. A vonalak minden egyes pontja tartalmaz tehát két koordinátát és egy magassági adatot.

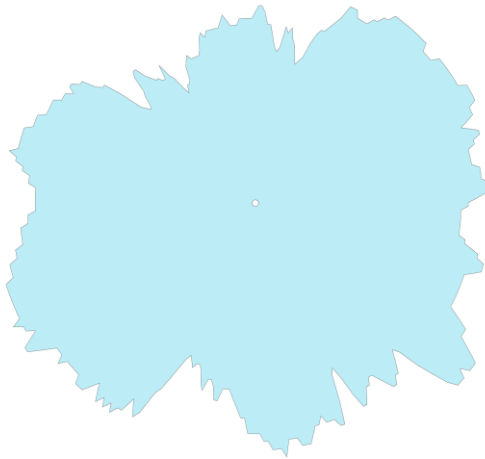


4. ábra. Radiális vonalhálózatra interpolált domborzatadatok

A program ezt követően minden vonal mentén elindít egy mérőjelet a legalacsonyabb megadott helyszögön. Ha a domborzatba ütközik, megemeli a helyszöget, és ezzel az új helyszöggel folytatja az eljárást. Közben megvizsgálja, hogy a kívánt repülési magasság a jel fölött van-e, azaz látható-e a légitánc. Ahol a jel metszi a repülési magasságot, ott lesz az a legtávolabbi pont, ahol még detektálható a cél.

A holtkúp hatásának figyelembe vételéhez a maximális helyszögön indítja a mérőjelet a program, a jel és a légitánc magasságának metszéspontja lesz az a pont, ahol már látható a légitánc, vagyis a láthatóság minimális távolsága. Az így kapott pontok alapján egy poligon készül, amely az adott magasságú légitáncok láthatóságát közvetlenül mutatja.

Ezt a poligont térképre illesztve pontos képet kaphatunk az adott repülési magasságon közlekedő légitáncok láthatóságáról. Több poligon számításával jól szemléltethetők a radar felderítési képességei.



5. ábra. Radarlefedettségi poligon

### A továbbfejlesztés lehetséges irányai

A program a láthatóságot csak a geometria alapján vizsgálja, azaz a szakaszcsillapítást nem veszi figyelembe. Érdekes lehet a radar adóteljesítménye és a légitánc hatásos visszaverő felülete alapján a radaregénylet szerint kiszámítani a visszavert jel teljesítményét, így pontosítva az adott légitáncokra vonatkozó felderítési diagramokat.

A program a mérőjel útját egyenesnek veszi. Ez azt jelenti, hogy ha éppen elhalad a domborzat fölött, akkor a program teljes értékűnek veszi a láthatóságot. A valóságban az első Fresnel-ellipszoidba belenyúló akadályok jelentős csillapítást vagy diffrakciót okozhatnak. A számítás során érdemes lehet ezt a jelenséget is figyelembe venni.

A minimális hatótávolság számítása is kizárólag a geometrián alapul. Érdeemes lehet a radar impulzusidejét is figyelembe venni.

Jelenleg a program csak egy „*proof of concept*”, azaz egy működő, de nem teljes körű alkalmazás. Érdeemes kiegészíteni ellenőrző rutinokkal, amely a felhasználó által bevitt adatok validálását végzi, illetve részletes felhasználói dokumentációval, hogy egy teljes értékű eszköz válhasson belőle.

### Felhasznált irodalom

- [1] E. Valma, M. Tamosiunaite, S. Tamosiunas, M. Tamosiuniene, M. Zilinskas: *Variation of Radio Refractivity with Height above Ground*, Electronics And Electrical Engineering, Telecommunications Engineering, 2011 No. 5 (111)
- [2] M. Skolnik: *Introduction to radar systems*, 3<sup>rd</sup> Ed. New York: McGraw-Hill, 2001
- [3] Molnár Gábor: *Földkutató a világűrben*, elektronikus jegyzet, [http://sas2.elte.hu/foldkutatas\\_v3](http://sas2.elte.hu/foldkutatas_v3)
- [4] LCDR Bruce W. Ford: *Atmospheric Refraction: How Electromagnetic Waves Bend in the Atmosphere and Why It Matters*, NAVOCEANO Atlantic Component
- [5] Martin Grabner and Vaclav Kvicera (2011). *Atmospheric Refraction and Propagation in Lower Troposphere*, Electromagnetic Waves, Prof. Vitaliy Zhurbenko (Ed.), ISBN: 978-953-307-304-0, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/electromagnetic-waves/atmospheric-refraction-and-propagation-in-lower-troposphere>