



BALAJTI ISTVÁN* – KUNOS BÁLINT**

A RADAROK ÉSZAKI-SARKVIDÉKI ALKALMAZÁSÁNAK KIHÍVÁSAI

I. RÉSZ

1. ÁBRA.

A RAT-31 S sávú radar.

Senja, Norvégia

(Fotó: Torbjørn Kjosvold / Armed Forces / The Armed Forces engedélyével)

ÖSSZEFOGLALÁS: A globális felmelegedés Északi-sarkvidékre gyakorolt hatásai látványosak és egyértelműek. A terület ásványkincseinek hozzáférhetősége, a megnyíló kereskedelmi útvonalak, valamint a technológia fejlődése által nyújtott lehetőségek kihasználása az emberi tevékenységek jelentős növekedésével járnak. Mindez a polgári és a katonai alkalmazás terén egyaránt megfigyelhető. Különleges technikai kérdést vet fel, hogy ezen a nagy kiterjedésű területen a gyorsan változó időjárás feltérképezését, a mozgó objektumok felderítését, követését, a tájékozódást biztosító különböző érzékelő – például radarrendszerek –, milyen követelményeknek felelnek meg, és hogyan oldható meg a nagy megbízhatóságú üzemeltetésük. A tanulmány célja a tématerület radarszempontról szerinti áttekintése, valamint az ionoszférarétegekről visszaverődő impulzusok koherens jelfeldolgozásán alapuló új, multistatikus radarrendszerek fejlesztési eredményeinek bemutatása.

KULCSSZAVAK: radartechnológiák, multistatikus radarrendszerek, arktikus éghajlati viszonyok, elektromágneses hullámok (EMH) terjedése

ABSTRACT: The effects of global warming on the Arctic, the exploitation of the area's mineral resources and the utilization of the opening trade routes as well as the opportunities provided by the development of technology are associated with a significant increase in human activities, which can be observed in both civil and military fields of application. Consequently, the questions arise as to what requirements are met by the various sensor systems – for example, radar systems – ensuring the mapping of rapidly changing weather conditions, the detection and tracking of moving objects and orientation in that extensive area, and how one can operate these systems in a highly reliable way. This study aims to review the topic from radar aspects and to present the development results of new multistatic radar systems based on the coherent signal processing of pulse reflections from ionospheric layers.

KEYWORDS: radar technologies, multistatic radar systems, Arctic climate conditions, propagation of electromagnetic (EM) waves

SARKVIDÉKI STRATÉGIÁK

A Föld északi-sarki területein, az Északi-sark (Arktisz) földrajzi kifejezés alatt gyakran azt a sarkvidéket is értik, amely topográfiai szempontból a sarkkörtől északra fekvő szárazföldi és tengeri területeket jelenti.¹ Valamennyi sarkvidéki területtel rendelkező állam kidolgozta az Arktisz térségével kapcsolatos saját, önálló elképzeléseit tartalmazó hivatalos stratégiáját, amelyeket számos tanulmány – például az [1] – részletesen feldolgoz és értékkel. Az északi területeken történő katonai jelenlét és megfigyelés kulcsfontosságú az adott területen érdekelt államok nemzetbiztonsága szempontjából, és a ra-

¹ „A magyar nyelvben az arktikum és a sarkvidék fogalmát megkülönböztetjük. A sarkvidéknek több definíciója létezik, érvelésünk szerint a sarkvidék megnevezés inkább követi a természetföldrajzi szempontokat, az arktikum mint régió megnevezés pedig inkább társadalmi, politikai és gazdasági alapú, földrajzi értelemben pedig nagyobb terület, mint az Északi-sarkvidék.” <https://real.mtak.hu/106833/>.

* Kandidátus, nyugálományú alezredes, hadmérnök, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar ORCID: 0000-0003-3566-2904

** Villamosmérnök-tanár, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar. ORCID: 0009-0000-8818-1536



darok fontos eszközök ebben a kontextusban. A jelen áttekintés kizárólag a címben jelzett kihívásokkal foglalkozik, azokat is a katonai radarok és működési elvük megértését segítő hasonló feladatokat ellátó polgári, tudományos kutatási eredmények aspektusából mutatja be. Erre azért van szükség, mert a katonai radarok északi sarkkörön belüli alkalmazása stratégiai jelentőségű, emiatt a tevékenységükkel kapcsolatos hiteles információk hozzáférése korlátozott.

A 2. ábra az Arktisz közelében települt amerikai radarrendszereket mutatja be, amelyek elsősorban az AN/FPS-117-es radarcsaládból, és attól délebbre, az AN/FPS-130-as radarokból állnak. Ezek céltárgydetektálási lehetőségeit egészítik ki az amerikai horizonton túli radarok (Over-the-horizon radar – OTH) és a kanadai, az elektromágneses hullámok (EMH) vízfelszíni terjedését kihasználó, horizonton túli (Over-The-Horizon Surface Wave – OTH-SW) radarrendszer. [2] Az amerikai és a kanadai radarok közösen képezik a NORAD *Alaska régiójának* földi radarhálózatát.

A 3. ábra az Orosz Föderáció északi sarkkörön belül települt jelentősebb légvédelmi eszközeit és radarrendszereit jelzi.

Az Arktisz területére az alacsony populáció jellemző. A környezet megfigyeléséhez, az időjárás-előrejelzések, valamint az elektromágneses tevékenységgel kapcsolatos mérések elvégzéséhez napjainkban autonóm szenzor-/radarrendszereket alkalmaznak. A fenntarthatósági követelmények miatt kevés számú radar egymástól gyakran nagy távolságból tapogatja le a légteret. A mért adatok továbbítása és a kommunikáció is nehezebb, de ez a probléma a világűrbe települő internetszolgáltatások pl. a Starlink műholdak, és távadatérzékelő radarrendszerek széles körű alkalmazásával megoldható. Ezt szemlélteti a 4. ábra a Kárpát-medence látószögéből. Az ábrán jól megfigyelhetők a különböző típusú és feladatu műholdak pályadatai. Kiemelten látható az 500 km alatti terület, ahol az úgynevezett „alacsony Föld körüli pályán” (Low Earth Orbit – LEO) mozgó, földmegfigyelő kommunikációs rendszerek, a Nemzetközi Űrállomás, és e térségben egyre inkább felhalmo-



2. ÁBRA. Az USA radarrendszerei az északi sarkkör közelében [3]

zóó űrszemét található. Ez utóbbiak megfigyelése a „katonai-biztonsági” jelentőségük mellett már a polgári elvárások miatt is fontos, hiszen senki sem szeretné, ha „kihullásuk” lakott területeket veszélyeztetne. Természetesen a többi műholddal történő ütközés veszélyeztetettége is fontos tényező, de ez inkább gazdasági, mint biztonsági szempont. Az űrszemét megfigyeléséhez szükséges radarrendszerek már napjainkban is rendelkezésre állnak, „csak” a telepítésükhöz szükséges nemzetközi együttműködés és a pénzügyi fedezet „előteremtése” várat magára. Léteznek például elképzelések ilyen feladatkörű radarrendszer elemek Magyarország területére történő telepítésére, amelyek mérési adatai részben megadják

az űrszemét arktiszi területek feletti mozgásparamétereit is.

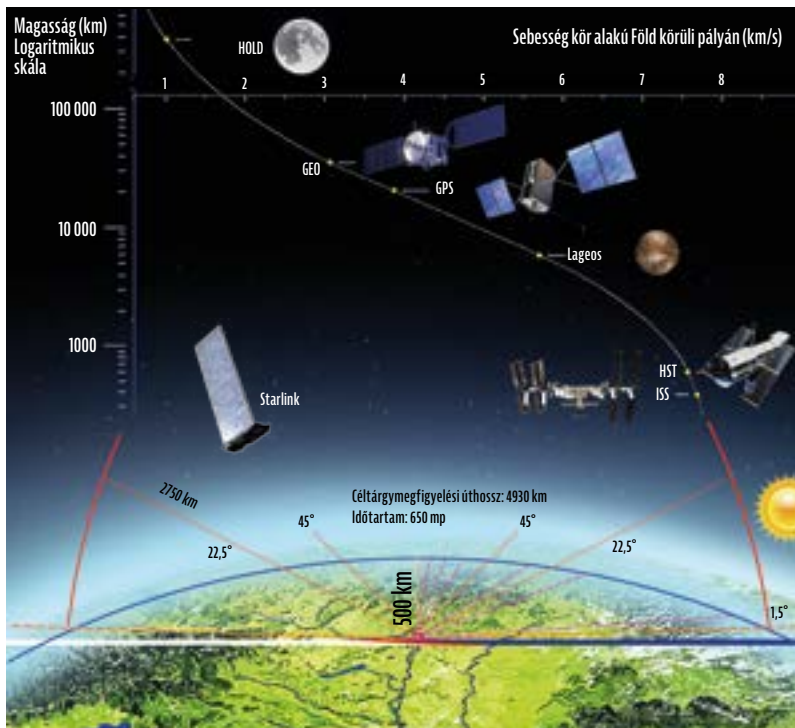
A sarkvidéki területeken az időjárási körülmények jelentősen eltérnek a többi régiótól. Emiatt a radarok alkalmazása az alábbi főbb kihívásokkal jár:

- **Hideg időjárás:** Az arktikus területeken a hőmérséklet gyakran nagyon alacsony, akár -40°C körül is lehet. Ez a hideg időjárás új kihívásokat jelent a radarmérnökök és az üzemeltetők számára. A berendezéseknek megbízhatóan kell működniük, hogy az elektronikus alkatrészek, különösen az antennák megfeleljenek az elvárásoknak és – ha lehet – a radarrendszerek kihasználják a helyi környezet nyújtotta sajátosságokat.
- **Jégtakaró:** Az arktikus területeken gyakoriak a jégmezők, a jégtaka-



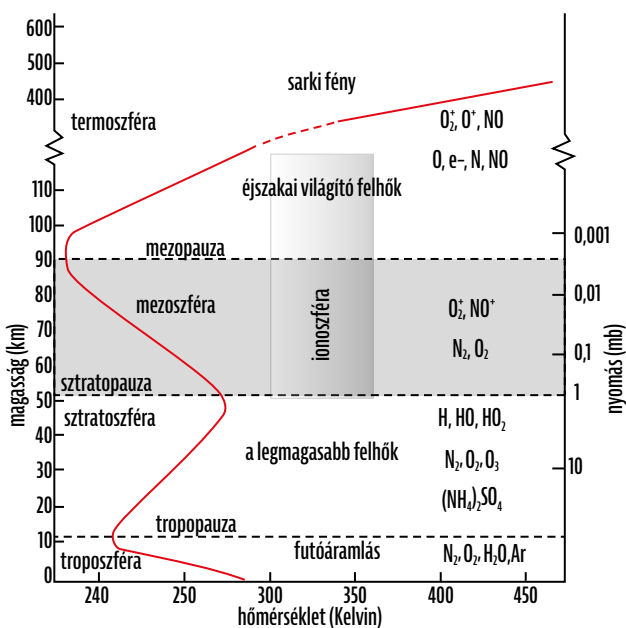
3. ÁBRA. Az Orosz Föderáció északi sarkkörön belüli jelentősebb S-400 típusú légvédelmi eszközei és Resonance-N radarrendszerei [4]

4. ÁBRA.
A világűrbe telepített műholdrendszerek (A szerzők szerkesztése [5] hasonló ábrája alapján)



rók és az időjárást gyakran nagy mennyiségű csapadékkal járó erős szellőkések jellemzik, amelyek mérete és iránya gyorsan változik. Ezek a jelenségek akadályozhatják a radarnyalábok céltárgyról történő visszaverődését és a jelek észlelését. Emiatt a radar passzív zavarcsűrő, például állócell alrendszerei telítésbe kerülhetnek, ezáltal csökkentve a céltárgydetektálás időjárási viszonyoktól függő valószínűségét. A változékony és intenzív csapadékképződés jelentősen csökkenti más, többek között a LiDAR és az infra-

5. ÁBRA.
A hőmérséklet változása és a legfontosabb jelenségek a Föld légkörében [6]



vörös tartományban működő érzékelő rendszerek alkalmazhatóságát. Ugyanakkor ilyen körülmények között a távolfelderítő (VHF, L) és az időjárás-előrejelző (S és C sávú) radarok fontos elemei a több hullámhosszon párhuzamosan működő, érzékelő radarrendszereknek.

- **Sötétség:** Az északi sarkkörön a téli hónapokat szinte a teljes sötétség jellemzi. Ezek a kihívások jelentősen csökkentik a radarokhoz szorosan csatlakozó más, például optikai eszközök alkalmazhatóságát.
- **A földi mágneses mező** naptevékenységgel összefüggő hatásai a radarok által alkalmazott elektromágneses hullámok terjedését, a hullámhossz függvényében jelentősen befolyásolják. A Föld északi mágneses pólusa a földrajzi Északi-sark közelében, míg a déli pólusa a földrajzi Déli-sark közelében található, és bár lassan, de folyamatosan vándorol. A mágneses pólusok tengelye napjainkban kb. 11,3°-kal tér el a Föld forgástengelyétől. A mágneses mező több jól elkülönülő rétegben, 10 000 km-re terjed ki a világűrbe. Ebben a tartományban az elektromágneses mezőben keletkező változások, például az északi fényt eredményező elektronfelhők kiterjedése jelentősen befolyásolhatja a radarok céltárgyfelderítési hatékonyságát. A Föld atmoszférá-

jában a levegő sűrűsége a magassággal rohamosan és folyamatosan csökken. A radarhullámok terjedése szempontjából azonban azt is figyelembe kell venni, hogy a hőmérséklet bizonyos magassági tartományokban csökken, másokban emelkedik. (5. ábra.) Ugyanakkor, ezen természeti jelenségek, az elektromágneses hullámterjedés kihasználása, megnövelhetik a radarok céltárgydetektálási lehetőségeit. (A szerzők a tanulmány 2. részében ismertetik az EISCAT [10] és a Resonace-N rendszerek leírását, valamint a rádióamatőrök tématerülettel kapcsolatos tapasztalatainak összefoglalását.)

A RADAROK EXTRÉM KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT TÖRTÉNŐ ÜZEMELTETÉSE

A tapasztalatok szerint költséghatékony megoldás a mérsékelt égövi működésre tervezett radarok alrendszereinek kombinált izolálása/fűtés-védelme. Ennek gyakran alkalmazott módja a RADOME-ok (a portmanteau of Radar and DOME) alkalmazása. A RADOME az antenna sajátos védőborítása, amelynek anyaga a radar üzemi frekvenciája számára „átlátszó”, L sávban 1,5 dB, míg az S sávban kevesebb mint 3 dB a megengedett vesztesége. Két fő alkalmazási módja terjedt el, a költségesebb kupolaként befedi az egész radart. Így a RADOME-on belül megoldható a folyamatos időjárás-független hőmérséklet, a szükséges logisztika, a radarantenna és az ahhoz szorosan kapcsolódó egyéb rendszerek felügyelete. (6. ábra). A másik gyakran alkalmazott megoldás csak az antenna felületvédelmére szolgál az 1. ábrán látható módon. Az 1. ábra a Senjában (Norvégia) települt RAT-31 S sávú radart ábrázolja, a tetején monopulzusos másodlagos radarrendszerrel. (Ennek a radartípusnak az L sávú megoldásai található Magyarországon: Bánkúton, Békéscsabán és a Medinán.) További részletek elérhetők a [2] és a [7] megfelelő oldalain.

A RAT-31 S sávú radarantenna adórendszere több méter távolságra – egy föld alatti bunkerben – található a passzív fázisvezérelt antennarácstól, míg a Magyarországon települt változatai *aktív* antennarácscok, ahol az antennaelemek és az adó-vevő modulok



6. ÁBRA.
A Norvég Királyi Légierő Sørreisa állomásán található korai előrejelző radar és a kommunikációs rendszerek (Fotó: Torgeir Haugaard / A Norvég Fegyveres Erők engedélyével)

közvetlenül a sugárzók mögött található. Az 1. ábrán a radar mellett egy cső látható, amely nagyobb hófúvások keletkezése esetén meleg levegővel olvasztja fel a jeget és a havat. Megfigyelhető továbbá egy egyszerű meteorológiai állomás, és bal oldalon egy optikai – a környék megfigyelésére alkalmas – periszkórendszer.

A sarkkörön belül található radarok is rendelkeznek beépített meghibásodás-jelző rendszerekkel (Built In Test – BITE). Ugyanakkor a BITE lehetőségei nem fedik le teljes mértékben a radarrendszer minden fontos performanciáját. Ez utóbbiak magukba foglalják az antenna iránykarakterisztika-jellemzőit, a vevőrendszer-érzékenység, a linearitás, a dinamika-tartomány, a zajteljesítmény, az adóteljesítmény-veszteségek,

az elektronikai védelemjellemzők, a plot extraktor és primer/szekunder radar adatfeldolgozási jellemzők üzemeltetés során bekövetkező változásainak pontos meghatározását. Ezért rendszeres időközönként a teljes radarrendszer performancia-vizsgálatokon esik át, amelynek végrehajtására gyakran a téli időszakban kerül sor. A 7. ábrán, a motoros szánon az egyik szerző látható e vizsgálatnak a kihelyezett mérőpontján, a mérés beállítása közben.

A 9. ábrán a P-14-es radar figyelhető meg, amely Magyarországon is évtizedekig üzemelt. A futballpálya nagyságú antennatükörrel – szükség esetén – rézdrótból készített fűtőrendszer olvasztja le a jeget. Ez a múzeumi példány napjainkban a medinai radar-századnál látható. A radar modernizált

1. TÁBLÁZAT. A RAT-31 S sávú radar főbb műszaki jellemzői (A szerzők szerkesztése [2] alapján)

Harcászat-technikai jellemzők	Értékek	
Műszeres hatótávolság [km]	470	
Üzemi frekvencia [GHz]	3	(10 cm hullámhossztartomány)
Adóimpulzus-teljesítmény [kW]	155	
3 dB-es antenna-irányélességi szög [°]	1,5	(1,3)
Légtér-letapogató sebesség [s]	10	

változatát több ország (Oroszország, Kína, Vietnám stb.) alkalmazza.

Néhány főbb műszaki paramétere: műszeres hatótávolság: 1200 km, üzemi frekvencia: VHF = 150–170 MHz közötti. További részletek elérhetők a [2] és a [7] megfelelő oldalain.

A 8. ábra a hazánk által is megvásárolt mobil NASAMS radarrendszerét mutatja téli álcázással. Néhány főbb műszaki

7. ÁBRA. Radarrendszer-performanciateszt külső helyszínen (Fotó: a szerzők archívumából)

8. ÁBRA. A mobil NASAMS 2 rakétarendszer Norvégiában (Fotó: Ole-Sverre Haugli)



7.



8.



9. ÁBRA.
A P-14-es nagyon nagy
hatótávolságú radar [9]

paramétere: műszeres hatótávolság: 80 km, üzemi frekvencia: 10 GHz körüli (3 cm hullámtartomány). További részletek elérhetők a [8] megfelelő oldalain.

Az atmoszférában időlegesen jelen lévő turbulenciák, anomáliák hatnak az EMH terjedésére, így a radarmérések pontosságára. A veszteségeket és a radarok számára megoldandó kihívásokat növelik az atmoszférában időlegesen jelen lévő, változó intenzitású, kiterjedésű és mozgási paraméterekkel rendelkező esőcseppek, hó- és jégkristályok. Az extrém hideg és a rossz időjárási körülmények a radarhullámok diffrakcióját, gyakori „angyal” jelenség kialakulását okozhatják, amely a mérési pontosság és a minőségi detekciós paraméterek csökkenését eredményezi. A jelenség egyszerű magyarázata megtalálható a [2] szakirodalomban, amely a lokátoros szakma kiemelkedő tudósainak közreműködésével készült.

Az északi-sarki területek állandó megfigyelésére is tökéletesen alkal-

mas a hazánk légterében gyakran látható a NATO E-3A korai előrejelző és légtérelenőrző (Airborne Warning and Control System – AWACS) repülőgép. (10. ábra.) Orosz megfelelője a Beriev A-100 AWACS. Ha a szabad térben terjedő EMH útjában akadály található, akkor a geometriai optika szerint az árnyékban lévő céltárgyra a hullámhossztól függő elhajlási szög függvényében nem jut energia. További részletek a [2] és a [7] hivatkozásban. Ez csökkenti a radarjel erősségét, és nemkívánatos visszhangot vagy passzív zavarteljesítmény-emelkedést okoz. Az AWACS gépek repülési magassága béke időszakban 9000 m, és a repülőgép elhelyezett radar kihasználja a rádióhorizont nyújtotta lehetőségeket. Az S sávú radar képes 312 000 km²-es területen belül felderíteni a légi célokat. A radar a nagyon kis magasságon közeledő célokat 400 km-en belül, míg a közepes magasságon repülőket 520 km-en belül képes detektálni, útvonalba fogni és azonosítani (például barát-idegen felismerés, és/vagy típus

szerint). További műszaki paraméterek: műszeres hatótávolság: 800 km, üzemi frekvencia: 3,5 GHz körüli (10 cm hullámtartomány).

Az alacsony hőmérséklet – a hátrányok mellett – a radarok számára kihasználható előnyökkel is jár. Ennek gyakorlati megvalósítása a környezeti tényezők pontos ismeretétől, a radar típusát meghatározó performancia-elvárásoktól, a radar üzemi frekvencia-tartományától, a már említett légköri viszonyoktól és a céltárgy jellemzőitől függ. A céltárgydetektálás legfontosabb jellemzője a radarvevő által elérhető jel-zaj viszony. A céltárgyról visszavert jel nagyságát jelösszegzéssel növelhetjük, abban az időtartományban amíg a radarnyaláb „látja” a célt (angol neve: „Time on Target”). Ez az arány növelhető a vevőrendszer zajteljesítményének csökkentésével (lásd: a keretbe foglalt (1) képlet).

A vevőbemeneti *ekvivalens* rendszer zajhőmérséklete több tényező együttes hatásának a vevőrendszer bemenetére átszámított értéke. Blake szerint három fő összetevővel mindenképp számolnunk kell. Az első az *antenna-hőmérséklet*, amelyben a környezeti hőmérsékletéhez hozzáadódik az antenna-iránykarakterisztika világűr irányába mutató, és frekvenciafüggő korrekciója, az antennarendszer Föld felé mutató melléknyaláb-korrekciós tényezője osztva az antenna felületi disszipációs tényezővel. A második összetevő a *vevőrendszer-elemek fizikai hőmérséklete és veszteségei*, végül a harmadik a *vevőhőmérséklet*, amelyet a vevő zajtényezője és hőmérséklete határoz meg.

Látható, hogy a hőmérsékletváltozás hatása nagyon komplex módon hat a vevő zajteljesítményének változására, különösen a kis elevációs szögek használatakor. Ugyanakkor a technológia fejlődésével a környezeti hatá-

$$\text{A vevőrendszer zajteljesítménye: } N_R = k_B T_s B_n = E\{|w(n)|^2\} \quad (1)$$

Ahol:

- k_B – Boltzmann-állandó ($1,38 \cdot 10^{-23}$) (J/K),
- T_s – *vevőbemeneti ekvivalens rendszer zajhőmérséklet* (antenna kimeneti zajhőmérséklet (részletek [7]) (K),
- B_n – a vevőzaj sávzélessége az illesztett szűrő kimenetén (Hz),
- $w(n)$ – vevőzaj ADC (Analoge Digital Converter – analóg/digitális átalakító) után n szinten mintavételezve,
- $E\{|w(n)|^2\}$ – a vevőzaj varianciája, szórása, átlagteljesítménye a jelintegrálás idejére.

sok pillanatnyi állapotát pontosan mérhetjük, és értékeit a feladatok megoldása szempontjából optimalizálhatjuk. A lehetőségek demonstrálása céljából tételezzük fel, hogy a vevősáv szélesség $B = 5$ MHz, RADOME nélkül üzemel a trópusokon és a sarkkörön belül. A radaregyenleten alapuló Blake Chart számításokkal hasonlítsuk össze: az L sávú radar 1,1 GHz esetén a $T_s = 923,5 - 860,7 = 62,8$ K (50 °C) változás 560 m felderítési távolságnövekedést okoz azonos radarrendszerparaméterek esetén, egy impulzusra vonatkoztatva. Ugyanezekkel a rendszerparaméterekkel az X sávú radar 9,1 GHz esetén a $T_s = 929,8 - 866,9 = 62,8$ K (50 °C) változása, csak 350 m felderítési távolságnövekedést okoz; természetesen azonos radarrendszerparaméterekkel és egy impulzusra vonatkoztatva.

Megállapítható, hogy az elérhető adott jelszinthez viszonyított zajteljesítmény-csökkenés egy impulzus jelfeldolgozása esetén minimális, de hosszabb idejű jelintegrálással már jelentős lehet. Katonai alkalmazások esetén kiemelkedően fontos a környezeti interferencia, az aktív és a passzív zavarjelek jelenlétének folyamatos értékelése passzív rádiólokációhoz kiegészítő adatok szolgáltatása, ahol a „tisztá vevőjelspektrum” elvárások védelmi rendszereinek helyi interferencia méréséhez szükségesek.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Molnár, D., Szalkai, P. Arctic Strategies for a Peaceful Future, *Hadtudomány*, XXXIII. évfolyam, 2023/1., <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2022.32.4.58> (Letöltve: 2023.11.12);
- [2] Radartutorial, <https://www.radartutorial.eu/19.kartei/02.surv/karte006.en.html> (Letöltve: 2024.1.4);
- [3] The Economist: North America's Arctic radar shield is due for an upgrade, North America's Arctic radar shield is due for an upgrade (economist.com) (Letöltve: 2023.11.12);
- [4] Satellite Images Reveal New Russian Long-Range Radar in the Arctic, High North News, <https://www.highnorthnews.com/en/satellite-images-reveal-new-russian-long-range-radar-arctic> (Letöltve: 2023.11.12);
- [5] Balajti István. *A Radar 2021*. Zrínyi Kiadó, Budapest ISBN 978 963 327 860 4;
- [6] A légkör szerkezete: <https://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyezettan9/www/out/html-chunks/ch17s02.html> (Letöltve: 2024.1.4);
- [7] Barton, David K. *Radar System Analysis and Modeling* Artech House Publishers, 2005.;
- [8] Tömböl L., Juhancsik J. *NASAMS – Légvédelem a XXI. században*, 2021. Zrínyi Kiadó, Budapest;
- [9] G.KABS P-14 Tall King: <https://combatace.com/forums/topic/94583-p-14-tall-king/> (Letöltve: 2024.2.14)
- [10] EISCAT Tromsø site – EISCAT Scientific Association. <https://eiscat.se/about/sites/eiscat-tromso-site/> (Letöltve: 2023.12.11.).

Az extrém hideg és intenzív csapadékképződés befolyásolja a radarberendezések, például az antenna, az adó, a vevő és a tápegységek teljesítményét. Néhány lehetséges hatás:

- Akkumulátorok és tápegységek: a hidegben az akkumulátorok hatásfoka csökkenhet, és kevesebb energiát tárolhatnak. Ez a mobil radarok üzemidejét és hatékonyságát is csökkenti.
- Elektronikai komponensek: negatívan befolyásolhatja az elektronikai komponensek stabilitását és működését. Az alkatrészek alacsony hőmérsékleten lassabban reagálhatnak, amely a radar teljesítményére hatással lehet, ezért a be-

építendő alkatrészek viselkedését a sarkkörön belüli üzemeltetési körülményekre tesztelik. A részegységek extrém időjárási körülmények közötti működtetéshez előírt paramétereket szabványok írják elő. Antenna és más mechanikai részek: az antennára, a RADOME-ra fagyott jég és hókristályok megváltoztatják az EMH-terjedés és az anyagok fizikai tulajdonságait, például az antenna és más mechanikai részek egymáshoz viszonyított helyzetét. Ez befolyásolhatja az antenna pontos beállítását, iránykarakterisztikáját és a radar mobilitását.

(Folytatjuk)

10. ÁBRA.
Egy NATO E-3A AWACS repülőgép a norvégiai Ørland repülőtéren (Fotó: Nils Petter Skipnes /Forsvaret)

