



BALAJTI ISTVÁN\* – KUNOS BÁLINT\*\*

# A RADAROK ÉSZAKI-SARKVIDÉKI ALKALMAZÁSÁNAK KIHÍVÁSAI

II. RÉSZ

11. ÁBRA.  
A norvégiai Ramfjordmoen  
EISCAT-VHF és -UHF  
antennarendszerei [11]

**A TANULMÁNY ELSŐDLEGES CÉLJA A RADAROK EXTRÉM KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT TÖRTÉNŐ ÜZEMELTETÉSÉNEK BEMUTATÁSA.** A szerzők publikációjuk I. részében ismertették az Északi-sark (Arktisz) topográfiai és meteorológiai jellemzőit, majd a közelében települt amerikai és orosz radarrendszereket. A folytatásban két, – az EISCAT 3D és a Resonance-N – multisztatikus katonai radarrendszer működését állítják fókuszba.

## AZ ARKTISZ NYÚJTOTTA LEGKORSZERŰBB RADARÉPÍTÉSI LEHETŐSÉGEK

A multisztatikus radarrendszerek (Multistatic Radar – MSR) elmélete az 1950-es évekre nyúlik vissza. [12] Ezek olyan radarrendszerek, ahol az egyes radarok egymástól néhány tíz vagy akár több száz kilométer távolságra helyezkednek el, de az adó-vevő rendszereik szinkronizálva vannak egymáshoz és közös jelfeldolgozással rendelkeznek. Ezzel a radartípussal szemben elvárás, hogy az adó-vevő rendszereiket, indítás-, jelamplitúdó- és fázisjellemzőiket szinkronizálják egymáshoz, és a különböző radarhelyszíneken vett jelek

közös jelfeldolgozással és „plot extraktor”-ral rendelkezzenek. Természetesen az egyes radarok képesek önállóan is elvégezni az alapvető feladataikat, ezért alkalmazásuk rejtett üzemmódban is megvalósulhat. A multisztatikus rendszerek költséghatékony megvalósítása az 1990-es években a digitális jelfeldolgozás olcsó és gyorsan bővülő számítástechnikai kapacitás-növekedésével jött el. A tématerület szakirodalom által elismert legnagyobb szakértője prof. Chernyak Viktor. [12] Gyakran használt elnevezés a MIMO- (Multiple Input Multiple Output) radar, amely túl általános kifejezés, ezért napjainkban a kvázi-monosztatikus (K-M), iker- vagy rádiófrekvenciás (RF – magyarul „mikrohullámú”) radarhálózatok néven is ismert. [13] A hagyományos radarral ellentétben, amelyet a radarhorizont korlátoz, ezek a rendszerek „túlnézhetnek” a Föld görbületén, beláthatnak hegyek közé, ha az adó- és vevőantenna iránykarakterisztikák átfedésbe kerülnek. A módszer alkalmazása növeli a céltárgymérési hatótávolságot, a pontosságot, a felbontást, az aktív és passzív zavarvédelmi képesség növekedést.

Elterjedését csökkenti a hatékony megvalósításhoz szükséges különleges adójelstruktúrák szinkronizált, koherens jelfeldolgozás és az adatfeldolgozás műszaki elvárásainak komplexitása. [14] Az MSR-rendszerkonfiguráció a primer radarok esetén a bi-, multisztatikus, kvázi-monosztatikus elnevezés 2-3 radart jelent, míg passzív radarrendszerek esetén 3-6 mérőpont jelfeldolgozásának párhuzamos kiértékelése valósul meg. Arktiszi területen a radarok a Föld ionoszférájában feldúsuló elektronokról visszaverődő rádiójel hullámhossztól függő sajátosságait használják ki. (A témáról részletesen írunk a tudományos kutatásokat célzó EISCAT, és a hasonló működési elvekre épülő Resonance-N [13. ábra] radarrendszerek leírásánál.) Az ionoszféra több rétegéből radaros szempontból legfontosabb a 80–110 kilométeres magasságtartomány (az ún. termoszféra), ahol a nap-sugárzás, az ionoszféra mesterséges fűtése, vagy a rádióamatőrök többnapos versenyein megfigyelhető nagy teljesítményű kapcsolatteremtések feldúsítják az elektronfelhőket. Ennek következtében az elektronfelhők sűrűsége

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

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

rúsége és egymáshoz viszonyított helyzete lehetővé teszi az 45 MHz és a 900 MHz közötti EMH visszaverődését az ionoszféráról. Rámutatnánk, hogy ez nem OTH-technológia, mivel az OTH-SW a 3–15 MHz, míg az OTH a 13–36 MHz üzemi frekvenciatartományokat használja. A multisztatikus rendszerstruktúra költséghatékony megvalósíthatósága a radarfeladatokra eddig alkalmatlannak tartott frekvenciatartománnyal napjaink kiemelt radarteknológiai kutatási területté vált. Az eredmények bemutatását behatárolja, hogy a katonai vonatokkal rendelkező megoldásokat csak „irányítottan” oszthatjuk meg az érdeklődőkkel.

Ezért a teljesség igénye nélkül a lehetőségeket két rendszeren keresztül mutatjuk be. Mindkét esetben a Föld légkörében (lásd a cikk 1. részében közölt 5. ábrát) az Arktisz 80–95 km magasságában koncentrálódó elektronfelhőkről való visszaverődéseket használják ki multisztatikus elrendezésben. (12. ábra)

### TROMSØ EISCAT IONOSZFÉRAÁLLAPOT-KUTATÓ LÉTESÍTMÉNY

Az EISCAT (European Incoherent Scatter Scientific Association – Európai Nemkoherens Szóródások Tudományos Egyesülete) központi létesítménye Norvégia északi részén, Ramfjordmoenben, Tromsø közelében található. A különböző sarkköri területekre telepített létesítmények hasonló elrendezést követnek a 11. ábrán látható felépítésben.

A központi helyszín egy parabolikus, mozgatható UHF-antennából, négy egymással szinkron, de külön



12. ÁBRA.  
Az EISCAT 3D radar antennarendszere a svédországi Kaiseniemben [13]

is mozgatható téglalap alakú VHF-antennából, az 56 MHz környékén üzemelő MORRO-radarból (MOBILE Rocket and Radar Observatory), az ionoszféra fűtőberendezésből (Heating), és több épületből áll, ahol a kutatók és a látogatók számára különböző helyiségek találhatók. Az innen kisugárzott jeleket hasonló paraméterekkel rendelkező radarantennákkal veszik a svédországi Kirunában és a finnországi Sodankylában, valamint az újonnan épülő EISCAT 3D teszthelyszíneken.

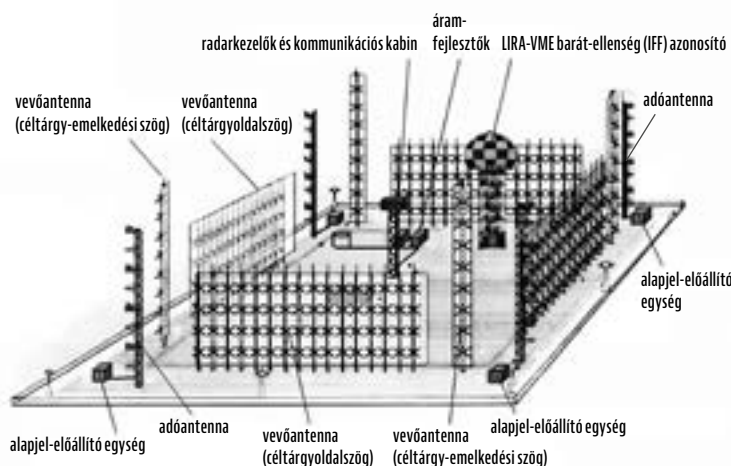
Az ionoszféraállapot-módosító radar, *Heating facility/dipole antenna* 12 db modulból, egyenként 100 kW teljesítményű adóból és három antenasorból áll, amelyek a 3,85 MHz és a 8 MHz közötti frekvenciatartományban képesek üzemelni. Ezzel a teljesítménnyel már jelentősen megnövelhető az ionoszférában jelen lévő szabad elektronfelhők nagysága.

A MORRO-radar 56 MHz frekvencián üzemelő MST (Mesosphere-Stratosphere-Troposphere/Mezoszféra-Sztratoszféra-Troposzféra) radar, amely egy  $12 \times 12 = 144$  elemből álló, fázisvezérelt, adott irányokban elektronikusan mozgatható Yagi-antenna-rendszer. 12 db félvezető adója egyenként 7,5 kW csúcsteljesítményre képes 10% kitöltési tényezővel. Így 90 kW csúcsteljesítmény mellett 9 kW az átlagteljesítménye. Az antennarendszer vétele 6 csatornás.

Az EISCAT-VHF-radar a 224 MHz-es sávban működik. Az adó csúcsteljesítménye 3 MW, 12,5%-os kitöltési tényezővel. Az impulzushossz állítható 1  $\mu$ s – 2 ms között, elvárt frekvencia- és fázismodulációval. Az adás-vétel antenna, egy parabolikus henger, amely 4 negyedből áll, és teljes nyílása  $120 \times 40$  m. Ez az antenna mechanikusan mozgatható függőlegesen ( $-30^\circ$  és  $60^\circ$  zenit közötti szög), és elektronikus letapogatással vízszintes síkban ( $\pm 12^\circ$ ). (11., 14. ábrák) A vevőkészülékek a nagyobb mérési pontosság érdekében többcsatornásak, úgy a VHF-, mind az UHF-radarokban.

Az EISCAT-UHF-radar a 930 MHz-es sávban működik, az adó csúcsteljesítménye 2,0 MW, 12,5% kitöltési tényezővel. Az impulzushossz beállítható 1  $\mu$ s – 10 ms között az elvárt frekvencia- és fázismodulációval. Az antenna egy 32 méteres átmérőjű, mechanikusan mozgatható paraboloid antenna, amelyet adásra és vételre is használnak. (11. és 15. ábrák)

13. ÁBRA. A Resonance-N radarrendszer felépítése. Az antennarendszer 100×100 méteres területen helyezkedik el és 4 különböző vezérelt antenna (adó és vevő) elemet foglal magába, így biztosítva a 360 fokos letapogatást





14. ÁBRA.  
EISCAT-VHF radar négy, külön  
is mozgatható antennaelem  
(Balajti István felvétele)

A szerzők egyike nyári időszakban látogatott a helyszínre, ahol minden létesítmény működésébe betekintést nyerhetett. (14. ábra.)

### AZ EISCAT IONOSZFÉRA- ÁLLAPOT-KUTATÓ RENDSZER KORSZERŰSÍTÉSE

Az EISCAT rendszer üzemeltetési tapasztalatai és mérési eredményei lehetővé tették a rendszer jelentős korszerűsítését. A nemzetközi összefogással épülő multisztatikus radarrendszer, az EISCAT 3D célja pontosabb ismereteket szerezni a sarkvidék feletti elektromágneses terek, az ionoszféra, a troposzféra és a Föld-közeli űrkörnyezet viselkedéséről, továbbá adatokat szolgáltatni a Naprendszer és a rádiócsillagászati tudományok támogatására. A radarrendszert arra tervezték, hogy megvizsgálja, hogyan kapcsolódik a Föld légköre az űrhöz, de más

15. ÁBRA.  
EISCAT-UHF antenna Kirunán  
(Finnország)  
(Fotó: Lars-Göran Vanhainen)



tudományos célpontok széles körének vizsgálatára is alkalmas lesz, például az űridőjárás előrejelzésére, az űrszemét észlelésére, valamint éghajlatkutatásra. A Norvégiában, Svédországban és Finnországban települt, fázisvezérelt antennaelrendezési technológia alapján, az EISCAT 3D képes lesz háromdimenziós méréseket végezni többek között a 80–110 km magassági tartományban elhelyezkedő plazma sűrűségéről és hőmérsékletéről, valamint mozgásirányáról. Az eddig elért tudományos eredmények a [15] forrásban áttekinthetők.

### AZ EISCAT 3D RENDSZER HARDVERELEMEI

A 12. és 16. ábrákon az EISCAT 3D antennarendszere látható, amelynek részletes elemzése a [15] forrásban megtalálható. Az antennaszervezet Kínából származik, az ECRIEE (East China Research Institute of Electronic Engineering) szállította. A fázisvezérelt antennák mindegyike körülbelül 10 000 elemi antennából áll. Az antennák jeleit elektronikusan kombinálják, ami lehetővé teszi, hogy az antennanyalábokat nagyon gyorsan átirányítsák az égbolt adott irányába. Megoldható, hogy több mint 1000 különböző irányba nézzenek minden másodpercben, és egyidejűleg 100 különböző irányba, ha a mérések érdekében arra van szükség. Minden adó- és vételi antennaelem két polarizációt használ. A 10 000 elemi antenna minden helyszínen egy majdnem kör alakú, mintegy 70 méter átmérőjű területet fed le. A központi adóállomás (Skibotn közelében, Norvégiában) 10 kisebb antennarendszernek is otthont ad a pontosabb mérések érdekében. A nagyobb tömböket 100×100 m méretű, elkerített területeken helyezik el, hogy megvédjék a rendszert a nem kívánt látogatóktól (például a jávorszarvasoktól). A helyszíneken kis épületeket is emelnek, amelyek az érzékeny elektronika egy részének elhelyezésére szolgálnak.

A 228 antennaelrendszer (Antenna Unit – AU) mindegyike egy-egy rendszerkonténerből, és annak tetejére szerelt 91 antennaelemből áll, amelynek erősítési tényezője legalább 45 dB a teljes 218 MHz ~ 248 MHz üzemi

tartományban. A 17. ábrán egy antennaegység sematikus rajza látható. A különböző helyszíneken ezzel megegyező felépítésű, de 109, 55 és 54 antennaegységből kialakított rendszerek települnek. Minden konténer tartalmaz egy előerősítő egységet (First Stage Receiver Unit – FSRU). A 91 antennáról érkező jeleket a vevőrendszer erősíti és szűri, majd digitális előfeldolgozás után digitális adatfolyamok formájában további feldolgozásra és kiértékelésre a központi számítógép-rendszerekbe küldi.

Az EISCAT 3D elosztott, félvezető adót fog használni, 1 kW csúcsteljesítménnyel (legfeljebb 250 W átlagos teljesítmény) minden aktív antennán.

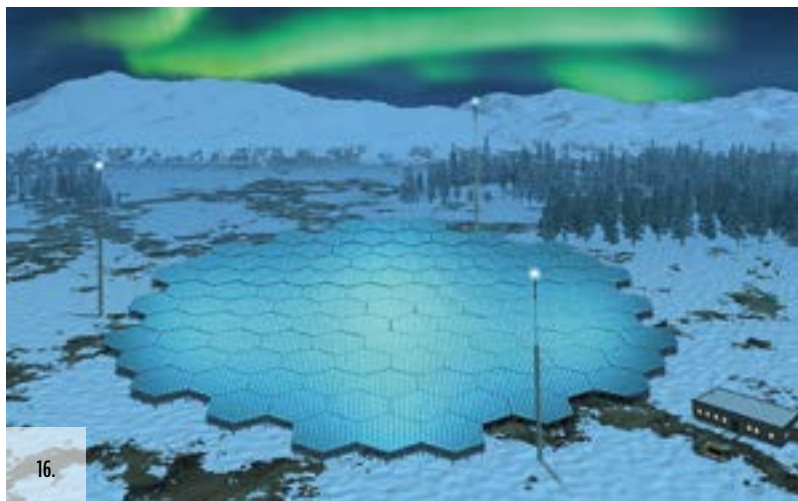
Az adórendszerek hasonló elrendezést követnek, mint a vételi modulok. A fő különbség az, hogy a rendszer 182 adókonténert tartalmaz. Ezek az adók minden egyes AU-hoz egy adó alrendszeren keresztül csatlakoznak. Az adók vezérléséhez külön impulzus- és antennanyaláb-vezérlőegységekre (Pulse and Steering Control Unit – PSCU) van szükség. Minden PSCU 16 adót vezérel, amely azt jelenti, hogy 12 egységre van szükség minden adóval felszerelt AU-hoz.

További rendszerelemekre, például hálózati kapcsolókra, időzítő- és szinkronizációs egységekre is szükség van. Ezek az egységek biztosítják az üzemi feltételeket az AU-konténerek számára, pl. szabályozzák az elektronika, a radiátorok, a kényszerhűtés be- és kikapcsolását.

### AZ EISCAT 3D RENDSZER SZOFTVERELEMEI

A teljes EISCAT 3D rendszer központi számítógépes vezérlő- és kezelőhálózata Svédországban települ. Innen történik a teljes EISCAT 3D rendszer irányítása.

Az EISCAT 3D-t úgy tervezik, hogy több különböző mérési eljárást, módszert használjon, amelyeket bár külön-külön máshol már alkalmaztak, de eddig még nem illesztették egyetlen radarrendszerbe. A párhuzamosan vezérelt, nagyszámú fázisvezérelt antennarendszer lehetőséget ad arra, hogy megfigyelhessük mi történik az ionoszférában, a háromdimenziós képalkotás lehetővé teszi, hogy a



16.

geofizikai eseményeket teljes térbeli összefüggésükben lássuk, és különbséget tegyünk a térben és az időben változó folyamatok között. Az új megoldások nyújtotta legfontosabb rendszer-performanciák:

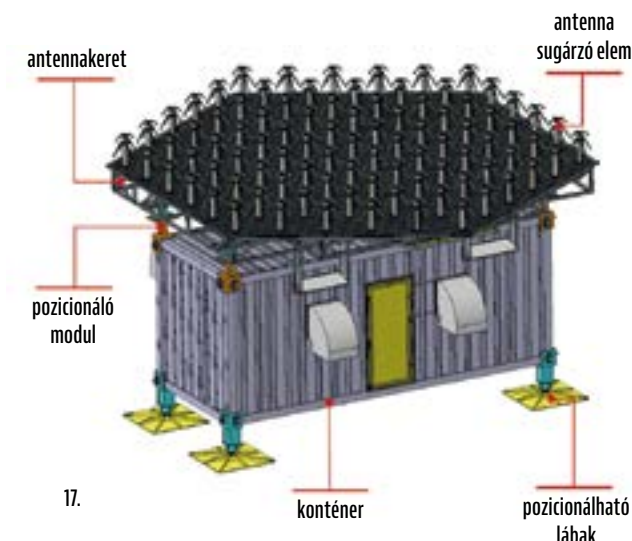
- A vizsgált események térbeli leképezése és követése. A nagyon széles térbeli lefedettség, több párhuzamosan üzemelő sugárnyaláb illesztésével, lehetővé teszi a kvázi egyidejű háromdimenziós képalkotást. Ezzel megoldható olyan objektumok, mint a műholdak és az űrszemét követése.
- Interferometrikus képalkotás nagy multisztatikus bázisvonalakkal, amely a rendszer konfigurálás függvényében akár 20 méter pontossáig terjedő képelőállítását segítő méréseket tesz lehetővé.
- A mérés érzékenység jelentős javulása a 10 000 elemet tartalmazó aktív helyszínek és antenaerősítések következtében.
- Az adórendszerek feladatorientált vezérlése a központi vezérlés, és az adóegység saját jelgenerátora által. Ez lehetővé teszi az összes jelenleg használt és tervezett modulációs séma és antennakódolás megvalósítását (például többfázisú váltakozó ortogonális kódok, orbitális pályamegfigyelésre optimalizált impulzusnyalábok), valamint lehetőséget ad bármilyen jövőbeli kód elfogadására.

Az EISCAT 3D rendszer nemzetközi összefogásban épül, polgári multisztatikus VHF frekvenciatartományban üzemelő radarrendszer. Ezért a főbb műszaki paraméterei hozzáférhetőek és tanulmányozhatóak. Ugyanakkor

ugyanezen az elven katonai radarrendszerek is üzemelnek, amelyekről bár csak kevés információval rendelkezünk, de azok a rendszerek az üzemeltetésükkel kapcsolatos fizikai jellemzőiket vizsgálva összehasonlíthatóak. Ilyen katonai felhasználású rendszer az Orosz Föderáció Resonance-N radarrendszere, amely valószínűleg szintén képes a multisztatikus üzemmódra. Az EISCAT 3D, és a Resonance-N rendszerek az ionoszféraradarok szempontjából legfontosabb rétegről visszaverődő radarnyalábok fizikai elvén működnek. Természetesen multisztatikus üzemmódban, több egymástól távol lévő radarhelyszínről kiinduló és a „lopakodó” céltárgyakra visszaverődő jeleket minden radarhelyszínen vesznek.

### A RESONANCE-N MULTISZTATIKUS KATONAI RADARRENDSZER

Az elmúlt években Oroszország három Resonance-N radarberendezést épített, amelyek közül kettő az Északi-sarkvidéken található. A radarok a sarkvidéki légi közlekedés stratégiai felügyeletét biztosítják 100 kilométeres magassáig és 1100 kilométeres műszeres mérési távolsággal. Ide tartoznak a stratégiai bombázók és a föld-föld/levegő-föld cirkáló-rakéták. A 18. ábrán látható módon képesek a ballisztikus rakéták és repülő eszközök egyenes rálátással és felülről történő besugárzására, korai észlelésére és követésére. A rendszert úgy tervezték, hogy egyszerre 500, akár a hangsebesség hússzorosával mozgó célpontot észleljen és kövessen. Egy vadászrepülőgép méretű célpontot



17.

(RCS  $\cong 1,2 \text{ m}^2$ ) 10 km/s sebességgel, 300 km hatótávolságban detektálható 300 méteres pontossággal. Szögmérési pontossága oldalszögben és emelkedési szögben 1,5 fok, míg a sebességmérés pontossága 1,8 km/h. (13. ábra)

Minden Resonance-N radarrendszer négy darab 100 méter hosszú, két-polarizációs fázisvezérelt antennamodulból áll, amelyeket négyzet alakban rendeznek el, és amelyek mindegyike a légtér  $\pm 45$  fokos szakaszát fedi le. Ezeket két függőleges vevőtoronyra szerelt antennarendszer szegélyezi a célok magassági adatainak meghatározására. A vett radarimpulzusokat a négy toronyra szerelt, kétpolarizációs antennarendszer továbbítja a központi harcálláspontok felé. A radar közepén található RADOME alatt „Lira-VME” típusú barát-ellenség azonosító rendszer található.

A Resonance-N a VHF frekvenciasávban 35 MHz és 70 MHz között üzemel. Ez a hullámsáv, a terjedési tulajdonságai és a céltárgy méretével „rezonáló” hullámhossz (10–1 m) miatt különösen alkalmas az alacsony radarkeresztmetszetű (RCS) célpontok észlelésére és követésére. Ide tartozhatnak az amerikai légierő Northrop Grumman B–2A Spirit és a hamarosan rendszerbe álló B–21 Raider stratégiai bombázói, a Lockheed Martin F–22A Raptor, F–35A Lightning harci repülőgépei, az AGM–158 Joint Air-Surface Standoff rakéta és a Raytheon AGM–129A alacsony észlelhetőségű cirkáló-rakéta. (További információk a jobb oldalon látható QR-kódokon olvashatók.)

A Resonance-N radar főbb üzemmódjai hasonlóak a hazánkban is

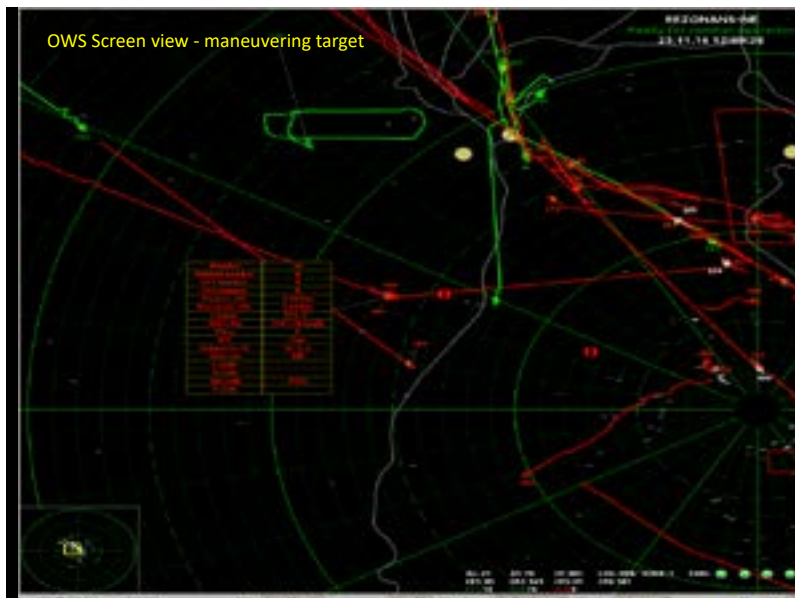
16. ÁBRA. Egy EISCAT 3D radarállomás illusztrációja, amelyet a tervezési tanulmányban tettek közé [17]

17. ÁBRA. Egy antennaegység sematikus rajza. Az állítható antennakeret 91 elemi sugárzót foglal magába, és a műszer-egységet tartalmazó konténerre van szerelve [16]



18. ÁBRA.

A Resonance-N digitális kép-interfész részletes cél-és tervadatokat mutat [16]



üzemelő RAT–31D távolfelderítő radarok rövid és hosszú időtartamú impulzust alkalmazó megoldásaihoz. A rövid impulzusok alkalmazása elégséges energiát tartalmaz a radarhoz közeli céltárgyak detektálásához, míg a hosszabb impulzusok a távoli céltárgyak észleléséhez szükséges magasabb energiaszintekhez szükségesek. Erre példa a ballisztikus rakéták és az alacsony RCS-jű repülőgépek észlelése. A radar üzemi frekvenciái elősegítik a különböző üzemmódok egymástól történő elkülönítését, pl. az 51,3 MHz-es (hosszú időtartamú impulzusok) az 55,5 MHz-es (rövid impulzusok), valamint a 49,4 MHz-es (hosszú impulzusok) és 50,4 MHz (rövid impulzusok) tartományok egy-

máshoz párban kapcsolódnak. Az üzemelés optimalizálása szempontjából, interferencia és/vagy zavarítás miatt a radar automatikusan figyelheti a teljes 35–70 MHz közötti frekvenciasávot. Ha zavarást észlel, az adaptív zavarelyomó rendszerek automatikusan bekapcsolnak; ha a zavarás túl erős a beépített mesterséges intelligencia (MI) vagy a radarkezelő letilthatja a radarlefedettség azon irányait, ahonnan a zavarás származik. A Resonance-N rendszer üzemelési környezeti EMH terjedési viszonyainak gyors változása megköveteli a hatékony mesterséges intelligencia alkalmazását a céltárgydetektálás paramétereinek gyors és hatékony meghatározására. Ezáltal a radar digitális jelfeldolgozása olyan hatékonyságot ér el, hogy az ember-gép kapcsolat megjelenítő indikátorai nagyon hasonló kialakításúak a jól ismert nagyhatótávolságú radarrendszerekéhez. (18. ábra) Az angol nyelvű felirat a radar export változatáról készült.

ami – különösen hosszú idejű koherens jelintegrálás esetén – növeli a radarrendszer által elérhető jel-zaj viszonyt. Ennél is jelentősebb lehetőségeket kínálnak az ionoszféra visszaverődéseket kihasználó, több frekvenciatartományt is használó, 45–900 MHz tartományban üzemelő multisztatikus radarrendszerek.

Részletesen bemutatottuk Svédország, Norvégia és Finnország erőfeszítéseit az EISCAT 3D radarrendszerrel végzett ionoszférakutatás területén és az új radartípusok fejlesztésében elért eredményeiket. Feldolgoztuk az EISCAT 3D rendszerhez hasonló katonai, alacsony VHF tartományban üzemelő Resonance-N radarrendszer főbb paramétereit, és bemutatottuk a főbb rendszerjellemzőket. Összevetettük a már üzemelő, és a kiépítés alatt lévő rendszerek közötti különbségeket, beleértve a mozgó objektumok változó körülmények közötti észlelésében és sebességének méréséhez szükséges megoldásokat. A bemutatott radarrendszerek sarkkörüli körülmények közötti üzemelésre optimalizáltak, ugyanakkor már megjelentek ezek mediterrán égvövi alkalmazásai, pl. Resonance-N rendszer települt Marokkóban. Ezért hazai szakembereinknek is nagyobb figyelmet kell fordítaniuk ezekre az új típusú radarrendszer-megoldásokra.

Megállapítható, hogy valamennyi arktikus körülmények között üzemelő radarrendszerrel szembeni legfontosabb elvárás a távfelügyelettel történő működtetés, a multisztatikus radarrendszer kialakítás mely lehetővé teszi, hogy nagyon zord időjárási viszonyok között is alkalmazhatók legyenek emberi jelenlét nélkül.

## HIVATKOZÁSOK

- [11] Forrás: [https://eiscat.se/?attachment\\_id=16597](https://eiscat.se/?attachment_id=16597) (Letöltve: 2024.1.4.);
- [12] Chernyak, V. S. Fundamentals of Multisite Radar System 1998. Gordon and Breach Science Publishers, ISBN 905-699-165-5;
- [13] Li, J., Stoica, P. (ed.) MIMO Radar Signal Processing 2008. Wiley-IEEE Press. ISBN 047-017-898-1; <https://doi.org/10.1002/9780470391488.ch1>;
- [14] Naghsh, M. M., Modarres-Hashemi, M., Shahbazpanahi, S. Soltanian, M. Stoica, P. Unified Optimization Framework for Multi-Static Radar Code Design Using Information-Theoretic Criteria, IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 61, no. 21, pp. 5401–5416., Nov. 1, 2013. <https://doi.org/10.1109/TSP.2013.2278154>;
- [15] Havnes, O., Pinedo, H., La Hoz, C., Senior, A., Hartquist, T. W., Rietveld, M. T., and Kosch, M. J.: A comparison of overshoot modelling with observations of polar mesospheric summer echoes at radar frequencies of 56 and 224 MHz, Ann. Geophys., 2015, 33, pp. 737–747. <https://doi.org/10.5194/angeo-33-737-2015> (Letöltve: 2024.1.4.);
- [16] Forrás: <https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/rezonans-n.htm> (Letöltve: 2023.12.11.);
- [17] Forrás: National Institute of Polar Research (NIPR), Japán. <https://www.nipr.ac.jp/english/info/notice/20170810-2.html> (Letöltve: 2023.12.11.);
- [18] Infrastruktur ved UiT – Ramfjordmoen forskningsstasjon UiT. [https://uit.no/infrastruktur/enhet?p\\_document\\_id=685673](https://uit.no/infrastruktur/enhet?p_document_id=685673) (Letöltve: 2024.2.12.).

## ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány áttekintette az északi sarkkörön belül tevékenykedő radarok arktikus körülmények között történő alkalmazásának kihívásait, és a „hagyományos” radarrendszerek költség-hatékony üzemeltetéséhez szükséges megoldásait. A korszerű radartechnológiai alkalmazásával a zord körülmények adottságait hatékonyan ki lehet használni, hiszen a nagy hidegben a vevőrendszerek zaja csökkenthető,