

A Hold csak egy érintésnyire van

Pataki Péter

Széchenyi
István Egyetem
Multidiszciplináris
Műszaki Tudományi
Doktori Iskola, Győr

Bay Zoltán és kutatócsoportja az egykori Egyesült Izzóban a II. világháború alatt radarkészülékek kifejlesztésével foglalkozott. A kutatások eredményeinek hatására 1944-ben felmerült a holdradar ötlete, amelyet 1946. február 6-án sikeresen meg is valósítottak. A győri Széchenyi István Egyetemen ennek 75. évfordulója alkalmából felidéztek a kísérletet és Föld-Hold-Föld kommunikációra alkalmas rádióállomást építettek ki.

BEVEZETÉS

„A magyarok mindenütt ott vannak” – mondhatnánk némi humorral, de bármennyire is túlzásnak hangzik, jobban belegondolva rájövünk, hogy a tudományágak nagy részén jelentős tudósok születtek országunkban. Ugyancsak közéjük sorolhatjuk Bay Zoltánt is, akit a magyar radarcsillagászat atyjaként tarthatunk számon. Az ő nevéhez fűződik az első sikeres magyar holdradarkísérlet, amelynek 75. évfordulóját 2021-ben ünnepeltük, illetve rá egy évre, 2022-ben emlékeztünk meg Bay Zoltán halálának 30. évfordulójáról. E két alkalomnak apropójából több rendezvényen is megemlékeztek a neves magyar tudós munkásságáról, illetve a győri Széchenyi István Egyetem Távközlési Tanszékén megismételték a korabeli kísérletet.

Bay Zoltán kísérleteinek és találmányainak hála, a radarcsillagászat mellett több olyan jelentős újítás is szabadságot kapott, amelyek az elektronikai fejlődést segítették. Az egykori Egyesült Izzó laborjaiban végzett kísérleteknek köszönhetően nem csak a rádiófrekvenciás kommunikáció és mérés technika terén sikerült maradandót alkotnia, hanem a fénycsövek, elektroncsövek és rádió-vevőkészülékek fejlődésében is.

A következő sorok célja megemlékezni a neves magyar tudós munkájáról és bemutatni az első magyar holdradaras kísérlet legfontosabb részleteit.

ÚT A HOLD „MEGÉRINTÉSÉIG”

A második világháború alatt a bombatámadások és légi fenyegetések arra késztették a Honvédelmi Minisztériumot, hogy a Hadi Műszaki Tanács segítségével megfelelő légvédelmi rendszert fejlesszenek ki hazánkban, így a háború utolsó éveiben jelentősen megindult a kutatás a mikrohullámú technikával Magyarországon. Többen vizsgálták a hullámok viselkedését és terjedését különböző közegekben, mígnem egy olyan felvetés született, hogy ezek a jelek képesek elhagyni a Föld légkörét. Ennek bizonyítására korábban nem volt se mód, se lehetőség, de a korábbi kísérletek arra engedtek következtetni, hogy a jelenség közel sem lehetetlen.

Mikor 1944 márciusában Bay Zoltán azzal a felvetéssel állt csapata elé, hogy „Meg fogjuk lokátorozni a Holdat!”, kollégái nagy lelkesedéssel fogadták az ötletet. Két kollégájával, Papp Györggyel és Simonyi Károllyal munkahipotézist állítottak fel annak megállapítására, hogy a tesztek során milyen körülményekkel kell számolniuk a jelek visszaverődésének minél hatékonyabb véghezviteléhez. Előre tudták, hogy a Hold Földtől mért átlagosan csaknem 380 ezer kilométeres távolsága során jelentkező csillapítások és a Hold visszaverő képessége nehéz próbatétel elé állítja őket. Ismereteik szerint feltételezték, hogy az egy méter közeli hullámhosszú rádiófrekvenciás jelek kis veszteséggel hatolnak át az ionoszféra rétegein és a Hold visszaverő képessége valahol 10% körül lehet. Ilyen körülmények között akkoriban Magyarországon nem állt rendelkezésre olyan technikai megoldás, amely képes lett volna egy ilyen volumenű rádiófrekvenciás kísérlet végrehajtására. Lehetetlennek tűnt a zajszinthez képes nagyon csekély jelek detektálása, ami új megoldások létrehozására ösztönözte a kutatókat [1].

Felmerült az újszerű ötlet, hogy az ilyen gyenge, a zajszinthez képest csaknem egytized erősségű jelek észlelését nem lehet külön-külön megoldani, hanem azokat összegezve a zajszint felé kell emelni. Ennek megvalósítására állt elő Bay Zoltán a coulométer ötletével. Az elképzelés szerint a közös anóddal rendelkező tíz voltaméter-kapilláris közös üvegedényhez csatlakozik, amelybe hidrogént töltenek. Egy forgókapcsoló segítségével a tíz kapilláris katódjait három másodpercenként kapcsolták a vevő kimenetére. A jelek sugárzásának időzítését úgy számolták ki, hogy összhangban legyen ennek a forgókapcsolónak a működésével, így a beérkező jel mindig ugyanannak a kapillárisnak a katódjára kerülhetett. Az ötven perces mérés alatt az összegzett jel már jól mérhető módon reprezentálta a vevő szintjeit, csaknem harmincszor erősebben a zajszinthez képest [1].

A vétel detektálásának kitalálása után több próbát tettek különböző antennatípusokkal, de egyszer sem sikerült visszavert jeleket észlelni. A II. világháború következtében többször is telephelyet kellett váltani a kutatócsoportnak. Amire visszatérhettek az Egyesült Izzó újpesti telephelyére, a Bay-csoport több tagját elhurcolták vagy fogságba ejtették [1].

1945 nyarán a sok megpróbáltatást követően ismét nekiláthattak a munkának: az oroszok a gyár kifosztásával elszállítottak több olyan eszközt és dokumentumot, amelyek hiányában újra kellett gondolni a konstrukciót. Új antenna tervezésével és a korábbi lokátorkísérletek elemeivel együtt létrehoztak egy új, nagy méretű antennarendszert 36 darab dipólusból. Az Egyesült Izzó Kutatólaboratóriumának tetejére telepített robusztus antennarendszerhez csatlakoztak az adást és

1946. február 6-án PSI

Holdra sugárzás optikai célzás + 18° magasan 1.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
0	32	20	61	66	44	48.5	44	45	39	54	
9	48	23	121	132	93	91	75	75	66.5	80.5	
0-9	16	3	60	70	49	43.5	31	30	26.5	29.5	86.1
K/2											

1. ábra: Bejegyzés Bay Zoltán naplójában az első sikeres mérésről [2]

vételt lebonyolító eszközök és műszerek. A háború utáni csekély elektronikai alkatrészválasztékból gazdálkodva 1945 decemberére összeállt minden az újabb kísérletekhez. Több esetben észleltek változásokat a coulométer csöveiben, de a legtöbb esetben ezek csak reflexiókból származó jelek voltak. Több heti próbálkozás után az első értékelhető eredményt 1946. február 6-án sikerült elérni. Ekkor a zajszinthez képes 4%-kal emelkedett ki a visszavert rádiójel, ami meghaladta a számított hibahatárt, a kísérletet sikeresnek nyilvánították. Másnap sajtótájékoztatón mutatták be az eredményt [1].

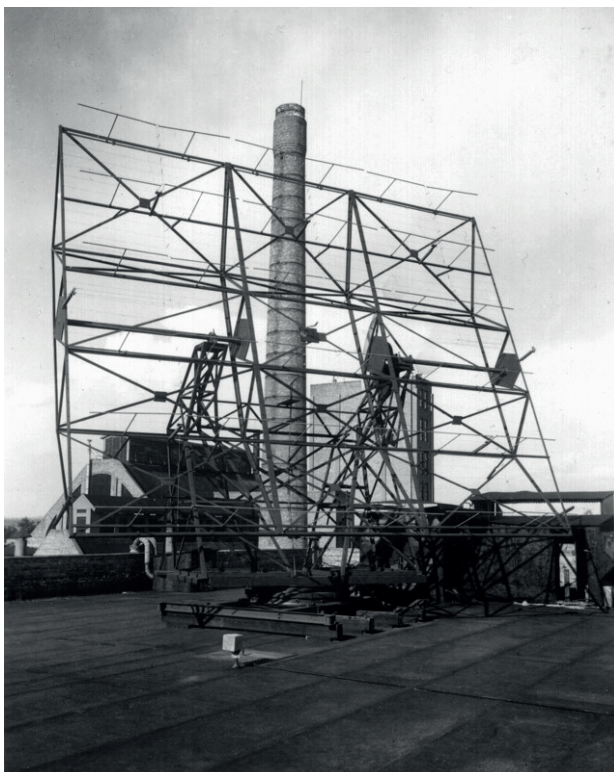
A tesztek sikeressége megkérdőjelezhetetlen volt, de a világversenyt nem sikerült megnyerniük: 1946. január 10-én John H. DeWitt Jr. a Project Diana részeként sikeres holdvisszhangkísérletet hajtott végre az Amerikai Egyesült Államokban, így elsőként ő és csapata mutathatták be azt. Ennek ellenére a magyar fejlesztések és az egyedi megvalósítás miatt a Bay-csoport munkáját is elismeri a tudomány [3].

A KÍSÉRLET ÖSSZEÁLLÍTÁSA

A holdradarkísérlet megvalósításához szükséges feltételek megteremtése igazi kihívás elé állította a Bay-csoportot. A magyar kutatási törekvéseket nehezítette a háború alatti és az azt követő energia- és eszközhiány. A szovjetek által kifosztott kutatólaborok eszközparkjának újrakepítése mellett az elektromos energiaellátás sem volt kielégítő egy akkora teljesítményt igénylő kísérlethez, mint amit Bay Zoltán megálmodott. Ezeknek tükrében a tesztekhez felhasznált eszközöket is minél inkább úgy kellett megválogatni és összeépíteni, hogy az adott lehetőségeknek megfelelően a legjobb eredményt tudják produkálni. Bay Zoltán kéziratai a mai napig fellelhetőek, amelyeket böngészve nagyon érdekes képet kapunk a projektről. A precízen, naplószerűen vezetett jegyzetek a legfontosabb számításokat és vázlatrajzokat tartalmazzák [4].

A teljes rendszer legfőbb egységei az adóból, az antennarendszerből, a vételi oldali erősítőből és a coulométerből álltak. Az adó megvalósításához nem volt sem megfelelő forrás, sem eszköz egy klystron vagy magnetron alapú rezgéskeltőhöz, így kényszerből a centiméteres hullámok helyett a fél méter körüli hullámhosszú jelekkel és triódás adócsövekkel történtek az első adáspróbák. Az első sikeres holdvisszhang észlelésekor két darab 0Q0 500/3000 típusú adócső üzemelt, amelyeket három másodperces időközökkel kapcsolgattak. A feljegyzések szerint gyakran begerjedt ez az erősítő, így kénytelenek voltak olyan megoldást kitalálni, amely az impulzusszerű üzem esetén is kellően gyors lecsengésű jelet továbbít az antenna felé [1,4,2].

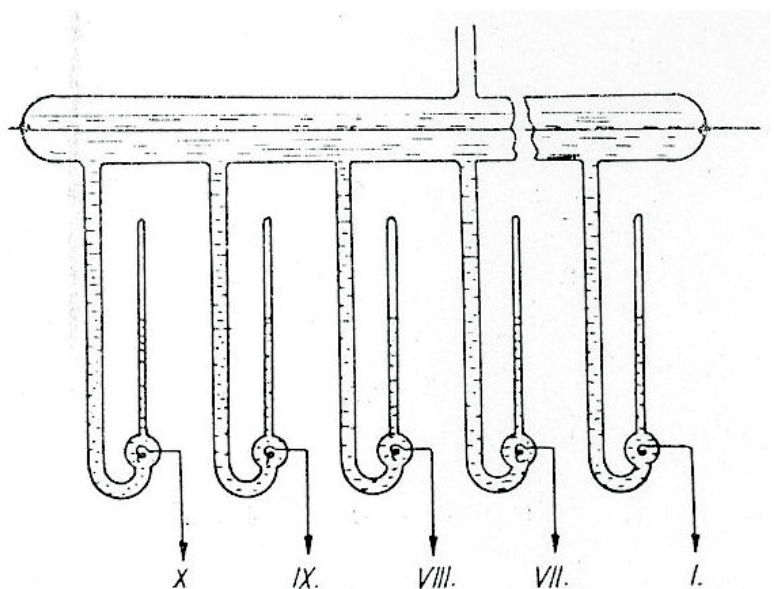
Az adókészülékkel az antennán kisugárzott impulzusok megfelelő beállításánál figyelembe kellett venni, hogy a vevő zaja a vevőkészülék sávszélességének négyzetgyökével arányos. Ennek ismeretében meg kellett találni azt az optimális sávszélesség értéket, ahol az impulzusok a vevő zajából minél jobban kiemelkednek. Ennek a feltételnek az ideális megközelítése, ha a vevőnek a sávszélessége egyenlő az impulzus $1/\tau$ sávszélességével. Ekkor érhető el az, hogy az impulzus időtartama nem torzul, és pontosabb időmérést tesz lehetővé. Tehát mivel a τ így időben rövid impulzus, ezért az adócsöveknél nagyobb csúcsteljesítményre lehet számítani [4].



2. ábra: A holdradar antennarendszere [5]

Az antenna – amely adás és vétel célra egyaránt szolgált – egy 36 dipóluselemből összeállított rendszer, mint ahogy a 2. ábrán is látható. Ezekből lett kialakítva soronként három darab egészhullámú dipólus antenna. Ennek nyeresége megközelítőleg 19 dB volt a „single dipole”-hoz viszonyítva és irányélessége körülbelül 19° volt. Azimut és magassági irányban is forgatni lehetett. Az antenna jelúthoz kötését – a mozgásából adódóan – nem tehették meg közvetlenül, erre megfelelő hosszúságú, 200 ohm impedanciájú szimmetrikus vezetéket használtak. A jelút végén volt a mechanikus forgókapcsoló, amellyel az adási és vételi módok között lehetett választani [2].

A vett jelek detektálására és összegzésére egy egészen újszerű műszert hoztak létre, a hidrogén coulométert, amely később a rádiócsillagászat egyik fontos eszközévé vált. A kísérletkehez egy olyan, egyedi 10 csőből álló voltamétert alakítottak ki, amelynek minden csőve közös anódra volt kötve, mint ahogy a 3. ábra szemlélteti. A csöveket a forgókapcsoló segítségével az adóimpulzusokkal szinkronban kapcsolták a vevőerősítőre. A vett jelnek megfelelően az áram hatására kiváló hidrogén gáz a vékony kapillárisokban a folyadék-meniszkuszt eltolta mindig az áramintegrállal arányosan. Ez a módszer a forgókapcsolóval lehetővé tette azt, hogy az impulzusoknak megfelelően mindig ugyanarra a csőre essen a jel és a hosszú tesztelési idő alatt azok összegződjenek. Az N számú mérés esetén a zaj mértéke a csövekben $\sqrt{N}$ szerint nőtt, a jel pedig lineárisan az eredeti egytizedes jel/zaj viszonyt csaknem harmincszorosan javította. A hasznos jel jól mérhető módon a zajszint fölé emelkedett [4].



3. ábra: A coulométer vázlatos rajza [4]

KÍSÉRLET ÉS MEGEMLÉKEZÉS GYÖRBEN

A 2022-es évben a győri Széchenyi István Egyetem Távközlési Tanszékén két olyan eseményt is szerveztek, amelyeken Bay Zoltánról és az ő kísérletéről emlékeztek meg.

A Távközlési Világnap alkalmából május 19-én a résztvevők megemlékeztek Bay Zoltánról. Ennek keretében az egyetem négy hallgatója megkoszorúzta az újpesti Bay Zoltán emlékszobrot.

A Világnapot megelőzően az egyetemi Honfy József Rádióamatőr Szakosztályból Németh Péter, Kéri Lajos és Nagy Zoltán, valamint néhány hallgatójuk szintén át szeretne volna élni a Holdon keresztüli összeköttetéssel járó élményt. Motivációnak épp elég lett volna az is, hogy egy ilyen különleges kommunikációs formát összehozzanak, ám ők úgy gondolták, Bay Zoltán halálának 30. évfordulója alkalmából megismételik a kísérletet, korhű módon.

Miután elkezdtek kutatni arról, hogyan is lehetne megvalósítani az eredeti kísérletet minél hitelesebben, több akadályba is ütköztek. Elsősorban amiatt, hogy a 120 MHz-es frekvencia – amelyet eredetileg 75 éve használtak – napjainkban teljesen más felhasználásban áll, ennek zavarása tudományos célból is komoly következményeket vonhatna maga után. Ezután jött az ötlet, hogy térjenek át egy rádióspektrumban közeli rádióamatőr frekvenciasávra, mivel oda a rádióklubnak van engedélye. Így választották ki a 140–150 MHz közötti frekvenciasávot.

Az antennarendszer reprodukálásának legfőbb akadálya elsősorban a 6 × 8 méteres mérete volt. Egy 36 elemű antennarendszer megvalósítása a nagy méret és szélterhelés mellett komoly kockázatot jelentett volna az épület biztonságára tekintve. Az elmúlt 75 évben olyan mértékű antennás fejlesztések

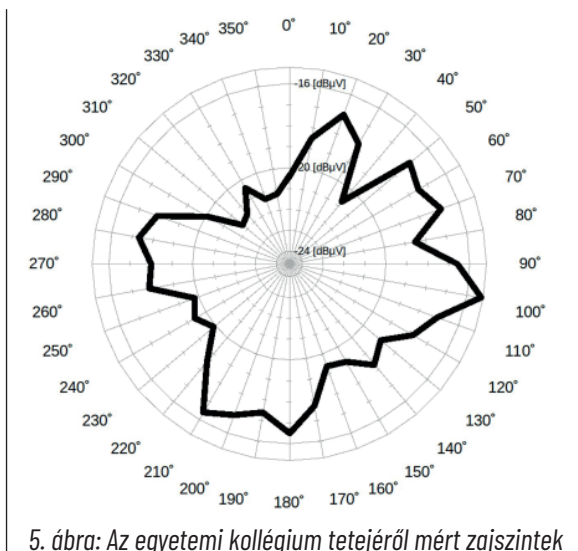


4. ábra: A győri antennarendszer

valósultak meg, hogy már nem indokolt az eredetihez hasonló konstrukció. A 4. ábra szerinti módon egy Yagi antennarendszerre esett a választás, annak nyeresége és könnyű szerkezete miatt. Az antennákat egy teljesítményszórtó kötötte össze az 1 kW teljesítményű erősítővel, amelynek feladata a végfokból kiadott teljesítmény egyenletes szétosztása a négy antennaelem között. Több mérés előzte meg ennek összeépítését, mivel a teljesítményszórtás feltétele, hogy a jelutak mind a négy antenna felé egyforma elektromos hosszal rendelkezzenek, elkerülve a jel torzulását jelentő fázisbeli különbségeket.

A hosszas tesztek során meg kellett tapasztalni, hogy a győri városi közeg milyen módon befolyásolja a kísérletet. Mivel Győr egy jelentős ipari város, ezért rengeteg olyan rádiófrekvenciás zavar észlelhető, amelyek a Holdról visszaverődő gyenge jeleket képesek elnyomni. Bay Zoltánék idejében az Egyesült Izzó gyártósorai szintén zavarták a méréseket, ezért ők éjszaka tudtak eredményeket elérni, amikor a gyár elcsendesült. A 21. században, amikor már éjjel-nappal folyik a gyári termelés, ez nem kivitelezhető, így meg kellett találni azokat az irányokat, ahol a zajszint a legmagasabb, és úgy végezni a kommunikációt, hogy lehetőleg ne ezekbe essen az antenna fő vagy melléknyalábjának iránya. Ez kompromisszumok sorával járt. A zavarok irányának meghatározására egy héten keresztül folyamatosan több mérést is végeztem a bemutatott antennacsoporttal, ezek eredményét az 5. ábra mutatja be.

A mérés célja az volt, hogy meghatározzam, melyek azok az irányok, ahol a Holdon keresztül kommunikáció erősen zavart. Az egy hét során azimut irányban 0 és 360 fok között, illetve magasságban 0 és 40 fok között végeztem a méréseket. Az azimut irányokban azért volt elég a 10 fokos lépésköz, mert az antennarendszer nyílásszöge megközelítőleg 12 fok, így a mérések idejét lehetett rövidíteni. Az 5. ábrán látható grafikon elkészítéséhez a mérési eredményeket átlagoltam és ezeket az értékeket jelenítettem meg. Elemelve az ábrát, jól látszik a különbség, hogy melyik irányokban nő meg a zajszint: 100 fok irányában az ipari park helyezkedik el jelentős elektromágneses zavarokat kibocsátva, 300 és 10 fok között pedig a Püspök-erdő, a Duna partja és külvárosi övezet terül el. A gyakorlati tesztek is igazolják ezeket a méréseket, miszerint az utóbbi irányban sokkal kedvezőbbek a lehetőségek a gyenge jelek vételére.



5. ábra: Az egyetemi kollégium tetejéről mért zajszintek

Az első sikeres holdvisszhangkísérletek hatására az egyetemi rádióklub tagjai elkezdtek EME (Earth–Moon–Earth) versenyeken részt venni. Ezek a versenyek sokszor kontinenseken is átívelő rádiós összeköttetéseket jelentenek, ahol a cél minél távolabbi állomást minél jobb minőségben venni a Holdról visszaverődő jelek által. A verseny alatt többek közt FT8 üzemmódot használnak, ami azért előnyös a Holdon való adattovábbításra, mert a frekvenciabilentyűzésen (8-GFSK) alapuló digitálisan modulált jel gyenge vételi jelszint és rossz jel/zaj viszony mellett is dekódolható [6]. Az FT8 üzemmód esetében külön ügyelni kell az időszinkronizációra, tekintettel a rádióhullámunk Föld–Hold–Föld terjedési idejére. Ennek az üzemmódnak a használatával sikerült az első kapcsolatot létrehozni 2022. április 11-én kora este.

A megemlékezésre összeállított kísérlet sikerei és tapasztalatai arra buzdítják az egyetemi rádióklub csapatát, hogy továbbvigyék a Holdon keresztüli összeköttetések hagyományát és tovább fejlesszék a győri állomást. Jelenleg is több versenyen vesznek részt 2 méteres hullámhosszon, de nemsokára a 70 centiméteres hullámsávban is megjelennek majd új antennacsoportjukkal.

Irodalomjegyzék

- [1] Szabó P.J. (2014): *Radarokkal a lopakodók ellen. A magyar katonai légtérellenőrző és radarrendszer története 1917–2014.* HM Zrínyi Kiadó, Budapest
- [2] Bay Z. (1945–46) naplója és kéziratai
- [3] Makamson C. (2021): *Project Diana: To The Moon And Back*, <https://www.nationalww2museum.org/war/articles/project-diana-moon-and-soviet-union> (letöltve: 2023.01.12.)
- [4] Bay Z. (1976): *Visszaemlékezés a magyar holdvisszhang kísérletre.* Fizikai Szemle, 26, 41
- [5] Mészáros S. (1996): *A Hold válaszolt. Lapok a fizika történetéből*, https://www.termvil.hu/archiv/fizika_eve/tortenet/fiztort/hold.html (letöltve: 2023.01.15.)
- [6] Hinson G. (2021): *FT8 Operating Guide*