



TDK Dolgozat

Hogyan építsünk rádiótávcsövet házilag?

Misurda Orsolya

Szent Margit Gimnázium

Konzulens: Simon Ferenc

Középiskolai tanár: Richlik-Horváth Katalin

2023.



1. Bevezetés és motiváció	3
2. Elméleti háttér	5
2.1 A geostacionárius pálya	5
2.2 Rádiófrekvenciás jelek mérése	7
2.3 A parabola antenna tulajdonságai	9
2.4 Zajhőmérséklet	10
3. Felhasznált eszközök	13
4. Eredmények	17
4.1 A házilagós rádiótávcső kialakítása	17
4.2 A rendszer érzékenységeinek vizsgálata geostacionárius műholdakkal	20
4.3 A rendszer zajhőmérsékletének meghatározása	23
4.4 Rádiócsillagászati mérések a Napon	25
5. Összefoglalás	30
6. Köszönetnyilvánítás	31
Hivatkozások	31



1. Bevezetés és motiváció

A nappali és éjszakai égbolt látványához teljesen hozzászoktunk. Azonban tudjuk, hogy a Földre nem csak a látható tartományban érkezik sugárzás, hanem egyéb, például rádiófrekvenciás tartományokban is igen sok érdekességet mutat az ég. Manapság az éjszakai égboltot nem tudjuk teljesen jól megfigyelni a fényszennyezés miatt. A rádiócsillagászat erre a problémára nyújt megoldást. Segítségével ugyanis még a felhőkön is átlátunk. Így nem meglepő, hogy az utóbbi években jelentősen fellendült a csillagászatnak ezen ága. Laikusok számára is érdekes lehet, hiszen a kíváncsiság miatt szeretnénk tudni, hogy mit rejt az ég a látható tartományon kívül.

A dolgozatomban azt vizsgálom, hogy házilag, minimális költségvetéssel lehetséges-e rádiótávcsövet készíteni, és ezzel csillagászati megfigyeléseket végezni. A rádiótávcsövem egy kereskedelembe kapható műhold antennából és a hozzá tartozó érzékeny vevőegységből áll (LNB). Láttam műholdakat, tesztelhetővé vált a rendszerem érzékenysége, illetve a meleg fal, hideg égbolt méréseiből sikerült pontosan meghatározni az úgynevezett vevő zajhőmérsékletet. A házilag épített rádiótávcsöveinkkel meg tudjuk mérni a beérkező rádióhullámokat, melyek 10-11 GHz-esek, amit az LNB átalakít 0,95-1,95 GHz-re.

Hőmérőként is használható egy rádiótávcső, mivel meg lehet mérni a szomszédos falakat, majd összehasonlítani egy igazi hőmérő adataival. A saját rendszerem zajhőmérsékletét is sikerült meghatároznom a környezetünk hőmérsékletéből, ez körülbelül 108 Kelvin.

A nappali égbolt számos érdekességet tartalmaz - ilyenek például a műholdak. Mindenki számára fontosak, nélkülük szinte el sem tudnánk képzelni életünket. A GPS-en át a televízióig, minden adatot műholdak segítségével továbbítunk. Pályájuk különféle, lehet poláris vagy geostacionárius. Utóbbiakat vizsgálom én is. De nem csak



a műholdak érdekesek napközben, hanem maga a Nap is. A Nap egy feketetest-sugárzó, mivel saját sugárzást bocsát ki.

Emellett valódi csillagászati megfigyeléseket is végeztem, mégpedig a Nap áthaladását a vevőegység előtt, aminek a segítségével sikerült a Nap hőmérsékletét is meghatározni a mikrohullámú tartományban, ami mérhetően eltér a szokásosnak gondolt 6000 K-es hőmérséklettől.



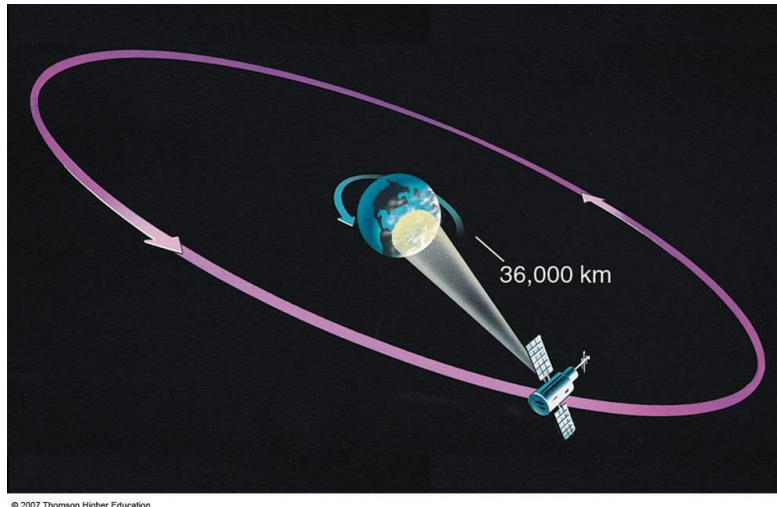
2. Elméleti háttér

A TDK dolgozatomban három feladatot végeztem el, az ehhez szükséges elméleti háttérrel mutatom be itt. Az első feladatom egy kis költségű rádióteleszkóp kialakítása volt. Második feladatként ezt használtam geostacionárius műholdak jelének vételére, illetve az üres és környező épületek hőmérsékleti zajának mérése segítségével meg tudtam határozni a vevőrendszerem érzékenységét. Utolsó feladatként végül a Nap, mint rádiófrekvenciás zajforrás jelét mértem meg több napon keresztül megfigyelve a Nap áthaladását. Ez utóbbi feladat tehát felfogható, mint valódi rádiócsillagászati mérés.

2.1 A geostacionárius pálya

A geostacionárius műholdak, olyan mesterséges objektumok, melyek geostacionárius pályán keringenek, amely egy olyan Föld körüli pálya, ami egyenlítővel párhuzamos. Ezen szatellitok keringési ideje megegyezik a Föld forgási sziderikus periódusával, ami 23h 56min 4sec, ezáltal úgy tűnik, hogy mindig ugyanazon a helyen vannak. Adott hosszúsági fokon más-más műhold figyelhető meg. Általában kommunikációs- illetve meteorológiai műholdak haladnak ilyen pályán, így minden országnak/ régiónak máshonnan érkezik a sugárzott hullám. Az 1. ábrán mutatok sematikusán egy ilyen műhold pályát.





© 2007 Thomson Higher Education

2.1 1. Ábra: geostacionárius műhold pályája sematikusan. Forrás: [Geostac]

Mivel a geostacionárius műhold olyan műhold, amely a Föld körül pontosan ugyanolyan szögsebességgel és irányban kering, mint a Föld, így pontosan meghatározhatjuk ezen műholdak magasságát. A keringés periódusideje: $T = 24 \times 3600 = 86\,400\text{ s}$

az ehhez tartozó szögsebesség: $\omega = \frac{2 \times \pi}{T}$. innen:

$$\omega = \frac{2 \times \pi}{86\,400} = 7,27199 \times 10^{-5}$$

A pálya sugara az egyetemes tömegvonzás törvényéből így adódik: $r = \sqrt[3]{\frac{GM}{\omega^2}}$, amire

kapjuk:

$$r = \sqrt[3]{\frac{6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}{(7,27199 \times 10^{-5})^2}} = 4,22 \times 10^7\text{ m}, \text{ amihez felhasználtam, hogy}$$

$R_{\text{Föld}} = 6378\text{ km}$. A műhold Föld feletti távolságára kapjuk km-ben:

$$r_{\text{in km}} = \frac{4,22 \times 10^7}{10^3} - 6378 = 35\,800\text{ km}, \text{ ami jó egyezésben van azzal, amit az irodalomból tudunk.}$$



A geostacionárius műholdak stabil pályája az Egyenlítő felett van, igazából adott helyen, bizonyos ún. csomópontok közelében több műhold kering közel azonos pályán. Tekintve Budapest földrajzi elhelyezkedését és a laboratórium körülményeit, én pontosan délre tudtam nézni az antennámmal, azaz a 17 hosszúsági fok közelében lévő műholdak jelét tudom megmérni. Budapest a 47.5 szélességi fokon fekszik. Amennyiben a geostacionárius műholdak végtelenül messze lennének, akkor a horizonton e szög pótszögének megfelelő helyen látnánk őket. Mivel távolságuk nem végtelen, ezért kicsit alacsonyabb szögben találtam meg a jelüket egy ún. SatFinder berendezést használva, amit később mutatok be.

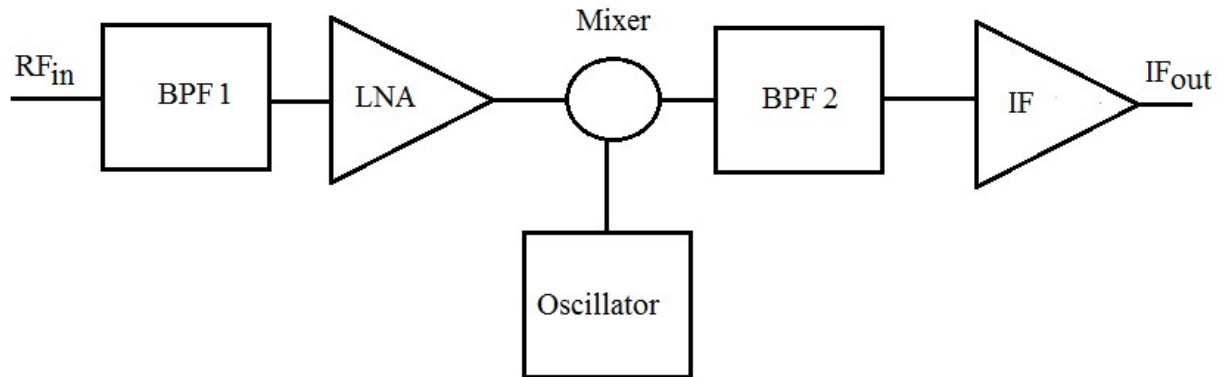
2.2 Rádiófrekvenciás jelek mérése

A házilagosan megépített rádiótávcső ötlete azon alapul, hogy ehhez egy kereskedelembe kapható parabola antennát és a hozzá tartozó vevőegységet (nevezik kültéri egységnek, ill. műhold vevő fejnek) használom. A továbbiakban bemutatom a részegységeket külön-külön, először magát a vevőegységet, aminek a szokásos elnevezése LNB.

Az LNB (low-noise block downconverter) azon az elven működik, hogy a bejövő nagyfrekvenciás jelet egy úgynevezett lokál-oszcillátor segítségével lekeveri egy másik frekvencia tartományba. Ezt a fajta mérési technikát nevezik heterodin módszernek. Eközben a bejövő jelet még erősíti is. Az LNB blokkdiagramját, a következő ábrán



mutatom:



2.2.1. Ábra: Az LNB blokkdiagramja: RF jelöli a bejövő jelet, BPF 1 és 2 az ún. sávszűrők (band-pass filter) IF jelöli a kimeneti jelet az ún. köztes frekvencián (intermediate-frequency). Forrás: [LNB]

Az LNB azért egy érdekes és izgalmas eszköz, mert egyszerre 4 különböző tartomány vételére is alkalmas: egy műhold egyszerre sugároz függőlegesen és vízszintesen polarizált jelet ill. mindezt két frekvenciatartományban. Ezek között az LNB-re adott tápfeszültséggel lehet választani.

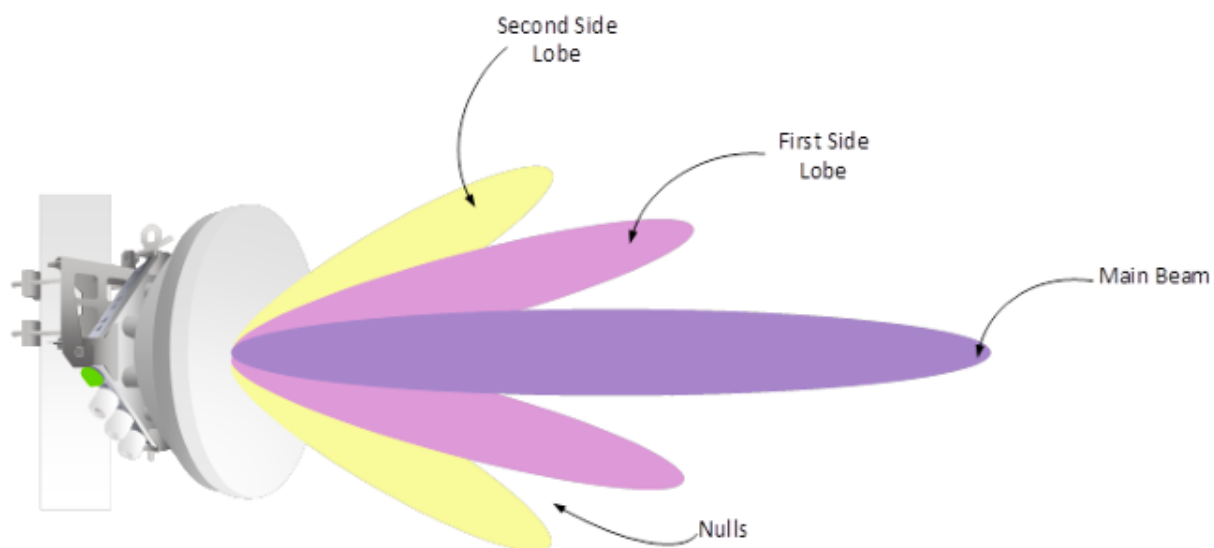
Az én konkrét esetemben a bejövő jel frekvencia tartománya 10,7-11,7 GHz vagy 11,7-12,7 GHz, ami az eszköz tápfeszültségével kiválasztható. A kimenő jel (IF) mind a két esetben 1-2 GHz közé esik. Tehát én ebben a tartományban végzem a méréseimet.

Az általam használt mérés technikában gyakran használt és praktikus mértékegység a dBm skála: a dBm alapvetően nem egy SI-mértékegység, másik nevén dBmW, ami a decibel-milliwattot jelöl. Kifejezi a teljesítményszintet egy milliwattra (mW) vonatkoztatva decibelben (dB). A mikro- és a rádióhullámokon alapuló kommunikációs hálózatokban gyakran használják az abszolút teljesítmény mértékegységeként, mert képes röviden kifejezni a kicsi és nagy értékeket is. A dB (decibel) két érték közötti arány, például a jel-zaj viszony, vagy teljesítmények arányának leírására használják. A dBm azonban egy rögzített referencia értékhez viszonyít. A 0 dBm teljesítményszint 1 milliwatt

teljesítménynek felel meg. Ha a szint 10 dB-lel növekedik, akkor az teljesítmény tízszeresének fog megfelelni. Így a szint 20 dB-es növekedése a teljesítmény 100-szoros változását jelenti. Mivel a teljesítmény a feszültség négyzetével megy, ezért a 20 dB-s változás egyben 10-szeres feszültségszint változásnak felel meg. A 3 dB-es szintnövekedés körülbelül a teljesítmény megduplázásának felel meg, ami azt jelenti, hogy a 3 dBm-es szint nagyjából 2 mW teljesítménynek tesz eleget. Ugyanígy, minden 3 dB-es szint csökkenés esetén a teljesítmény a felére esik, így a -3 dBm körülbelül 0,5 mW teljesítménynek felel meg.

2.3 A parabola antenna tulajdonságai

A parabola antenna egy olyan antenna, amely a parabolikus reflektor elven alapszik; összegyűjti a beérkező jeleket, például fényt, zajt vagy rádióhullámokat a görbült felszínük által. A parabola antenna a megfigyelni kívánt objektumból érkező hullámokat befogja, például jeleket gyűjt és továbbít a Föld körül keringő műholdakról, valamint műholdakra, de például a Napból is érkeznek sugarak, melyeket meg tudunk mérni. Az antenna a beérkező rádióhullámokat egy vevőre irányítja, amely a parabola fókuszpontjában található.



2.3 1. Ábra: Egy parabola antenna főnyalábja és melléknyalábjai sematikusán. Forrás: [Parabole]



A melléknyalábok (sidelobes), olyan nyalábok, melyek egy antenna vagy más sugárforrás távoli sugárzási mintázatának a részei, de nem főnyalábok. Általában ez az antenna sugárzási mintázata eltérő szögekben lebenyek mintázatát jelzi, olyan irányokban, ahol a kibocsátott jelerősség eléri a maximumot, és amelyeket nullák választanak el, olyan szögek, ahol a sugárzott jelerősség zéróra csökken. Az antenna diffrakciós mintázatának ez tekinthető. Egy irányított antennánál, ahol a cél a rádióhullámok egy irányba történő kisugárzása, az adott irányban lévő nyalábot úgy vitelezték ki, hogy a többi iránynál nagyobb térerősségű legyen; ez a főnyaláb. A többi nyalábot melléknyalábnak nevezik, és általában a nem kívánatos irányokba történő nem kívánt sugárzást eredményezik. A közvetlenül a főnyaláb mögött elhelyezkedő melléknyalábot hátsó nyalábnak nevezzük. Minél hosszabb, nagyobb az antenna a rádió hullámhosszhoz képest, annál több nyalábja lesz a sugárzási mintázatának. Egyes antennák a túlzott melléknyaláb sugárzás következtében energiát pazarolnak, és esetleg interferenciát okozhatnak más szerkezetekben. Szintén nem előnyös, hogy például a bizalmas információkhoz a nem kívánt vevőkészülékek is hozzáférhetnek. További hátrány, hogy vevőantennák a melléknyalábok miatt zavaró jeleket vehetnek fel, és növelhetik a vevő zajszintjét. Mi esetünkben is felmerültek ilyen problémák, például a szomszédos falakból, laborokból érkező jelek is belekerültek a mért adatokba.

2.4 Zajhőmérséklet

A zajhőmérséklet meghatározza azt a zajteljesítmény szintet, amelyet a saját eszközeink, berendezésünk bocsát ki. A zajhőmérséklet habár nem ugyanaz, mint a termodinamikai hőmérséklet, mégis kelvinben fejezzük ki. Az antenna zajhőmérséklete az antenna kimenetén megfigyelhető zajteljesítményt adja meg. A vevő és az átviteli vezeték veszteségeinek összetett zajhőmérséklete a vevőrendszer többi részének zajhoz való hozzájárulását mutatja. Ezt úgy kell kiszámítani, mint azt az effektív zajt, amely az



antenna bemeneti csatlakozóinál jelen lenne, ha a vevőrendszer tökéletes lenne, és nem okozna zajt. Más szóval, ez egy ún. kaszkádolt erősítő- és veszteségrendszer, ahol a belső zajhőmérsékleteket az antenna bemeneti csatlakozókra vonatkoztatjuk. Így e két zajhőmérséklet összegzése jelenti a "tökéletes" vevőrendszer bemeneti zaját.

A Johnson-Nyquist-zaj (termikus zaj, Johnson-zaj vagy Nyquist-zaj) az elektromos vezetőben lévő töltéshordozók (általában az elektronok) termikus mozgása által generált elektronikus zaj, amely az egyensúlyi állapotban lévő elektromos vezetőben történik, függetlenül az alkalmazott feszültségtől. A termikus zaj minden elektromos áramkörben jelen van, és érzékeny elektronikus berendezésekben (például rádióvevőkben) elnyomhatja a gyenge jeleket, és az elektromos mérőműszerek érzékenységét korlátozó tényező lehet. A termikus zaj a hőmérséklet növekedésével nő. Egyes érzékeny elektronikus berendezéseket, például a rádióteleszkópok vevőkészülékeit kriogén hőmérsékletre hűtik, hogy csökkentsék a termikus zajt az áramköreikben. Ennek a zajnak az általános, statisztikai fizikai levezetése az úgynevezett fluktuációs-szétterjedési tétel, ahol a közeg jellemzésére általánosított impedanciát vagy általánosított szuszceptibilitást használnak.

Egy ideális ellenállásban a termikus zaj megközelítőleg fehér, ami azt jelenti, hogy a spektrális teljesítménysűrűség a teljes frekvenciaspektrumban közel állandó, de rendkívül magas frekvenciákon (szobahőmérsékleten ez a Terahertz-es tartomány) nullára csökken. Véges sáv szélességre korlátozva a termikus zaj közel Gauss-amplitúdóeloszlással rendelkezik. Ennek megfelelően a zajt általában mindig úgy jellemezzük, mint teljesítmény per frekvencia, ami azt jelenti, hogy időegység alatt adott sáv szélességen mennyi zajteljesítményt fogunk be. Ez W/Hz-nek felel meg, de a mérés technikában persze dBm/Hz egységet használnak.

A [Wiki_Nyquist] forrás alapján a Johnson-Nyquist formula kifejezése:

$$P = k_B T \Delta f$$



itt BW a sávszélesség (Bandwidth), T a hőmérséklet, k_B pedig a Boltzmann állandó: $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$. Szobahőmérsékleten $T = 290 \text{ K}$ ebbe behelyettesítve azt kapjuk, hogy ez $4.00 \cdot 10^{-21} \text{ J*Hz}$ -et ad. Célszerű azonban ezt átírni dBm-re (ehhez mW-ra átváltjuk és vesszük a 10-es alapú logaritmusát), amiből a sokak által használt -173,977 dBm-et kapjuk, amit szokás -174 dBm-re kerekíteni. Tehát elmondható, hogy szobahőmérsékleten -174 dBm az 1Hz-re eső zajteljesítmény, másszóval a termikus zajszint -174 dBm/Hz. Az eszközömben megjelenő zajszinteket rögtön dBm egységekben a spektrumanalizátor segítségével tudtam mérni.



3. Felhasznált eszközök

Az LNB típusa egy Skymaster Whiteline, 0,2dB, 40 mm átmérőjű, aranyozott F csatlakozók, 129 g, Jeleket 10,7-11,7 GHz valamint 11,7-12,75 GHz fog be, melyeket átkonvertál 0,95-1,95 GHz és 1,1-2,15 GHz-es jelekre. Polarizációs kapcsolása 11,5-14 V és 16-19 V. A felhasznált készülék adatlapja:

(E) LNB single digital
Recomendado para la recepción de canales de satélite analógicos y digitales. Apto para todos los sistemas LNB de 40mm. Imágenes perfectas con una nitidez brillante gracias a una tecnología de recepción innovadora y de bajo ruido. Conectores F hembra con contactos dorados. (Tamaño muy pequeño con protección contra la interferencia integrada) Peso optimizado: (Solo 129 grs.)

(I) LNB Single digitale
Consigliato per ricevere programmi satellitari digitali e analogici. Ideale per tutti i fissaggi di LNB con ø 40 mm. Immagini perfette con brillante nitidezza dell'immagine grazie alla nuova tecnologia di ricezione a basso rumore. 2 prese F dorate. Forma costruttiva minimale con protezione atmosferica integrata. Peso ottimizzato, solo 129 g!

(NB) Digitale single LNB
Aanbevelen voor de ontvangst van digitale en analoge satellietprogramma's. Geschikt voor alle LNB houders met ø 40mm. Perfecte beelden met een briljante beeldscherpte d.m.v. een nieuwe, ruisarme ontvangsttechnologie. Vergulde F-stekkers. Zo klein mogelijk uitgevoerd, met geïntegreerde weerbescherming! Geoptimaliseerd gewicht, slechts 129 gram!

(DK) Digital Single-LNB
Anbefald til modtagelse af digitale og analoge satellitprogrammer. Egnet for alle LNB-befæstelser med ø 40mm. Perfekte billeder med en brillant billedskærpeth ved hjælp af højttal ukendt og støjfattig modtagelsesteknologi. Gylde F-beslinger. Minimal byggeform med indbygget vejrbeskyttelse! Optimeret vægt kun 129 g!

(S) Digital Single-LNB
Rekommenderas för mottagning av digitala och analoga satellitprogram. Lämpad för alla LNB-låsten med ø 40mm. Perfekta bilder med briljant bildskärpa genom ny mottagningsteknologi med lågt brusnivå. Förgyllda F-beslingar. Minimal design med integrerad väderbeskydd! Optimerad vikt bara 129 g!

(FIN) Digital Single-LNB
Suositellaan digitaalisten ja analogisten satelliittiohjelmien vastaanottoon. Soveltuu kaikille LNB-kinnityksille, joiden ø 40mm. Täydelliset, kristallinteriävät kuvat uuden, vähähiiröisen vastaanottoelektronikan ansiosta. Kullatut F-liittimet. Minimaalinen koko, sisänsäkräennetty sääsuoja! Optimoitu paino vain 129 g!

(P) Digital Single-LNB
Recomendado para recepção de Programas de Satélite Digitais e Analógicos. Adequado a todos os LNB-Fixações com ø 40mm. Imagens perfeitas com nitidez brilhante através da nova tecnologia de recepção sem ruído. Tomadas F douradas. Formato mínimo de construção com proteção contra interferências! Peso otimizado, apenas 129 g!

(PL) Konwerter cyfrowy pojedynczy (Single)
Zalecany do odbioru zarówno cyfrowych jak i analogowych programów satelitalnych. Nadaje się do wszystkich uchwytych do konwertera o średnicy ø 40mm. Perfekcyjna jakość obrazu oraz znakomita ostrość dzięki nowoczesnej, bezszumowej technologii odbioru. Złote gniazda F. Minimalne wymiary z wbudowanym zabezpieczeniem przed wpływami atmosferycznymi! Zoptymalizowany ciężar tylko 129 g!

(CZ) Digitální samostatná přijímací satelitní anténa
Doporučeno pro příjem digitálních a analogových satelitních programů. Vhodná pro všechna upnutí LNB s ø 40 mm. Perfektní obraz s brilantnou ostrostí díky nové technologii příjmu s nízkým rušením, početně zlaté F minimální konstrukční tvar s integrovanou ochranou proti počasí! Optimalizovaná hmotnost jen 129 g!

(H) Digitális Single vevőfej (LNB)
Digitális és analóg programok vételéhez alkalmas. Alkalmas minden ø 40 mm méretű vevőfej felszereléséhez. Tökéletes képárlás briliáns képességgel az új csatlékot zárt védelmi technológia révén. Aranyozott F-dugaszok. Kisebített kialakítás beépített időjárásvédelemmel! Optimalizált súly, csak 129 g!

(SLO) Digitální enojni LNB
Priporočamo za sprejem digitalnih in analognih satelitskih programov. Primerno za vse pritrditve LNB s ø 40 mm. Izvirne slike z izjemno ostro sliko zaradi nove tehnologije sprejema brez šuma. Počakane F vidnice. Minimalna zgradba z vgrajeno vremensko zaščito! Optimizirana teža samo 129 g!

(SK) Digitálny samostatný LNB
Doporučuje sa pre príjem digitálnych a analógových satelitných programov. Vhodný pre všetky upnutia LNB s ø 40 mm. Perfektný obraz s brilantnou ostrosťou vďaka novej technológii príjmu s nízkym šumom. Počakane F-záasky. Minimálny konštrukčný tvar s integrovanou klímatickou ochranou! Optimalizovaná hmotnosť iba 129 g!

(HR) Digitalni Single-LNB
Preporučljivi za prijem digitalnih i analognih satelitskih programa. Prikladan za sva LNB pričvršćenja, držače ø 40 mm. Izvrsna slika s izuzetnom oštroću zahvaljujući novoj, bezšumnoj primjonoj tehnologiji. Počakane F-vidnice. Minimalni oblik s integrovanom zašćitom od vremenskih utjecaja! Optimizirana težina od samo 129 g!

(RUS) Цифровая одиночная головка Single LNB
Рекомендована для приема цифровых и аналоговых программ спутникового телевидения. Подходит для всех креплений LNB ø 40 мм. Отличная качество и высокая четкость изображения благодаря новой технологии приема с малым соотношением сигнал/шум, позолоченные F гнезда, конструкция минимального размера со встроенной защитой от погодных воздействий! Оптимизированный вес - всего 129 г!

Digital Single-LNB
Συνιστάται για τη λήψη ψηφιακών και αναλογικών δορυφορικών προγραμμάτων. Κατάλληλο για όλες τις LNB-συνδέσεις με ø 40mm. Τέλεια εικόνας με εξαιρετική καθαρότητα εικόνας με νέου τύπου, χρυσωτά θηλοφόρα παραγωγή λήψης. Ελαφρώς κατασκευαστική μορφή με ενσωματωμένη προστασία στις καιρικές συνθήκες! Βελτιστοποιημένος βάρος μόνο 129 g!

(TR) Dijital Tekli LNB
Dijital ve analog yayda kanallann alımı için tavsiye edilmektedir. ø 40mm olan tüm LNB tespitlemeleri için uygundur. Yeni ve sesiz alm teknolojisi sayesinde mükemmel resim netliği ile kusursuz görüntüler. Altın kaplı F liğleri. Entegre su korumalı minimum yapı şekli! Optimum ağırlık; sadece 129 g!

Technische Daten • Technical data

	Lo-Band	Hi-Band
Empfangsfrequenz:	10,7-11,7 GHz	11,7-12,75 GHz
Receiving frequency:		
Ausgangsfrequenz:	0,95-1,95 GHz	1,1-2,15 GHz
Output frequency:		
Polarisationsumschaltung:	11,5-14V	16-19V
Polarisation switching:		
Empfangsbandumschaltung:	0 KHz	22 KHz
Receiving band switching:		
Rauschmass:	0,2 dB	
Noise factor:		
Umschaltzeit:	< 0,9 sec	
Switching time:		
Verstärkung:	> 58 dB	
Amplification:		
Temperaturbereich:	-30° bis +60°	
Temperature range:		
Ausgangswiderstand:	75 Ω / F-Anschluss	
Output resistance:		

Technische Änderungen vorbehalten! • Technical alterations reserved! • Sous réserve de modifications techniques!

SM ELECTRONIC GmbH
22145 Stapelfeld/Blank - Germany
www.skymaster.de

Made in P.R.C.

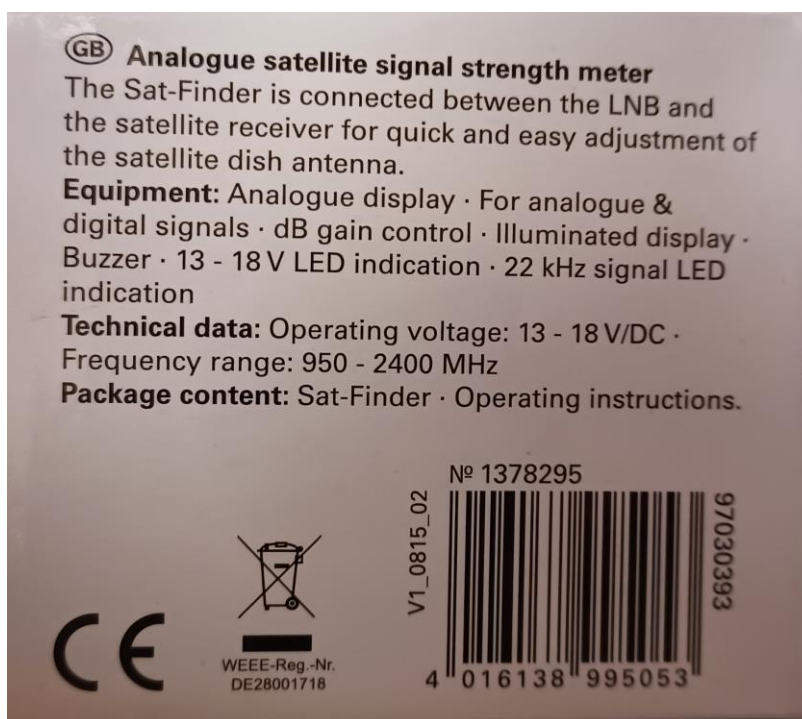

4 000953 376012

1. 3. 1. Ábra: LNB



A tápegység, ami az LNB műköéséhez szükséges tápellátást biztosítja: Siglent SDP 3303C. A jelek analízisét Signalhound SA 124 B spektrum analizátorral végeztem el.

A műholdak jelét ún. műholdkeresővel Renkforce Sat Finder végeztem el. Ennek lényege, hogy műholdkereső az LNB és a műholdvevő közé csatlakozik a parabolaantenna antenna gyors és egyszerű beállításához. Hang és fényjelzést bocsájt ki, ami elősegíti a műholdak megtalálását. Én ezt használtam ahhoz is, hogy a Nap pontos helyzetét meghatározzam az antennához képest. Felszerelés: Analóg kijelző Analóg és digitális jelekhez dB erősítés szabályozás Megvilágított kijelző. Hangjelző 13-18 V LED jelzés 22 kHz jel LED jelzés. Műszaki adatok: Üzemi feszültség: 13-18 V/DC. Frekvencia tartomány: 950 - 2400 MHz. Adatlapja:



1. 3. 2. Ábra: Satellite Finder

A 60 cm-es parabola antenna paraméterei: Kathrein Euroline Offset-Parabolantennen. A reflektor alumíniumból készült, ún. porszórt, a hátlapja horganyzott acéllemezből készült. Az LNB tartókar is alumíniumból készült. Tartója horganyzott acéllemezből készült árboc

és reteszelő bilincsek (teljesen előre összeszerelve), csavarok és anyák rozsdamentes acél kivitelben a kültéri használathoz. Ennek adatlapja:

KATHREIN
Euroline[®]

Offset Parabolic Antennas

KEA	650
KEA	750
KEA	850
KEA	1000

Features

- Aluminium reflector, powder-coated
- Back of galvanised sheet steel
- LNB carrier arm of aluminium
- Galvanised steel mast clamps and threaded clamps (completely pre-mounted)
- Nuts and bolts in stainless steel
- Colours: KEA 650/750/850/1000 – graphite (similar to RAL 7012), red brown (similar to RAL 8012), white (similar to RAL 9002)
- Items supplied: reflector with pre-mounted mast and feed system support
- Only possible for KEA 750/850: For mounting two LNBs on the boom (multifeed reception) to receive the signals of satellites up to 6° apart (e.g. ASTRA/EUTELSAT HOTBIRD). The KEZ 02 multifeed bracket (order no. 20010056) is additionally required (see Accessories (Optional, Not Included), p. 2).

Intended Use

The parabolic antennas are intended solely for the reception of satellite signals and for use only as domestic antennas. DIN EN 60728-11 specifies that a domestic antenna should have no more than 6 m free mast length and a fixed-end moment up to 1650 Nm. The parabolic antennas are designed for use with a feed system (LNB) for reception of the signals from one satellite position, or two feed systems for multifeed applications for reception of the signals from two satellite positions with up to 6° satellite spacing (in case of KEA 750/850/1000, with KEZ 02).

- It is unsuitable for mounting on structures that are liable to vibration.
- Make sure to comply with the values for the maximum wind load listed in the Technical Data. If this load is exceeded, parts could break away!
- The feed systems and instructions for their installation are not included in the scope of supply of the parabolic antenna.
- Do not use the parabolic antenna for purposes other than those listed in this manual! In particular, never
 - modify any of its components or
 - fit any components other than those expressly intended by the manufacturer for use with the antenna.

Non-compliance may lead to the antenna no longer being sufficiently stable and safe!

- The laws and standards currently valid for the installation and operation of the antenna are binding and are to be observed and applied without fail!

Any use other than that specified or failure to observe these application notes will invalidate the warranty or guarantee.

Tip Keep these instructions for further reference and pass them on to the next owner of the antenna..

Scope of Delivery

Scope of delivery KEA 650/750:

- pre-mounted support arm
- reflector
- 4 x M6 x 35 Inox screws
- 4 x M6 inox self-locking nuts
- Instructions for Use

Scope of delivery KEA 850/1000:

- pre-mounted support arm
- reflector
- 6 x M6 x 35 Inox screws
- 6 x M6 inox self-locking nuts
- instructions for use



1 / 10

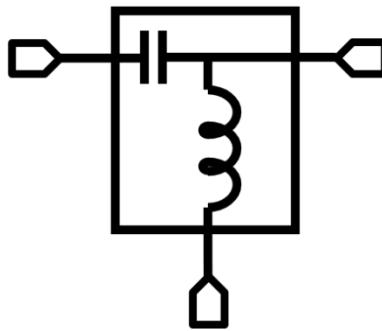
1. 3. 3.Ábra: Antenna



A 115 cm-es parabola antennáról a méretein és anyagán kívül (alumínium) nem tudok semmit, mert ez egy korábban kidobott és általunk újrahasznosított antenna.

Ahhoz, hogy az LNB-re és a SatFinderre eljuthasson a megfelelő tápfeszültség és megkaphassuk a kimenő jelet, szükség van egy olyan eszközre, ami a DC és AC jeleket egymástól elválasztja. Ez egy ún. DC Bias Tee. Ennek gyártmánya: BT0018 Marki Microwave Inc, USA. Adatlapja és ábrája:

Part Number	Subfamily	Datasheet	Frequency Band Low [GHz]	Frequency Band High [GHz]	Insertion Loss [dB]	DC Current [A]	DC Port Isolation [dB]	DC Voltage [V]
BT-0018	-	Datasheet	0.00004	18	0.6	0.5	35	30



3. 4. Ábra A DC bias Tee sematikus rajza, forrás [Marki]

A DC Bias Tee működésének lényege -- amit az ábra is összefoglal --, hogy a DC ágon egy induktivitás van, azért, hogy erre ne menjen a rádiófrekvenciás jel, viszont amerre nem akarjuk, hogy a DC eljusson (az ábra bal oldala) ott pedig egy kondenzátor van (nálam ez a spektrumanalizátor). Az LNB és SatFinder pedig az ábra jobb oldalára van csatlakoztatva.

Az LNB-n és SatFinderen a műholdtechnikában szokásos ún. F típusú csatlakozók vannak, a DC Bias Tee-n SMA-sok, a DC tápkimenete pedig banándugós. Ezért aránylag



sok átalakítót kellett használnom, úgymint banán-BNC majd BNC-SMA és BNC-F. Ezek számát igyekeztem minimálni és ahol csak lehetett, hogy a műholdtechnikában használatos F típusú kábeleket és csatlakozókat.

4. Eredmények

4.1 A házilagos rádiótávcső kialakítása

A berendezésem először kint helyezkedett el; egy fém kocsira volt felszerelve az antenna, s a számítógép is kint helyezkedett el, ezért mindig szét kellett szedni a felépített berendezést, ezáltal nem tudtam több napon át tartó méréseket végezni. A kezdetleges összeállítást lecseréltük egy jól működő, bentől is elérhetőre. Így a számítógép, a DC és az AC is bent kapott helyet; az antenna (nyilván) továbbra is kint van a fém kocsin, melyet az ablakhoz rögzítettünk csavarok segítségével (megtanultam imbuszkulccsal és villáskulccsal szerelni, hogyan kell ellentartani); a műholdkereső is kívül található, de időjárásálló burkolatának köszönhetően nem kell féltetni az esetleges károsodásoktól. Az 1,5 méteres koaxiális kábel, mely kapcsolódik a benti



4.1 1. Ábra: Rögzített antennák

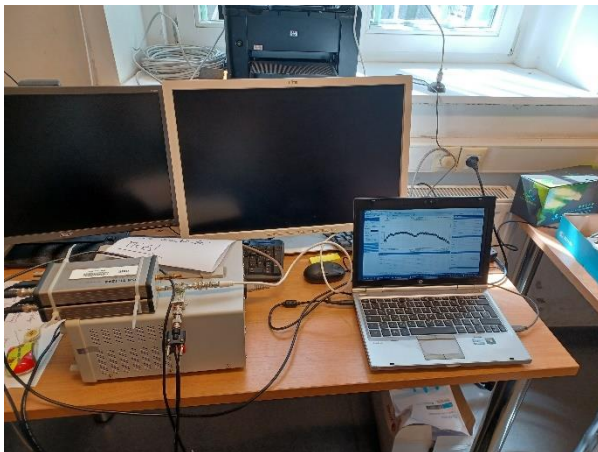
részekhez, a résnyire nyitott ablakon át jut be. Szerettem volna egy kis kamerával látni, amit mérek, így felszereltünk az egyik antennára egyet. Azonban egy rádióteleszkóphoz nem úgy kell szinkronba állítani egy kamerát, ahogyan egy hagyományos távcsőhöz keresőtávcsövet állítanánk, ugyanis itt nem párhuzamosítani kell, mivel az antenna a közepébe fókuszálja a beérkező jeleket, de nem oda kapja a hullámokat, hanem a



4.1 2. Ábra: A tápegység

széléről, így a legmagasabb pontjához, a tányér tetejéhez kell beállítani a kamerát, abba a pontba, ahonnan az a rész is jelet kap. Célszerű ezt egy falon beállítani. Ugyan sokra nem mentünk ezzel a beállítással, de látjuk, hogy honnan érkezik a jel.

Azzal, hogy az eszközeink egyik része kint van, a másik pedig bent, csupán egy probléma van; ahhoz, hogy más-más objektumokat állítsunk be, ki kell menni és kézzel kell ráirányítani az adott testre. Később gondolkodhatunk rajta, hogy mechanikusan is képesek legyünk mozgatni az antennát. Viszont nagy előnye, hogy nem csak olyan méréseket tudok végezni, ahol a spektrumokat egy adott pillanatban határozok meg, hanem adott időtartományfelületenyonban adott frekvencián is. A hosszabb, akár több napos méréseket monitoroztam, otthonról is láthatom a laborban futó méréseket, akár leállíthatom, de újat is indíthatok. A hátulütője a nagyobb méréseknek, hogy több adat is keletkezik; a kisebb adatsorokat az Excel segítségével dolgoztam fel, viszont 1,5 millió adat felett nem képes beolvasni azokat. Így Pythonban programoztunk egy olyan kódsort, amely képes a többmillió adatsorokat beolvasni és feldolgozni. 10 vagy 20 pontonként számol és hoz létre grafikonokat. A kész adatokat microcal Originnel kaptuk, melynek segítségével pontosabb, szebb ábrákat kaptunk.



4.1 3. Ábra: Benti részleg



4.1 4. Ábra: Satellite Finder

```

import numpy as np
from matplotlib import pyplot as plt
from array import *

def find_nth(string, substring, n):
    if (n == 1):
        return string.find(substring)
    else:
        return string.find(substring, find_nth(string,
        substring, n - 1) + 1)

#f = open("CP_2023-07-05 08h50m30s.csv", "r")
#f = open("CP_2023-07-05 08h47m14s.csv", "r")
#f = open("CP_2023-09-25 14h11m19s.csv", "r")
f = open("CP_2023-10-02 15h13m10s.csv", "r")

#Lines = f.readlines()
Lines = f.read()
Lines=Lines.split('\n')
#print(Lines)
count = 0
power_array=[]
time_array=[]
# Strips the newline character
print(len(Lines))
Lines_ = Lines[1:len(Lines):20]
print(len(Lines_))
for line in Lines_:
    #a2=find_nth(line, ",", 10)

    if count>20:#len(power_string)>0:
        a1 = find_nth(line, "/", 1)
        day_string=str(line[1:a1])

        a1 = find_nth(line, " ", 1)
        a2 = find_nth(line, " ", 1)
        if len(day_string)>0:

```

```

        day=float(day_string)
        time_string = str(line[a1 + 1:a2])
        #print(time_string)
        #print(time_string)
        a1 = find_nth(time_string, ":", 1)
        a2 = find_nth(time_string, ":", 2)
        a3 = find_nth(time_string, ":", 3)
        #print(time_string[1:a1])
        #print(time_string[a1 + 1:a2])
        #print(time_string[a2 + 1:a3])
        #print(time_string[a3 + 1:len(time_string)])
        b1 = find_nth(line, ",", 1)
        b2 = find_nth(line, ",", 2)
        b2 = len(line)
        power_string = str(line[b1 + 1:b2])

        if len(time_string)>0:

            time_seconds=3600*float(time_string[0:a1])+60*float(ti
            me_string[a1 + 1:a2])+float(time_string[a2 + 1:a3])
            #print(time_string[0:a1],time_seconds)
            #print(time_seconds,3600*14.0)
            if time_seconds==3600*14.0:
                power_string = str("-40.0")
                print(power_string)
                time_seconds+=float(time_string[a3
                1:len(time_string)]/1000 +
                time_seconds+=day * 86400
                #print(time_seconds)

            a1 = find_nth(line, ",", 1)
            a2 = find_nth(line, ",", 2)
            a2=len(line)
            power_string = str(line[a1 + 1:a2])

            if len(power_string)>0:
                power=float(power_string)

```

4.1 5. Ábra: Python kód részlet



4.2 A rendszer érzékenységének vizsgálata geostacionárius

műholdakkal

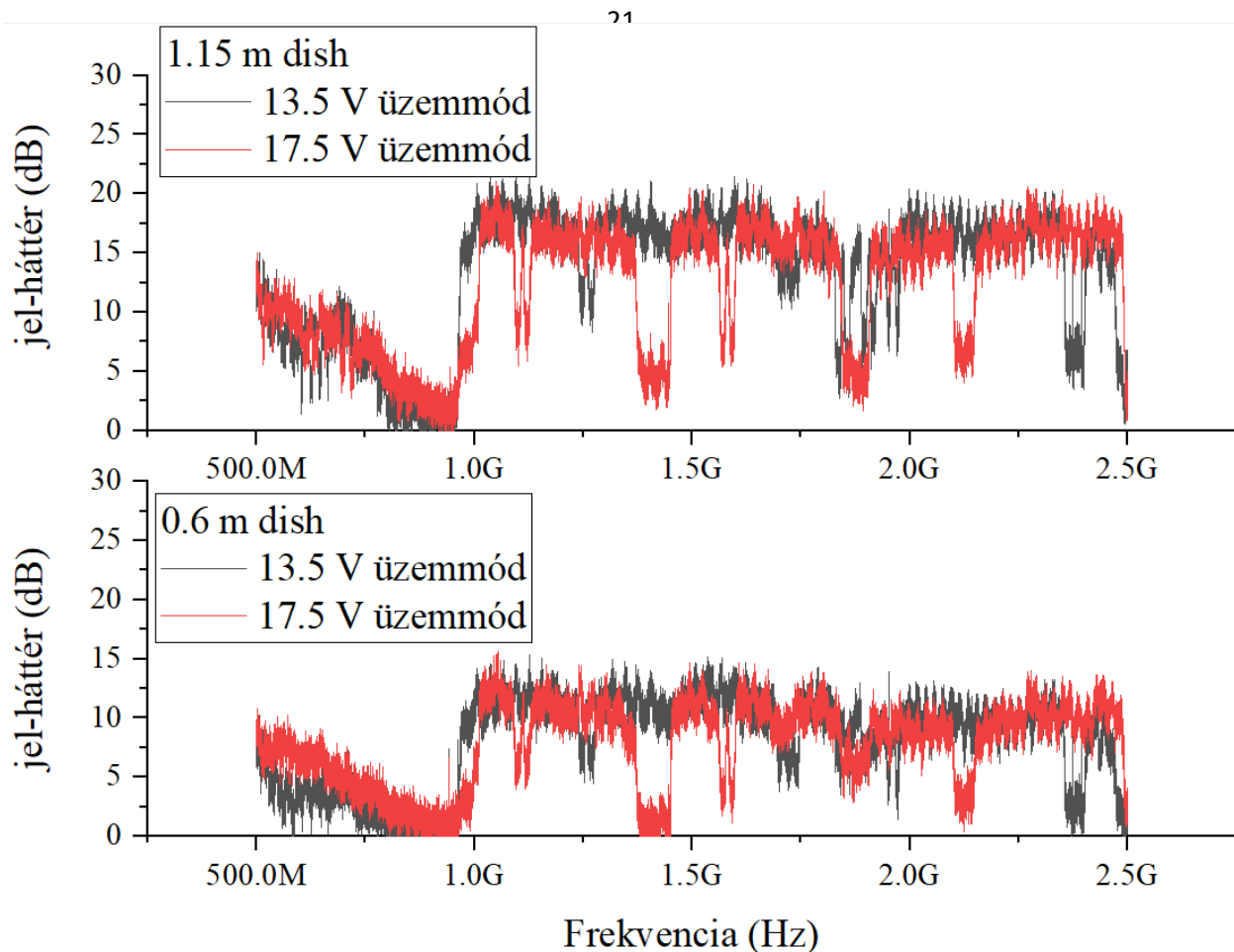
A műholdak spektrumait egy adott pillanatban tudjuk meghatározni, azaz a mérés ideje elég rövid. Ezen mérésnek a célja, hogy rendszerem érzékenységét teszteljem, hogyan fog változni egy nagyobb átmérőjű antennával végzett mérés eredménye. Először egy 0,6 m-es átmérőjű antennát használtam.

Később egy 1,15 m-es antennával is végeztem méréseket. Mindkét antennával 2-2 mérést hajtottam végre, így 4 grafikonom lett. Az egyik mérésnél 13-14 V között volt a tápfeszültség, ami az egyik polarizációt választja ki, míg a másiknál 17-18 V között.

Bemutatom egy példán, hogy nagyjából mekkora jelet várunk. Egy tipikus geostacionárius kommunikációs műhold 1 watt teljesítményt sugároz le 1 GHz-es sávszélességre elosztva egy kb. 10 Magyarországnyi területre, ami 1 milló km^2 azaz $10^{12} m^2$. Ez alapján egy műhold által 1 Herz sávszélességen és $1 m^2$ vevő-felületen kisugárzott teljesítmény $\frac{1W}{10^9 Hz \cdot 10^{12} m^2}$, azaz $10^{-19} \frac{W}{Hz \times m^2}$. Mivel 0 dBm 1 mW-nak felel meg, ezért ez a mennyiség $-160 \frac{dBm}{Hz \times m^2}$. Mivel a hőmérsékleti zajszint $-174 \frac{dBm}{Hz}$ ezért ez alapján azt várjuk, hogy egy $1 m^2$ felületű antennával a kapott jel 14 dB-vel nagyobb, mint a háttér. Számomra ez nagyon érdekes volt, hogy ezt a példát ismert adatokból, de becslés alapján írtam le. Amint a továbbiakban bemutatom, a megfigyelt jel-zaj viszonyok nagyon jó egyezésben vannak ezzel a számolással.

Az eredményeket a következő ábrákon mutatom. Ahogyan fentebb említettem, ehhez antennaként 2-2 mérést végeztem, ill. plusz 1 mérést, amihez az LNB bemenetét letakartam a kezemmel, hogy ne jusson be biztosan semmilyen sugárzás. Így kaptam meg az LNB zajhátterét. Ezt a szinten vontam le a mért 2-2 adatból és ábrázoltam a frekvencia függvényében:





4.2 1. Ábra: A két különböző átmérőjű parabola antennával mért jel a műholdról a zajszinthez viszonyítva. Azt látjuk, hogy az LNB 1 GHz felett kezd el működni.

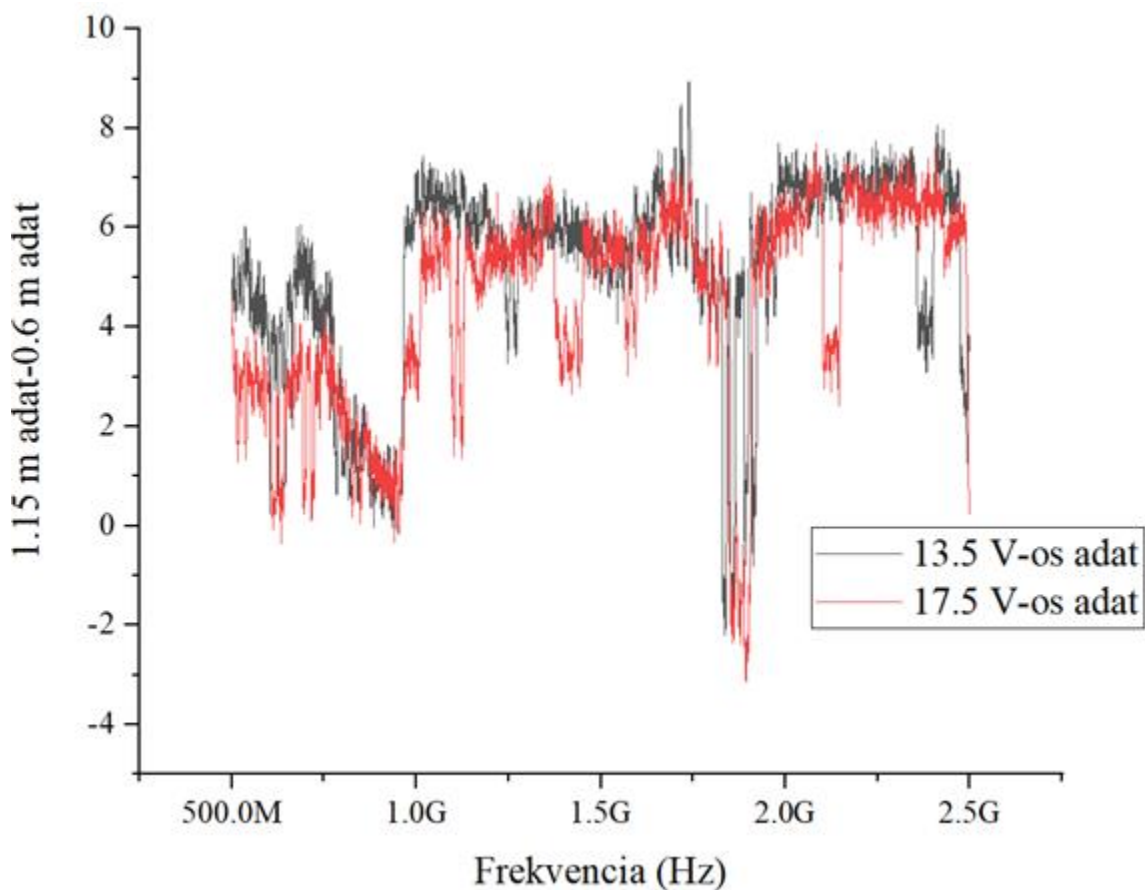
Ezekből a mérésekből a következőket láthatjuk:

- az LNB csak 1 GHz felett kezd el működni, ahogyan várjuk is, ezért van, hogy 1 GHz alatt nincs extra jel.
- mindkét antennával ugyanazt a műholdat sikerült befognom. Ez onnan látszik, hogy a két spektrum szerkezete nagyon hasonló, ugyanott vannak „lyukak”. Amint a bevezetőben említettem, ez nem magától értetődő, mert egymáshoz „közel” van általában sok műhold.
- az LNB háttéréhez képest kapott jel-zaj arány az 1,15 m-es antennával kb. 17.5 dB, míg a kisebbel kb. 11 dB.

Az utolsó megfigyelés számomra nagyon érdekes módon pont jó egyezésben van a fenti durva számolással, amikor is megpróbáltam megbecsülni, hogy mekkora jel-zaj arányt várnánk 1 W-ot kibocsájtó műhold esetén ha kb. 10 magyarországnyi területet sugároz be.

A két antenna között pedig kb. 6 dB-s különbséget találunk. Vegyük észre, hogy 6 dB pontosan 4-es szorzónak felel meg teljesítményben. Ezt úgy értelmezhetjük, hogy a kétszer akkora átmérőjű parabola antenna 4-szer nagyobb energiát kap időegység alatt, mint a kisebb.

Ezt a különbséget még pontosabban mutatom a következő ábrán:



. 4.2 2. Ábra: A két különböző átmérőjű parabola antennával mért jelek szintje közötti különbség. Vegyük észre, hogy a spektrum nagy részében a különbség jó egyezésben van a 6 dB-vel, amit az antennák méretéből várok.



Ezt a jó egyezést a mérés és az antennák méretéből adódó számolás között, úgy értelmezhetjük, hogy mindkét antenna megfelelően működött. Ez egyben azt is megmutatja, hogy az LNB mindkét esetben optimális helyre, az antennák fókuszába sikerült helyeznünk. Egyben ez jó reményt adott arra, hogy valódi rádiócsillagászati méréseket is elvégezhessek a vevőrendszerem segítségével.

4.3 A rendszer zajhőmérsékletének meghatározása

Ismert, hogy egy mérésben a teljes zajszint a mérőrendszer és a mért jel zajának összegeként adódik [WikiNoiseAddition]. Jelölje a rendszer zajhőmérsékletét T_{system} , és a mért objektumét (pl. meleg házfal), T_{objektum} , akkor a kapott $T_{\text{eredő}}$ zajszintben a hőmérsékletek összeadódnak, azaz:

$$T_{\text{eredő}} = T_{\text{system}} + T_{\text{objektum}}$$

Tekintve, hogy a zaj teljesítménye a hőmérséklettel arányos a Johnson-Nyquist formula alapján, ezért ezt a képletet felfoghatjuk úgy is mint teljesítmények vagy energiák összeadását.

Elméletben tehát nincs más dolgunk mint egy ismert hőmérsékletű zajforrást venni és azzal mérni. Azonban problémát okoz, hogy az LNB erősítése számunkra nem ismert. Ezt az ismeretlen tényezőt úgy tudjuk kiküszöbölni a T_{system} meghatározásakor, ha két ismert hőmérsékletű objektumot vizsgálunk és ezek arányából számolunk.

Ehhez a választott két érték az ég és egy benapozott fal (naposfal). Rádiócsillagászati körökben elfogadott, hogy a 10 GHz-es tartományban a felhőmentes ég vagy még inkább az északi ég zaj hőmérsékletére a 20 K egy jó becslés. A naposfalra pedig 300 K-t használok.

Az így kapott aránypár, amit *ratio*-val jelölök:



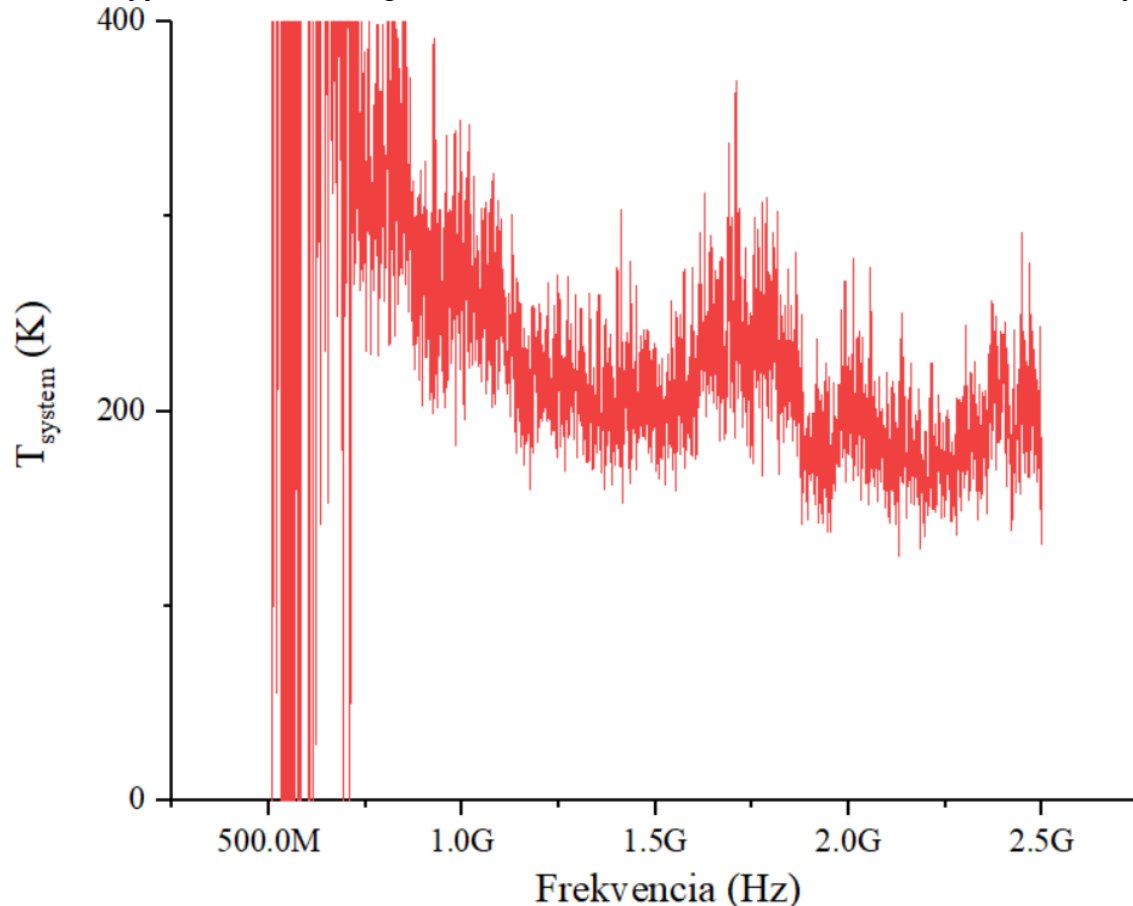
$$ratio = \frac{(T_{system} + 300\text{ K})}{(T_{system} + 20\text{ K})}$$

Amennyiben ezt a kifejezést megfordítjuk, matematikailag meg tudjuk kapni a rendszer zajhőmérsékletét a ratio-ból:

$$T_{system} = \frac{(20 \times ratio - 300)}{(1 - ratio)}$$

Ezt a mérést el is végeztem, ehhez a spektrumanalizátoron mért értékeket rögzítettem miközben a 0.6 m-es parabolaantennával egyszer az eget, másszor a szomszéd épület falát figyeltem meg. Az eredményt a következő ábra mutatja:

A rendszerünkben használt spektrumanalizátor először dB-ben adja meg a hányadost, ami a két zajszint különbsége, ezért ebből először kiszámítottam a lineáris arányt:



1. 4.3 1. Ábra: A mérésből kapott rendszer zajhőmérséklet. Jól látszik, hogy 1 GHz alatt az LNB nem működik, ezért nagyon megnő a rendszer zajhőmérséklete.

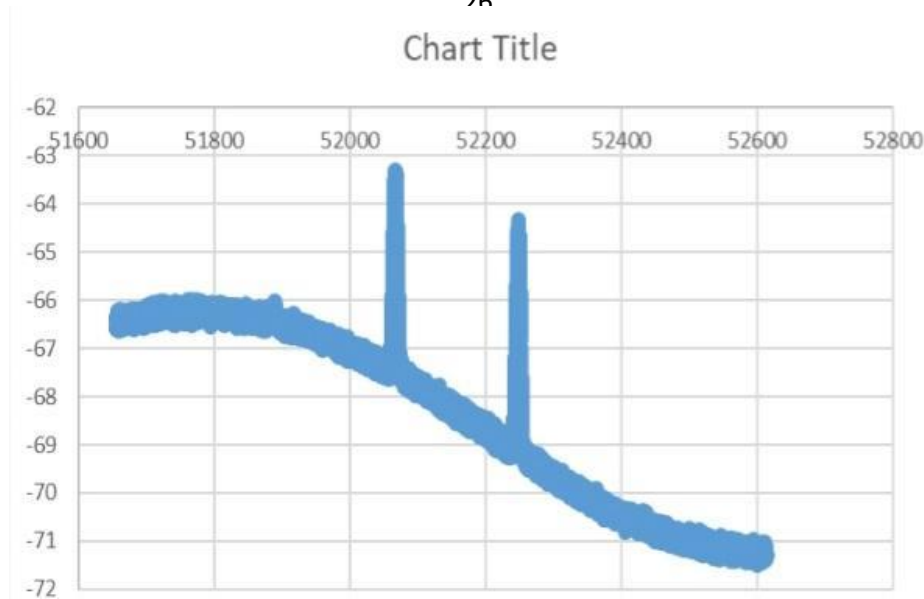
$$ratio = 10^{\frac{ratio\ dB}{10}}$$

Majd a fenti képletből meghatároztam a rendszer zajhőmérsékeltét. Ez az érték 200 K körülnek adódott. Az irodalom alapján [WikiAntennaNoise] ez egy meglehetősen tipikus érték. Érdekes módon elsősorban ennek az oka elsősorban a sidelobe-ok jelenléte. Ez azt jelenti, hogy még akkor is amikor én azt gondolom, hogy az üres eget mérem, akkor is belemérem a környező épületek zaját, vagy fák zaját stb. Tekintve, hogy a mérés aránylag szűk területen, a BME L épület labora előtt történt, ezért ez várható is. Amennyiben lenne módom ezt egy tágas területen elvégezni, azt várnám, hogy sokkal kisebb rendszer zajt figyelhetek meg. Mindenesetre még ez a kb. 200 K-es zajhőmérséklet sem akadályozza meg, hogy a továbbiakban valódi rádiócsillagászati méréseket végezzek.

4.4 Rádiócsillagászati mérések a Napon

Ebben a részben a Nap rádiófrekvenciás zaját vizsgáltam. Ehhez első lépésként az antennát a Nap felé fordítottam és az optimális célzást a SatFinder segítségével határoztam meg. Ezt követően folyamatosan mértem a spektrumanalizátorral az LNB jelének kimeneti zajszintjét egy adott frekvencián (1.5 GHz-en), ami 11.25 GHz-es frekvenciának felel meg. Ezt az időfüggő adatsort mutatja a következő ábra:





1. 4.4 1. Ábra: A Napra fordított antenna által mért zajhátér miközben a Nap lemaszott róla. A vízszintes tengely beosztása másodperc, az ábrán látható 52200 és 51800 másodpercek különbsége kb. 6.5 perc. Ezért a látott eredmény megfelel az elméletileg várt 12 perces Nap tranzit időnek.

Az ábra nem jelzi a tranzit elejét, körülbelül 8 percig mérhettünk. Az ábrán látható kettő kimagasló érték valószínűleg egy műhold vagy repülő lehetett. Napfolt azért nem lehetséges, mert az antennánk nem képes olyan nagy felbontásra.

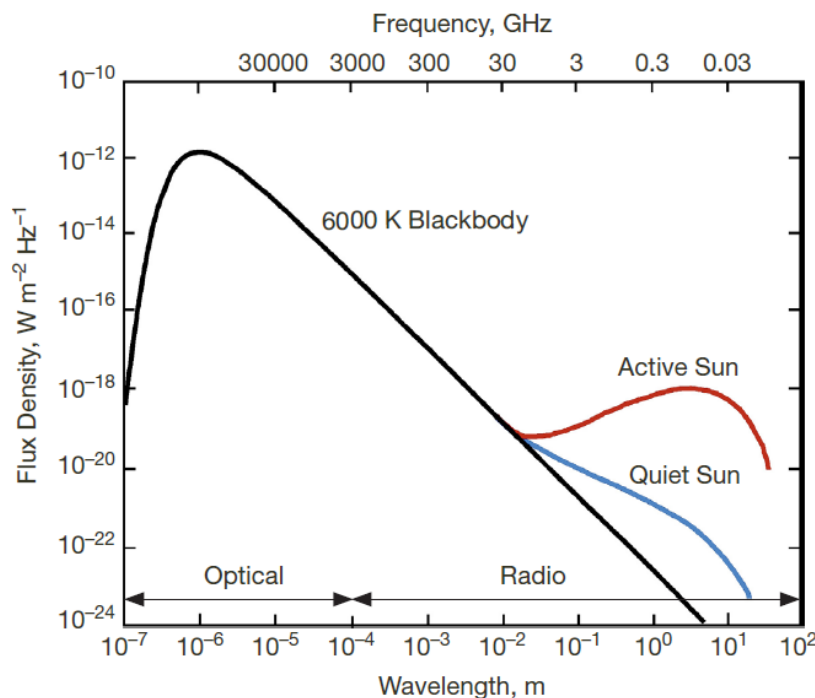
A látott jel pontos megértéséhez néhány dolgot figyelembe kell vennünk. A mérésekből két adatot határozhatunk meg, melyeket csillagászati értékekhez hasonlíthatunk össze. Az egyik, hogy milyen gyorsan halad át az antenna előtt (tranzit), a másik pedig, hogy milyen magas zaj-jelszintet mérünk.

A Nap látszólagos átmérője az égbolton 0.5 fokot tesz ki, míg a 0,6 m-es antenna látószöge 3 fok, így 1/36-át tölti ki a látómezőnek. Az antenna látószögét online kalkulátorok segítségével határozhatjuk meg (pl. <https://www.satsig.net/pointing/antenna-beamwidth-calculator.htm>). A

Mivel a nap 0,5 fokot tesz ki az égbolton, meghatározhatjuk, hogy egy óra alatt hány fokot tesz meg, majd azt is, hogy egy fokot mennyi idő alatt. $1 \text{ h} = 15 \text{ fok}$; $1 \text{ fok} = 4 \text{ perc}$. Így tehát azt is kiszámolhatjuk, hogy mennyi idő alatt halad el a Nap az antenna előtt. Az

antenna látószöge ismert, így kijön: $4 \times 3 = 12$; így 12 percig tart a 0,6 m-es antennával a Nap tranzitja. Ez igen jó egyezésben van az ábrán mutatott értékkel. Az ábrán csak a tranzit felét találtuk meg, ami kb. 6.5 perc volt.

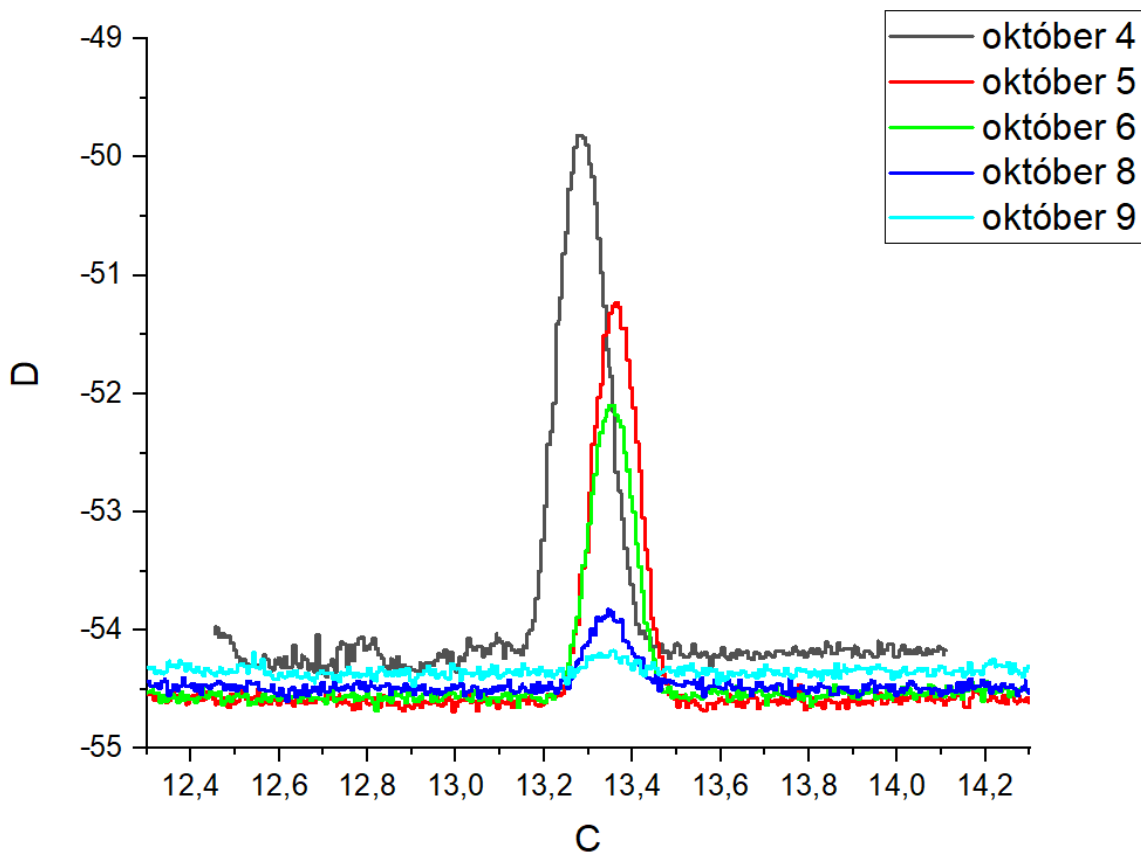
A másik a látott jel nagyságára vonatkozik. A Nap hatására látott zaj jel és a háttér különbsége kb. 5 dB. Jelölje a Nap megfigyelt zajhőmérsékletét T_{Nap} . Mivel a Nap nem tölti ki az antenna teljes látószögét, ezért ennek csak kb. $1/36$ -odát látjuk. Az 5 dB-s többlet 3.16-os faktort jelent. Az üres ég hőmérséklete a vevőrendszer saját zajával együtt kb. 200 K, ennek megfelelően a Nap hatására én $3,16 \times 200 \text{ K} = 630 \text{ K}$ -es zajhőmérsékletet mértem. Ezt megszorozva 36-tal kapom, hogy a mért érték $T_{\text{Nap}} = 22\,000 \text{ K}$. Ez az adat azért nagyon érdekes, mert közismert, hogy a Nap felszíni hőmérséklete kb. 6000 K. Az kevésbé ismert, hogy a korona hőmérséklete a GHz-es tartományban ettől jelentősen eltér a nagyenergiájú részecskék miatt. Ezért ebben a tartományban a Nap sugárzási spektruma jelentősen eltér egy 6000 K-es feketetest sugárzási spektrumától, amit a következő ábra mutat.



4.4 2. Ábra: A Nap sugárzási spektruma [NapSpektrum]

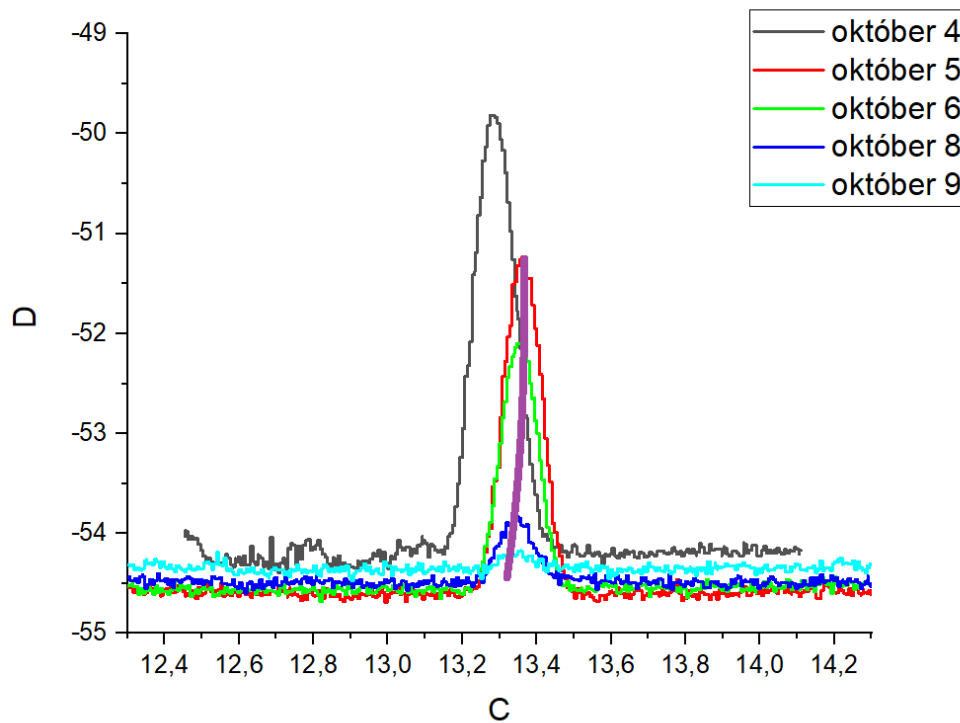


A Napról készítettem egy körülbelül egyhetes mérés sorozatot, de azt már a 1,15 m átmérőjű antennával. A mérésnél jól megfigyelhető, hogy a napok elteltével csökken a grafikonon az érték, mely egy fél parabolát rajzol ki. A mérés hibája az, hogy a gép bizonyos napokon nem rögzített adatokat, erre sajnos nem derült fény, hogy miért. A másik pedig az, hogy az első rögzített nap után eltolódhatott az antenna, valószínűleg egy erősebb fuvallat elmozdította a helyéről, így egy eltolódást mutat az ábra, de a többi érték már szinkronban mozog. Az áthaladás körülbelül 13:15-kor történt meg.



1. 4.4.3. Ábra: A Nap tranzit közben mért háttér zaj változása. A vízszintes tengely az időt mutatja órákban.

Azt találtam, hogy a várakozásnak megfelelően a tranzi időpontja napról-napra időben picit előre tolódik, amit a következő ábra mutat.



1. 4.4 4. Ábra: A csúcsokra illesztett görbe

Ezt a fejezetet összefoglalva elmondható, hogy a Nap tranzitját több egymást követő napon is meg tudtuk figyelni, a megfigyelt tranzit időtartama és a látott jel nagysága is megfelelt a csillagászati várakozásoknak.



5. Összefoglalás

A TDK dolgozatomban megvizsgáltam annak a lehetőségét, hogyan lehet kereskedelembe kapható hétköznapi eszközökből egy rádiótávcsövet készíteni. A berendezés összeállítását és méréseket is bemutattam. A házilag készült rádiótávcsővel sikerült távközlési műholdak jeleit befogni, aminek segítségével a vevőrendszer érzékenységét tudtam kimérni. Ezt követően ismert zajhőmérsékletű objektumokat megvizsgálva, meg tudtam mérni a rendszer zajhőmérsékletét. Ez is olyan nagyságúnak adódott, ami az irodalmi adatok alapján várható. Ezután valódi rádiócsillagászati méréseket tudtam elvégezni a mi környezetünkben legnyilvánvalóbb, rádiótartományban aktív objektumon, a Napon.

A TDK dolgozatomban bemutatott kutatómunka során volt alkalmam elmélyedni a kis-zajú mérés technika és a rádiócsillagászat alapjaiban is. Azt remélem, hogy a jövőben is lesz lehetőségem folytatni ezt a munkát valamilyen formában.



6. Köszönetnyilvánítás

A dolgozat elkészítését a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) és a Kulturális és Innovációs Minisztérium (KIM) támogatta a K137852, 2022-2.1.1-NL-2022-00004, 2019-2.1.7-ERA-NET-2021-00028 (V4-Japán, BGapEng), TKP2021-NVA-02 és TKP2021-EGA-02 számú pályázatok révén.

Hivatkozások

2.1 [Geostac] 1. Ábra: [geostationary satellite - Bing images](#)

[Geostationary orbit - Wikipedia](#)

[ESA - Types of orbits](#)

[ESA - 3. The geostationary orbit](#)

2.2 [LNB] 2. Ábra: <https://www.researchgate.net/profile/Tran-Hoi-2/publication/303406172/figure/download/fig1/AS:364572788707328@1463932334211/Low-noise-block-downconverter-diagram.png>

2.2 [Low-noise block downconverter - Wikipedia](#)

2.2 [LNB - Low-Noise Block Converter - kis zajú blokk-konverter, fejkonverter, vevőfej, fejegység - távközlési és műholdas lexikon \(frekvencia.hu\)](#)

2.3 1. Ábra: [Parabole] SAF Tehnika, JSC 2017 Antenna Alignment White Paper

2.3 [Parabolic antenna - Wikipedia](#)

2.4 [Noise temperature - Wikipedia](#)

[WikiNoiseAddition] https://en.wikipedia.org/wiki/Noise_temperature

[WikiAntennaNoise] [https://en.wikipedia.org/wiki/Noise_temperature_\(antenna\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Noise_temperature_(antenna))

2.4 <https://www.everythingrf.com/rf-calculators/parabolic-reflector-antenna-gain>



2.4 <https://3g-aerial.biz/en/online-calculations/antenna-calculations/parabolic-antenna-online-calculator>

2.4 <https://www.rfwireless-world.com/calculators/parabolic-dish-antenna-calculator.html>

2.4 https://en.wikipedia.org/wiki/Angular_diameter

[Wiki_Nyquist] https://en.wikipedia.org/wiki/Johnson%E2%80%93Nyquist_noise

2.4 [Zaj – Wikipédia \(wikipedia.org\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/Zaj)

3. [DC Generator - Parts, Working, EMF Equation, Types, Applications \(byjus.com\)](https://byjus.com/physics/dc-generator/)

3. [AC Generator - Working Principle, Parts, AC Generator Diagram \(byjus.com\)](https://byjus.com/physics/ac-generator/)

3. [Koaxiális kábel | Koaxiális kábel vásárlás \(rs-online.com\)](https://rs-online.com/hu/koaxialis-kabel/)

3. [Marki] 4. Ábra: [BT-0018 Bias Tee \(markimicrowave.com\)](https://markimicrowave.com/bt-0018-bias-tee/)

3. 5. Ábra: [BT-0018 Bias Tee \(markimicrowave.com\)](https://markimicrowave.com/bt-0018-bias-tee/)

[NapSpektrum] <https://physicsopenlab.org/wp-content/uploads/2020/11/sunRadioSpectrum.png>

4.4 https://ipnpr.jpl.nasa.gov/progress_report/42-175/175E.pdf

