

Izgradnja radijskega teleskopa na Gimnaziji Šentvid – sodelovanje med ADV in astronomskim krožkom Gimnazije Šentvid

Klemen Blokar

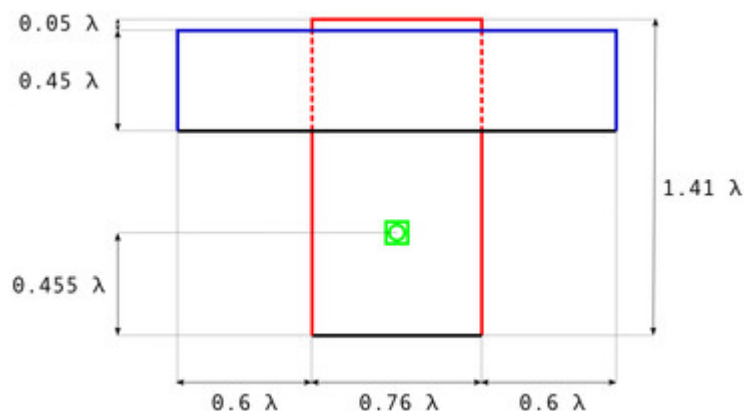
Astronomski krožek na Gimnaziji Šentvid je tekom lanskega šolskega leta v sodelovanju z Astronomskim društvom Vega - Ljubljana postavljajl majhnen šolski radijski teleskop za vodikovo črto (1420MHz). Čeprav se sliši zelo drago in zapleteno, je takšen radijski teleskop izvedljiv že s proračunom, nižjim od evrskega tisočaka.

Navdih za gradnjo radijskega teleskopa smo dobili iz [članka](#) o cenovno ugodnem radijskem teleskopu, v katerem je Marcus Leech opisal minimalen sprejemnik, s katerim lahko zaznamo vodikovo črto iz Rimske ceste. Ker smo v načrtovanje in gradnjo našega radijskega teleskopa vložili kar nekaj truda in v mnogočem izboljšali predlogo Marcusa Leecha, se zdi smiselno objaviti opis naše naprave, saj to utegne še komu pomagati na poti izdelave svojega radijskega teleskopa.

Preden se spustimo v podroben opis naše naprave, si oglejmo še, zakaj je zanimivo opazovati vodikovo črto iz naše galaksije. Vodikova črta je sevanje, ki nastane pri prehodu med stanjema hiperfine strukture atoma vodika v osnovnem stanju (ko imata jedro in elektron paralelen oziroma antiparalelen spin). Prehod je prepovedan in se zaradi tega v zaznavnih množinah dogaja le v velikih galaktičnih oblakih hladnega vodika - in je hkrati tudi edini univerzalen način za neposredno zaznavanje teh oblakov. Zaznavanje vodikove črte nam tako razkriva informacije o naši galaksiji, ki jih na druge načine ne moremo dobiti. Če pomerimo spekter elektromagnetnega valovanja v bližini vodikove črte, ki ga sprejemamo iz določene smeri, lahko s tem ugotovimo koliko je v tej smeri hladnega vodika in tudi s kakšno hitrostjo se nam približuje oziroma se od nas oddaljuje. Informacijo o relativni hitrosti oblaka glede na Zemljo izvemo iz Dopplerjevega pojava; poznamo namreč točno frekvenco vodikove črte (1420.405... MHz), odstopanje zaznanih vrhov v spektru od te frekvence pa je posledica relativnega gibanja med nami in oblakom vodika, ki je sevanje oddal. Intenziteta vrhov v spektru pa je (zgolj primerjalno, a vendarle) merilo za količino vodika, ki ga zaznavamo. Seveda moramo upoštevati, da intenziteta sprejetega valovanja upada s kvadratom razdalje do izvora, kar nekoliko zaplete interpretacijo podatkov. A vendarle; z opazovanji vodikove črte so leta 1952 Jan Oort in sodelavci naredili prvi model porazdelitve hladnega vodika v Rimski cesti in pri tem odkrili, da ima naša galaksija spiralne rokave.

Motivacije za gradnjo takšnega radijskega teleskopa nam torej ne bi smelo manjkati. Na srečo živimo v dobi, ko lahko vse potrebne sestavne dele takega teleskopa kupimo za skorajda drobiž. Glavni sestavni del, ki omogoča tako nizko ceno, je ceneni USB DVB-T ključek za sprejem digitalne televizije, ki nam lahko služi kot sprejemnik za radijske valove med 24MHz in 1850MHz - torej tudi na zelenem območju vodikove črte. Za sprejem signalov iz galaksije potrebujemo še dovolj veliko anteno, nizkošumni ojačevalnik za prvo stopnjo ojačanja signala, sito, ki odstrani neželene zemeljske motnje, in dva cenena ojačevalnika

satelitskega TV signala. Za anteno pa zadošča že krožnik za sprejem satelitske TV premera okoli en meter; tako pravi Marcus Leech, a ker velikost krožnika določa tako širino snopa antene (in s tem ločljivost radijskega teleskopa) kakor tudi njeno občutljivost, predlagamo, da si privoščite čim večji parabolični krožnik.



Schema sprejemnega elementa s strani. Rdeče je glavni valovod, modro ovratnik, črno označuje dno - tu je treba opozoriti, da ima dno ovratnika na sredi luknjo za glavni valovod. Dimenzije so označene v enotah valovne dolžine, za naš primer je to 21,106 cm.

Naša parabolična antena ima premer 1.9 metra, goriščna razdalja je 80 cm. Antena je izdelana iz aluminijastih naper, prekritih s kovinsko mrežo. Sprejemni element antene je izdelan po optimirani predlogi VE4MA (lonec z dušilnim ovratnikom). Mere sprejemnega elementa so odvisne od razmerja med goriščno razdaljo in premerom parabole (f/D) in seveda valovne dolžine valovanja, ki ga želimo sprejemati; v našem primeru radijskega teleskopa za vodikovo črto je to $\lambda = 21.106$ cm. Za našo parabolo ($f/D = 0.42$) se izkaže za primernega lonca s premerom 0.76λ in dolžino 1.41λ (dolžina lonca ni strogo omejena: ne sme biti prekratek, predolg pa ni praktičen). Sprejemna palčka se nahaja 0.455λ od zadnje stene lonca in je dolga približno 0.23λ - končno dolžino smo določili eksperimentalno, s postopnim krajšanjem in sprotim merjenjem odbojnosti. Dušilni ovratnik je širok 0.6λ in globok 0.45λ , ustje ovratnika pa je glede na ustje lonca pomaknjeno za 0.05λ proti zaprtemu delu lonca. Pri namestitvi sprejemnega elementa na parabolo je treba lonca postaviti na tako razdaljo, da je gorišče parabole znotraj lonca, in sicer 4.7 cm od njegovega ustja.

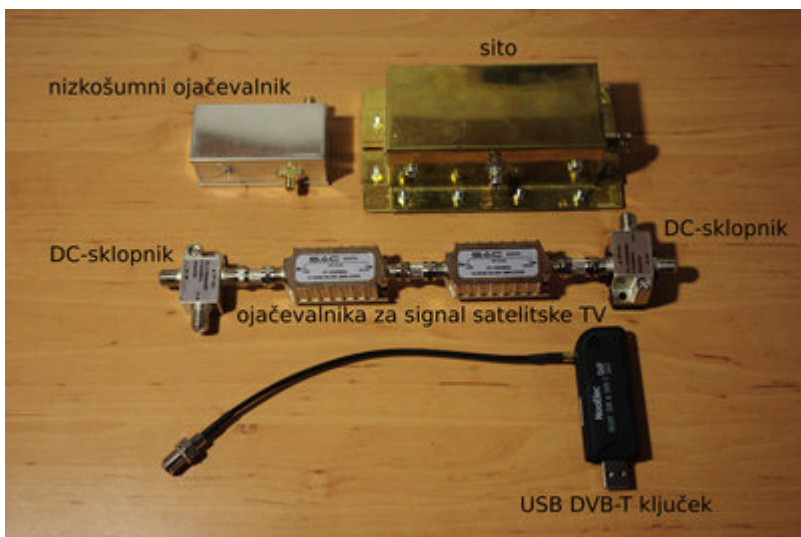


Sprejemni lonec, fotografiran z vrha. Notri se lepo vidi sprejemna palčka. Beli plastični obroč (nekoč okvir vrat pralnega stroja) je nosilec za ravno ploščo pleksi stekla, kar preprečuje vdor vode in hkrati še vedno omogoča pogled v sprejemni lonec (didaktična nujnost!).

Sprejemna palčka je prispajkana na sredinski vodnik SMA konektorja, ki je s prirobnico privit na lonec. Za lažjo pritrditev ravne prirobnice konektorja na ukrivljeno površino lonca smo uporabili majhno medeninasto ploščico, ki je na eni strani ravna, na drugi pa pobrušena tako, da se prilega krivini lonca. Skoznjo smo zvrtili luknjo, katere premer je enak premeru dielektrika v konektorju, in manjše luknje z navoji za vijake, nato pa smo ploščico prispajkali na lonec. Neposredno na konektor (ta mora biti zato tipa SMA-moški) je privit nizkošumni predojačevalnik. Predojačevalnik v našem teleskopu je razvil britanski radioamater Sam Jewell, G4DDK, pri katerem je tudi mogoče kupiti komplet vseh potrebnih komponent ojačevalnika (<http://www.g4ddk.com/>), ki pa jih morate nato sestaviti in zaspajkati sami. Delovanje ojačevalnika je po izdelavi treba preveriti in ga uglasiti tako, da dosežemo čim nižje šumno število. Stabilnost ojačevalnika preverimo s spektralnim analizatorjem, za uglasitev pa potrebujemo ustrezen merilnik šumnega števila. Nam je pri tem izdatno pomagal Leon Pavlovič iz Laboratorija za sevanje in optiko ljubljanske Fakultete za elektrotehniko. Pomagal nam je uglasiti tudi pasovnoprepustno sito (filter), ki stoji za predojačevalnikom in je namenjeno slabljenju neželenih signalov na bližnjih frekvencah (GSM, UMTS, vojaški signali ...).

Nizkošumni predojačevalnik je pred vremenskimi vplivi treba zaščititi z vodotesnim ohišjem, signale pa po dobrem 50-ohmskem koaksialnem kablu (mi smo uporabili kabel TriLan) spraviti do preostalega dela sprejemne verige, ki naj ne bo predaleč stran (nekaj metrov koaksialnega kabla ni problem, prevelike dolžine pa prinesejo znatno slabljenje signala). Tudi sprejemni lonec je potrebno na odprtem delu pokriti s plastičnim/pleksi pokrovom, da se v njem ne nabira voda. kadar je antena pospravljena in je lonec obrnjen navzgor

Preostala sprejemna veriga sestoji iz pasovnoprepustnega filtra za 1420 MHz, dveh ojačevalcev za ojačanje signalov satelitske TV in USB-ključka za sprejem DVB-T, ki deluje kot univerzalen radijski sprejemnik. Tega ne zmore kar vsak ključek, zato moramo biti pri nakupu pozorni, da izberemo pravega. Bistveno je, da ima ključek v drobovju čip Realtek RTL2832U, ki mu družbo dela mešalnik, ki zmore nastaviti frekvenco na 1420 MHz: trenutno so takšni čipi Elonics E4000, Rafael Micro R820T ali R828D. Za omenjeni čip Realtek RTL2832U potrebujemo nato le še računalniški gonilnik, ki zna vključiti razhroščevalni način delovanja, v katerem čip ne dekodira TV signala, temveč računalniku pošilja surove signale, ki jih lahko s programi poljubno obdelamo. Vse našteje komponente je treba povezati skupaj, kar pa ni povsem preprosto, saj so si priključki na napravah različni. Tako potrebujemo adapter s konektorja na USB-ključku na konektor tipa F in dva DC-sklopnika, ki v ustrezen odsek sprejemne verige pripeljeta enosmerno napetost za napajanje obeh dodatnih ojačevalcev, hkrati pa preprečita, da bi ta enosmerna napetost poškodovala sprejemnik ali povzročila kratek stik na situ.



Vse glavne komponente sprejemne verige, na sliki manjkajo le povezovalni koaksialni kabli.

Dimenzije ohišja sita in dolžine resonatorjev v njem smo izračunali s spletnim obrazcem na strani <http://www.wa4dsy.net/cgi-bin/idbpf> (tam lahko prenesete tudi kodo C++ programa, ki v ozadju spletne strani opravi izračun), sito pa smo nato izdelali sami. Sestoji iz medeninaste škatle dolžine 11.5 cm, širine 5.28 cm in višine 4 cm, v kateri so trije kovinski "prsti" debeline 1 cm, ki štrljijo v škatlo, pritrjeni pa so na stranski daljši stranici, po višini centrirani, pri čemer je srednji prst pritrjen z nasprotne strani kot robna. Med seboj so prsti razmaknjeni za 4.25 cm, skrajna dva pa sta 1.5 cm odmaknjena vsak od svojega roba škatle. Robna prsta sta dolga 4.44 cm, srednji pa 4.322 cm. Na nasprotni stranici škatle pripravimo luknje za vijake, ki ležijo nasproti vsakemu prstu in služijo finemu ugaševanju filtra. Na krajši stranici filtra pritrđimo konektorja, ki ju s kovinskim trakom povežemo vsakega s svojim robnim prstom. Priključno mesto na prstu določa impedanco vhoda oz. izhoda filtra: za 50 Ω mora biti priključek na prst povezan 0.53 cm od stene škatle, za 75 Ω pa 0.65 cm od stene. Naše sito je narejeno tako, da ima na vhodni strani impedanco 50 Ω (kar je standard za večino profesionalnih in radioamaterskih radijskih naprav ter s tem tudi za naš nizkošumni predojačevalnik) in na izhodni strani 75 Ω (kar je standard za televizijsko tehniko). Pasovna širina našega sita je 111 MHz, kar je morda nekoliko preširoko in lahko se zgodi, da bomo zaradi radijskih motenj iz okolice sito zamenjali z ožjim (pasovna širina okoli 20 MHz).



Pogled v nameščeno omarico, v kateri domuje večina elektronike. Zraven se vidi "hobotnica" kablov, ki povezujejo periferne naprave

(predojačevalnik, motor, senzor) z omarico in dovajajo napajanje ter mrežni dostop do računalnika.

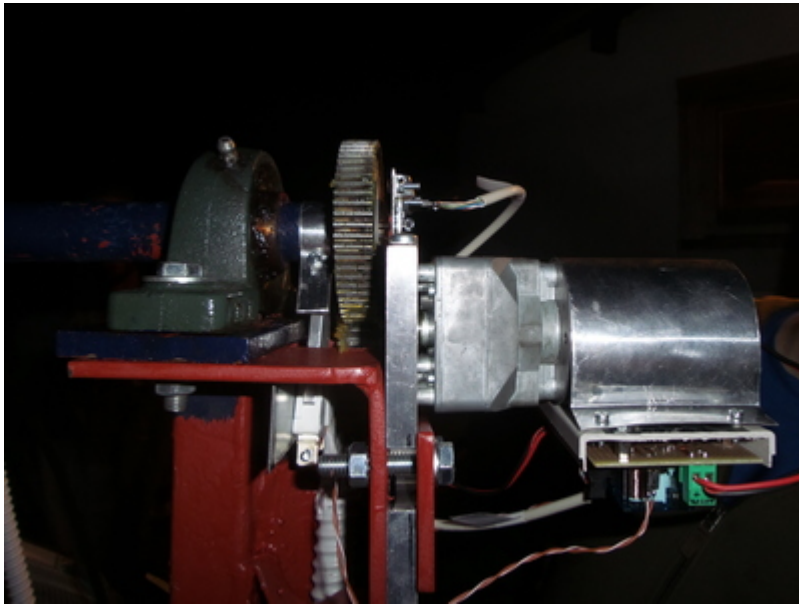
Možgane našega teleskopa predstavlja mali računalnik Raspberry Pi, ki poleg tega, da sprejema signal z USB DVB-T ključka, krmili tudi elevacijo antene. Ta je namreč pritrjena na stojalo, ki omogoča le obračanje po elevaciji, saj nam razmeroma širok snop antene (približno 10°) omogoča, da posamezni objekt spremljamo tudi do pol ure, preden nam zaradi vrtenja Zemlje uide iz polja. Tako z nastavitvijo elevacije (ker je antena obrnjena v smeri sever-jug, tako neposredno izbiramo kar deklinacijo) in s čakanjem na primerno uro dneva lahko opazujemo poljuben del neba. Krmiljenje elevacije smo izvedli preko priključkov GPIO (angl. General Purpose Input/Output) na Raspberry Pi. Dva releja preklapljata smer obračanja elektromotorja, s pulzno-širinsko modulacijo pa krmilimo hitrost vrtenja motorja, da počasi pospešimo anteno in jo nato spet počasi ustavimo. Kót, kam je antena obrnjena, zaznavamo s senzorjem AS5048, ki s hallovimi sondami meri orientacijo magnetnega dipola, ki je pritrjen na os antene. Senzor in računalnik se pogovarjata po SPI protokolu preko priključkov GPIO. Kodo za krmiljenje teleskopa lahko dobite na naslovu <http://software.ad-vega.si/>, sprejem signala z USB DVB-T ključka in pretvorbo signala v spekter (FFT) pa lahko na sistemu GNU/Linux opravite bodisi s programom [gnuradio](#) ali pa z [rtl-sdr](#).

Sprejemno verigo radijskega teleskopa, računalnik in napajanje smo pospravili v električno omarico, ki nam jo je prijazno podarilo podjetje Telmak d.o.o. iz Logatca. Komunikacijski (ethernet) kabel za teleskop pa nam je prijazno podarilo podjetje eTech Trade Center d.o.o.

Stojalo smo izdelali iz železnih profilov 30×30×2mm; skupno smo porabili 4 cevi, dolge 6m. Stojalo je zasnovano tako, da na tleh leži kvadrat s stranico okoli 2 m, z nasprotnih vogalov kvadrata pa štrliita navpična drogova, ki podpirata ležaja osi teleskopa. Na enem od drogov sta še pritrdišči za motor in omarico z elektroniko. Za protiutež antene smo uporabili kar dve stari avtomobilski platišči. Motor za obračanje osi, njegov krmilnik in senzor zasuka osi so pred padavinami zaščiteni s škatlo iz pleksi stekla.



Antena, obešena na stojalu. Manjkajo še protiutež, sprejemni lonec, motor in vsa elektronika. Lepo se vidi pritrdilni sistem za sprejemni lonec.



Motor in prenos za obračanje elevacijske osi. Pogled s strani, na vrhu se vidi senzor zasuka osi.