

ASTRONOMIJA

Raziskovalna naloga:

SLIKA NEBA V RADIJSKEM SPEKTRU

VODIKOVE ČRTE

Oskar Mlakar, Nejc Kotnik

3.e

Mentor: Andrej Lajovic

Somentor: Klemen Blokar

2016

Gimnazija Šentvid

Kazalo

Zahvala.....	4
Uvod.....	5
Teoretični del.....	6
Vodikova črta.....	6
Kaj je vodikova črta?.....	6
Kako nastane?.....	6
Radijski teleskop.....	8
Kaj je radijski teleskop?.....	8
Zgodovina radijskih teleskopov	8
Gradnja radijskega teleskopa.....	9
Sprejemna veriga.....	10
Sprejemnik.....	10
Nizkošumni ojačevalec, filter in TV - ojačevalci.....	11
Eksperimentalni del.....	12
Meritve.....	12
Označevanje teles na nebu.....	12
Merjenje.....	12
Merjenje odziva sprejemnika.....	12
Avtomatizirano merjenje neba.....	13
Slika.....	14
Sestava slike.....	14
Programi.....	14
Program za izvajanje meritev - MeritevRT.py.....	14
Sestava programa.....	14
Potek programa.....	15
Program za izdelavo karte - karta.py.....	15
Program za izris karte - nalozi_karto.py.....	16
Rezultati.....	16
Razprava.....	18
Viri.....	21
Priloge.....	22
Programi.....	22

Kazalo slik

Šentviški radijski teleskop.....	9
Omarica radijskega teleskopa.....	10
Notranjost omarice z ojačevalci, sitom in računalnikom.....	10
Antena Šentviškega teleskopa.....	13
Dobljena slika Rimske ceste.....	17
Meritev Rimske ceste v bližini ozvezdja Dvojčka, tu opazimo en sam rokav galaksije.....	19
Meritev Rimske ceste v bližini Velikega psa, dobro vidna sta dva rokava galaksije.....	19
Meritev Rimske ceste v ozvezdju Laboda, opazimo tri rokave galaksije.....	20

Seznam prilog

karta.py.....	22
MeritevRT.py.....	24
nalozi_karto.py.....	26
merilec.py.....	27
parametri.py.....	29

Zahvala

Želiva se zahvaliti izjemnima mentorjema Andreju Lajovicu in Klemnu Blokarju za pomoč pri delu in za strokovno pomoč, brez katere ta raziskovalna naloga ne bi bila mogoča.

Uvod

Za raziskovalno nalogo sva se odločila, ker smo na astronomskem krožku izdelovali radijski teleskop, naju pa je zanimalo kaj ta reč sploh je, kako in za kaj se jo uporablja. Zato sva se s pomočjo mentorjev Andreja in Klemna dodatno poučila o uporabi radijskih teleskopov in vodikovi črti. Prav tako sva nadgradila svoje znanje na področju programiranja, da sva lahko napisala potrebne programe za avtomatično merjenje z radijskim teleskopom in za pretvorbo surovih podatkov (meritev) v sliko. Potem sva morala izvesti samo še meritve. Pri meritvah je prišlo do marsikaterih težav, od odpovedi sprejemnega ključka do ukrivljene osi teleskopa, vendar nama je na koncu uspelo dobiti sliko našega neba v radijskem spektru vodikove črte. S sliko sva zelo zadovoljna, saj se na njej vidi več kot samo Rimska cesta, motenj pa skorajda ni.

Teoretični del

Vodikova črta

Kaj je vodikova črta?

Vodikova črta imenujemo elektromagnetno valovanje, ki ga sevajo atomi nevtralnega vodika (en sam nevtralen atom vodika H, v nasprotju z molekulsko obliko H₂). Vodikova črta ima frekvenco 1420.405751786 MHz in valovno dolžino v vakuumu 21.106 cm; to jo uvršča v mikrovalovni del elektromagnetnega valovanja. Ljudje takega sevanja ne moremo zaznati s prostimi očmi, saj oči zaznavajo samo delček spektra elektromagnetnega valovanja, ki obsega valovne dolžine od 390 do 700 nm.

Kako nastane?

Vsakemu osnovnemu delcu lahko pripišemo lastnost spina, ki se kaže kot njemu lastna vrtilna količina, ki pa ni povezana z dejanskim vrtenjem delca. Atom vodika je sestavljen iz protona in elektrona in vsak od teh delcev ima svoj spin. Njuna spina sta lahko zaradi kvantnih pravil bodisi vzporedna ali nasprotna (ni vmesnih stanj). Ena od orientacij ima višjo potencialno energijo (ki jo gre razlikovati od gravitacijske potencialne energije) kot druga. Razlika energij se pri prehodu iz stanja z višjo energijo v stanje z nižjo izseva v obliki elektromagnetnega valovanja - vodikove črte.

Do omenjenega prehoda med obema energijskima stanjema bi glede na zakon o ohranitvi vrtilne količine ne smelo priti, saj na sistem elektron - proton ne deluje nobena zunanja sila. Zato tega in podobne prehode imenujemo prepovedani prehodi. A v svetu majhnih delcev, ki ga dobro opiše kvantna mehanika, velja, da se z določeno (zelo majhno) verjetnostjo lahko zgodijo tudi ti prepovedani prehodi. Razliko lahko ponazorimo s primerom vrtiljaka brez trenja in upora: če ga zavrtimo v neko smer, se mora odtlej vrteti v isto smer, razen ob vplivu drugih sil nanj (zaviranje, pospeševanje). Pri zelo majhnih delcih pa lahko pride do spremembe v vrtilni količini tudi v odsotnosti zunanjih delavnikov.

Na Zemlji tega prehoda med stanji vodika ne moremo opaziti, saj mora biti atom vodika dovolj

oddaljen od drugih delcev, da ne pride do stika z njimi in s tem do izmenjave energije. Delcev pa mora biti hkrati dovolj, da se prehod zgodi dovoljkrat, da ga je možno zaznati. Laboratoriji na Zemlji za take poskuse niso dovolj veliki in tudi ne morejo ustvariti dovolj dobrega vakuuma. Vesolje pa je ogromen prostor, v katerem je zelo redko razporejenih veliko atomov vodika. Zaradi velikih količin vodika v vesolju se kljub majhni verjetnosti prehodi med stanji zgodijo dovolj pogosto, da jih lahko opazimo.

Ko nebo opazujemo v spektru vodikove črte, vidimo oblake hladnega vodika, v katerih se jo vodik ohladil do te stopnje, da seva samo še v področju vodikove črte. Če bi poskušali take oblake pogledati skozi običajen teleskop, jih ne bi videli.

Prva prednost opazovanja z radijskim teleskopom je ta, da lahko z njim zaznamo vodikovo črto, v katerem lahko vidimo objekte, ki jih s prostimi očmi ne bi mogli videti. Druga prednost takega opazovanja pa je lastnost te vrste mikrovalovnega sevanja, da ga ne ovirajo atmosfera in vremenski pojavi. Tako lahko opazujemo tudi v slabem vremenu, ko bi bilo opazovanje z optičnimi teleskopi nemogoče.

Radijski teleskop

Kaj je radijski teleskop?

Radijski teleskop je usmerjena radijska antena, uporabljana v radio astronomiji. Od optičnih teleskopov se razlikujejo v tem, da zaznavajo radijske frekvence v radijskem spektru. Antene radijskih teleskopov so ponavadi parabolične oblike.

Zgodovina radijskih teleskopov

Prvi radijski teleskop je bil zgradil Karl Guthe Jansky, leta 1932. Jansky je dobil nalogo odkriti izvore šuma, ki bi lahko motili telefonsko komunikacijo. Njegov detektor je bil sklop anten s polmerom 30 m in višino 6 m, narejen z namenom sprejemanja kratkovalovnega valovanja s frekvenco 20.5 MHz (valovno dolžino 14.6 m). Obračal se je s pomočjo štirih pnevmatik, kar je teleskopu omogočalo sprejemanje radijskih valov iz poljubne smeri.

Radioamater Grote Reber je bil eden izmed pionirjev v radioastronomiji, ko je zgradil prvi radijski teleskop v obliki krožnika (parabolične oblike) na svojem dvorišču leta 1937. Bil je tudi prvi, ki mu je uspelo posneti sliko neba med 30 in 300MHz (High frequency). K hitremu razvoju radijske astronomije je prispeval tudi hiter razvoj radarske tehnologije med 2. svetovno vojno, kar se je po vojni z lahkoto preneslo v hiter napredek radijske astronomije.

V radijski astronomiji se opazuje zelo širok del radijskega spektra, temu primeren je tudi nabor anten (razlikujejo se v zasnovi, velikosti in nastavitvi). Kotna ločljivost antene v obliki krožnika je določena s polmerom krožnika, izraženim v valovnih dolžinah opazovanega elektromagnetnega sevanja. To pomeni, da mora biti velikost krožnika radijskega teleskopa vsaj določene minimalne velikosti, da lahko z njim dobimo uporabno ločljivost.

Trenutno največji radijski teleskop na svetu je teleskop v Arceibu (Portoriko) s premerom 305 m in je zaradi svoje velikosti zgrajen v vrtači. Leta 2011 je začela Kitajska graditi radijski teleskop s premerom 500 m v provinci Guizhou na jugozahodu Kitajske. Teleskop naj bi bil končan leta 2016 in bo trikrat bolj občutljiv (in bo zato lažje zaznal šibkejša radijska valovanja) kot trenutni prvak v Arceibu. Največji radijski teleskop z enim krožnikom v Evropi pa je 100-metrski radijski teleskop v

Effelsbergu v bližini Bonna (Nemčija), s katerim upravlja Inštitut Maxa Plancka za radijsko astronomijo in je največji premični radijski teleskop na svetu. Ljudje smo od leta 1965 v vesolje poslali 3 radijske teleskope (1965 - ruski teleskop z imenom Zond 3, 1997 - japonski HALCA in leta 2011 - drugi ruski teleskop Spekt-R).

Radijsko opazovanje pa ima tudi na Gimnaziji Šentvid kar dolgo tradicijo. Pred 19 leti sta Marko Cedilnik in Tomaž Goslar naredila raziskovalno nalogo z naslovom "Prvi koraki radijske astronomije v Sloveniji" kjer sta sestavila preprost radijski teleskop, s katerim sta merila radijski signal iz središča Rimske ceste in zaznala povišano aktivnost, ko je ozvezdje Strelca prečkalo krajevni poldnevnik.

Gradnja radijskega teleskopa

Radijski teleskop smo izdelali pri astronomskem krožku Gimnazije Šentvid s pomočjo članov Astronomskega društva Vega - Ljubljana. Idejo smo dobili iz članka o cenovno ugodnem radijskem teleskopu, v katerem je Marcus Leech opisal izdelavo preprostega sprejemnika za zaznavanje vodikove črte iz Rimske ceste. Glavni del teleskopa je USB DVB-T ključek za sprejem digitalne televizije, ki služi kot sprejemnik radijskih valov od 24 MHz do 1850 MHz, kar zajema tudi območje vodikove črte. Za sprejem signalov iz galaksije pa potrebujemo tudi dovolj veliko anteno (večja ko je, večja je ločljivost teleskopa). Antena našega teleskopa ima premer 1,9 metra in goriščno razdaljo 0,8 metra. Izdelana je iz aluminijastih naper, ki so prekrite s kovinsko mrežo, v kateri so odprtine mnogo manjše od valovne dolžine vodikove črte in se zato obnaša kot zrcalo. Valovanje se zato od nje odbije in zbere v gorišču.



Slika 1: Šentviški radijski teleskop.

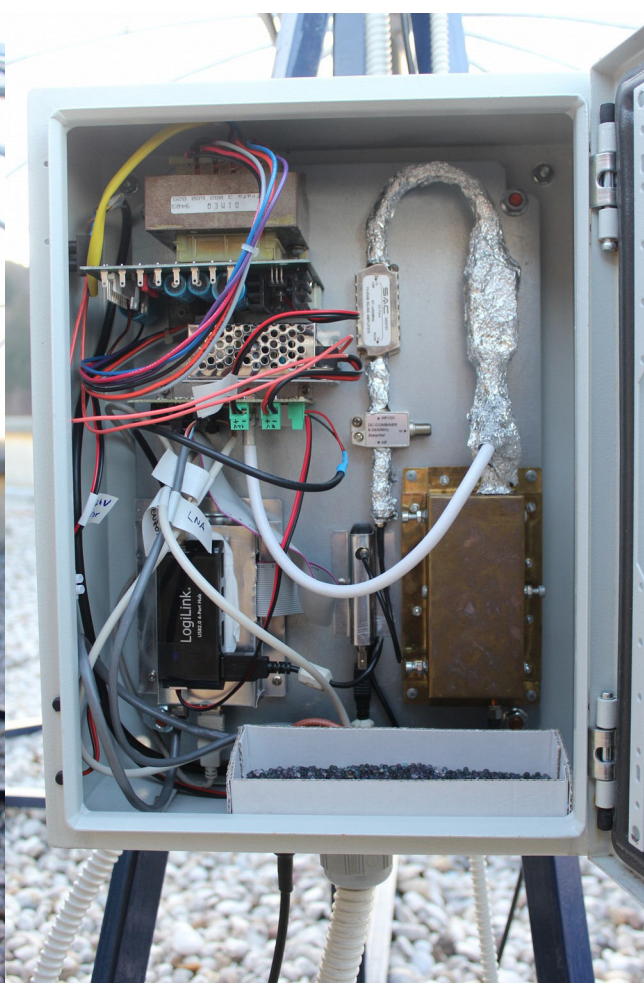
Sprejemna veriga

Sprejemnik

Sprejemni lonec antene je izdelan po predlogi radioamaterja VE4MA ("lonec z dušilnim ovratnikom"). Mere sprejemnega elementa so odvisne od razmerja med goriščno razdaljo in premerom parabole (f/D) in 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 primerne lonec s premerom 0.76λ in dolžino 1.41λ , premer ovratnika pa je $1,96 \lambda$. Lonec je na anteno pritrjen tako, da je gorišče parabole 4,7 centimetrov znotraj ustja lonca.



Slika 2: Omarica radijskega teleskopa.



Slika 3: Notranjost omarice z ojačevalci, sitom in računalnikom.

Nizkošumni ojačevalec, filter in TV ojačevalci

Nizkošumni ojačevalec (LNA, angl. *low noise amplifier*) je varno spravljen v vodotesni škatli na sprejemnem loncu in je z nekajmetrskim kablom povezan z omarico z drugimi deli. Signal je iz nizkošumnega ojačevalca speljan v sito - filter, ki prepušča samo frekvence okoli 1420 MHz. Filtru sledita dva ojačevalca televizijskega signala, iz katerih je signal speljan v USB DVB-T ključek (taki ključki se uporabljajo za sprejem digitalne televizije), ki v našem primeru deluje kot univerzalen radijski sprejemnik in je priključen na računalnik Raspberry Pi, na katerega se opravljene meritve zapisujejo.

Eksperimentalni del

Meritve

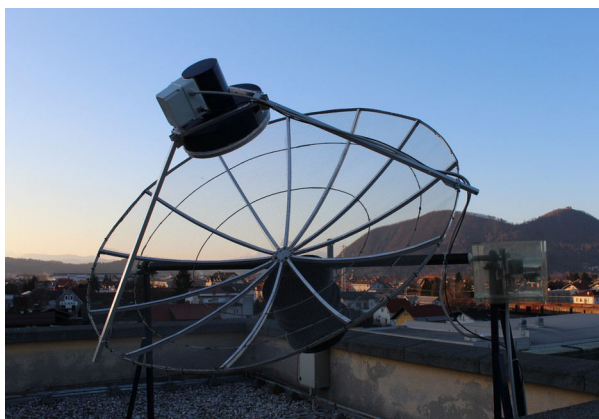
Označevanje teles na nebu

Za označevanje lege nebesnih teles se v astronomiji uporablja koordinatni sistem z deklinacijo in rektascenzijo. Deklinacija in rektascenzija povesta pozicijo telesa na nebesni krogli podobno kot na geografskih zemljevidih označujemo lokacije s koordinatami v geografski dolžini in geografski širini. Nebesna krogla je navidezna vrteča se krogla, ki se vrti okoli iste osi kot zemlja, na njo pa so pripeta nebesna telesa. Če Zemljin ekvator preslikamo na nebesno kroglo, dobimo nebesni ekvator. Če na nebesno kroglo preslikamo ravnino kroženja Zemlje okoli Sonca, pa dobimo krožnico, ki jo imenujemo ekliptika. Ti dve krožnici se sekata v dveh točkah, od katerih eni pravimo pomladišče, drugi pa jesenišče. Deklinacija pove, koliko stopinj nad ali pod nebesnim ekvatorjem se nahaja objekt, rektascenzija pa, koliko je objekt oddaljen (v smeri vzhod-zahod) od izhodiščnega poldnevnik - črte, ki povezuje severni in južni nebesni pol in poteka skozi pomladišče.

Merjenje

Merjenje odziva sprejemnika

S prvimi meritvami smo začeli že konec oktobra, ko smo izmerili odziv sprejemnika. Teleskop smo usmerili v del neba, od katerega je bila takrat Rimska cesta najbolj oddaljena in smo zato od nje prejeli najmanj (nič) sevanja. To meritev smo uporabili kot referenčno meritev brez signala, kar nam je omogočilo, da smo lahko meritve normirali glede na relativno občutljivost našega sprejemnika za različne frekvence. Šum, ki smo ga tako namerili, izvira zgolj iz našega sprejemnika.



Slika 4: Antena Šentviškega teleskopa.

Avtomatizirano merjenje neba

Proces merjenja smo avtomatizirali. V ta namen sva napisala program, ki obrača anteno v korakih po pet stopinj in na vsaki lokaciji meri signal po trideset sekund. Podatke o meritvi zapiše v datoteko, ki jo poimenuje z datumom in uro meritve, številko cikla, številko rezine ter deklinacijo. Cikli povejo, katera ponovitev meritev je to (cikel '0' pomeni, da so meritve iz tega cikla prve, cikel '3' pa pomeni, da so se te meritve začele po treh zvezdnih dneh od začetka merjenja).

Cikel meritev poteka tako, da meritve začnemo pri določeni rektascenziji (ponavadi 12h ali 0h) in nato v korakih po 5 stopinj deklinacije snemamo nebo. Ker ima naš teleskop relativno širok snop (7 stopinj) lahko meritve v karto vstavljamo vertikalno po rektascenzijah, če jih posnamemo v času, ki ga zemlja potrebuje, da se zavrti za 5 stopinj, kar je 20 minut. Tako mora teleskop izvesti 26 meritev in se spustiti nazaj v začetno lego pri 10 stopinjah nad obzorjem v dvajsetih minutah.

Vsako meritev obdelamo tako, da jo normiramo na prej izmerjeno referenčno meritev brez signala, nato pa še glede na prvo točko v spektru. Tako dobimo graf meritve, kjer vidimo, kolikokrat je signal Rimske ceste pri določeni frekvenci močnejši od šuma sprejemnika. Nato izračunamo ploščino pod grafom in tako dobimo moč, ki smo jo v tisti meritvi sprejeli iz opazovanega polja. Sprejeta moč je izražena kot večkratnik moči šuma sprejemnika. Tako lahko primerjamo relativno moč posameznih delov neba glede na šum sprejemnika. Vsako meritev nato vzamemo in jo umestimo na karto glede na deklinacijo in rektascenzijo.

Slika

Sestava slike

Slika je mreža meritev, široka 72 enot in visoka 37 enot, v kateri so stolpci označeni z rektascenzijo, vrstice pa z deklinacijo. Slika je povprečje treh ciklov meritev, saj smo tako lahko zmanjšali večino nekonstantnih motenj pri meritvah. Zaradi Šentviškega hriba se meritve končajo pri deklinaciji -35 stopinj (10 stopinj nad obzorjem).

Ker se kraki naše galaksije premikajo z različnimi hitrostmi, so zaradi Dopplerjevega pojava frekvence oddanega valovanja lahko različne, kar se na grafu meritve opazi kot več vrhov. Dopplerjev pojav je fizikalni pojav, pri katerem zaradi gibanja opazovalca, opazovanega telesa ali gibanja obeh nastane navidezna razlika v valovni dolžini elektromagnetnega valovanja. Če se opazovano telo giblje proč od opazovalca, se valovna dolžina navidezno poveča, če pa se giblje proti opazovalcu, pa se valovna dolžina navidezno zmanjša.

Programi

Za izvajanje in obdelavo meritev imamo tri programe, napisane v pythonu: MeritevRT.py, karta.py in naloz_i_karto.py.

Program za izvajanje meritev - MeritevRT.py

Sestava programa

Program MeritevRT.py je program, ki izvaja meritve z radijskim teleskopom in jim pripiše čas in datum meritve, številko cikla, številko rezine ter deklinacijo teleskopa. Za izvajanje program potrebuje knjižnice datetime, sys, pause ter parametre iz datoteke parametri.py in funkcije iz datoteke merilec.py. V datoteki parametri.py so zapisane konstante, kot so čas meritve in trajanje zasuka iz končne lege pri 135 stopinjah elevacije (deklinacija 90 stopinj) na začetno lego pri 10 stopinjah elevacije (deklinacija -35 stopinj). Definirana sta tudi število korakov, ki pove kolikokrat naj se teleskop premakne za 5 stopinj, in število rezin po rektascenziji. Koraki in rezine so razmaknjeni po 5 stopinj, zato je korakov 26, rezin pa 72. Definirana je tudi dolžina zvezdnega

dneva (23.9344699 ur), ki jo potrebujemo za izračun trenutka, v katerem se začne cikel meritev. V program je vključenih več zakasnitev, saj je natančen čas premikanja teleskopa težko predvideti. Z zakasnitvami tako pridobimo rezervni čas in lahko tudi v primeru zaostajanja motorčka ohranimo meritve točne. Vse, kar program počne, je izvedeno znotraj bloka *try*, ki v primeru napake pri izvajanju javi napako in pospravi radijski teleskop v lego mirovanja in ugasne LNA.

Potek programa

Prva stvar, ki se v programu zgodi, je vklop radijskega teleskopa deset minut pred začetkom prve meritve. Radijski teleskop vklopi, da se komponente lahko ogrejejo in stabilizirajo, nato pa čaka do začetka prve meritve. Program nato vstopi v zanko ciklov, kjer določimo, kolikokrat se bodo meritve ponovile, v zanki ciklov je zanka rezin, v zanki rezin pa zanka korakov, ki se po opravljeni meritvah vrne nazaj v zanko rezin. Zanka rezin se po enem zvezdnem dnevu vrne v zanko ciklov. V zanki korakov se najprej izračuna trenutna deklinacija teleskopa, nato teleskop počaka do trenutka, ko se meritve začne izvajati. Po izvedeni meritvi se izmerjene vrednosti zapišejo v datoteko s končnico *‘.dat’*, sprotne sporočila programa o stanju pa v datoteko s končnico *‘.err’*. Zanka korakov se ponovi 26-krat in nato preide v zanko rezin ko premakne teleskop v začetno lego. Zanka rezin se ponovi 72-krat in nato vrne v zanko ciklov, kateri lahko določimo ponovitve. Ko se zanka ciklov konča, program ugasne LNA in pospravi anteno v lego mirovanja.

Program za izdelavo karte - karta.py

Program *karta.py* ustvari podatkovno strukturo, ki jo potrebujemo za izdelavo slike. Za delovanje potrebuje knjižnice *pickle*, *glob*, *os*, *numpy* in *matplotlib.pyplot*. Programu na začetku podamo lokacije datotek z meritvami, ki jih želimo vključiti v sliko, skupaj z začetno rektascenzijo posameznega cikla meritve. Program ima definirane funkcije *odstevanje*, *sestevanje*, *oznacevanje*, *premik* in *povprecenje*, ki jih pozneje kličemo za obdelavo meritev. Program se začne s funkcijo *premik*, ki naredi prazno dvodimenzionalno tabelo, široko 72 polj in visoko 37 polj. Program nato s funkcijo *glob* prebere meritve iz enega cikla meritev in jih obdela s funkcijami *odstevanje*, *sestevanje* in *oznacevanje*. *Odstevanje* od vseh vrednosti v meritvi odšteje prvo vrednost. Graf take meritve bi v odsotnosti signala iz Rimske ceste ležal na abscisni osi. Funkcija *odstevanje* vrne podatke funkciji *sestevanje*, ki jih pretvori iz spektralne gostote moči v decibelih na hertz v vsoto

moči, izraženo kot večkratnik moči šuma sprejemnika. Funkcija *oznacevanje* iz imena meritve razbere rektascenzijo in deklinacijo meritve, ki ju vrne funkciji *premik*. *Premik* dobljene vsote moči vnaša v tabelo glede na njihovo rektascenzijo in deklinacijo. Ko se zapolnjevanje konča, imamo karto enega cikla meritev, ki ga program s funkcijo *pickle* shrani v datoteko *podatki.pickle*, nadaljuje delo na naslednji lokaciji meritev in ponavlja risanje karte, dokler ne obdela vseh lokacij.

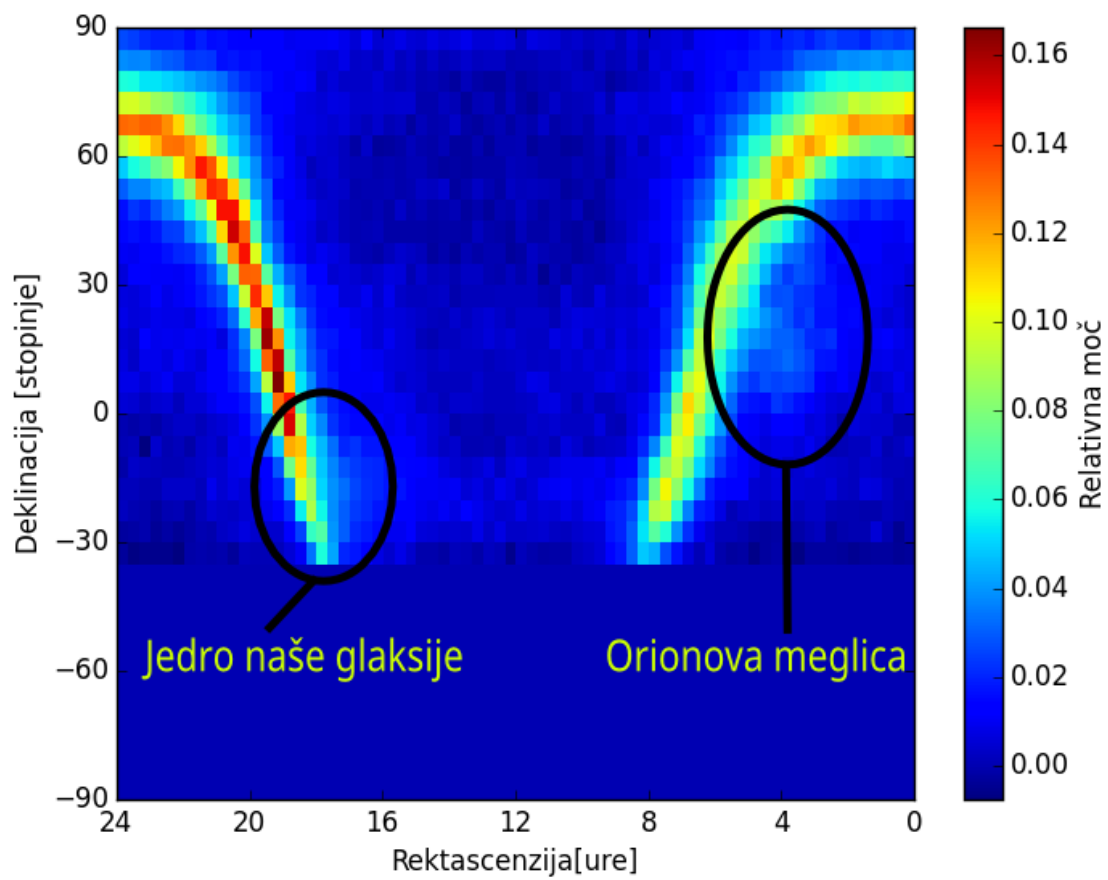
Program za izris karte - nalozi_karto.py

Program *nalozi_karto.py* potrebuje knjižnice *pickle*, *numpy* in *matplotlib.pyplot*. Programu lahko povemo tudi, katere meritve so slabe (posledica motenj, ki pokvarijo meritev). Program odpre prej shranjeno datoteko *podatki.pickle* in karte postavi eno na drugo in jih med seboj povpreči, pri tem pa izvzame meritve z motnjami. Končni rezultat je povprečena slika z manj motnjami in z lestvico relativne moči glede na šum sprejemnika. Lestvico relativne moči dobimo tako, da od prej izračunanega razmerja signal/šum odštejemo 1.

Rezultati

Rezultat naših meritev je slika neba v radijskem spektru vodikove črte. Slika obsega 360 stopinj po rektascenziji (v 72 rezinah po 5°) in 125 stopinj po deklinaciji (v 27 korakih po 5°), skupno je torej sestavljena iz 1872 merilnih točk. Jakost signala je predstavljena z barvami: toplejše barve pomenijo več sprejetih radijskih valov, hladnejše barve pa manj.

Za primer prilagava še nekaj spektrov iz različnih lokacij, kar prikazuje različno strukturo Rimske ceste na različnih lokacijah.



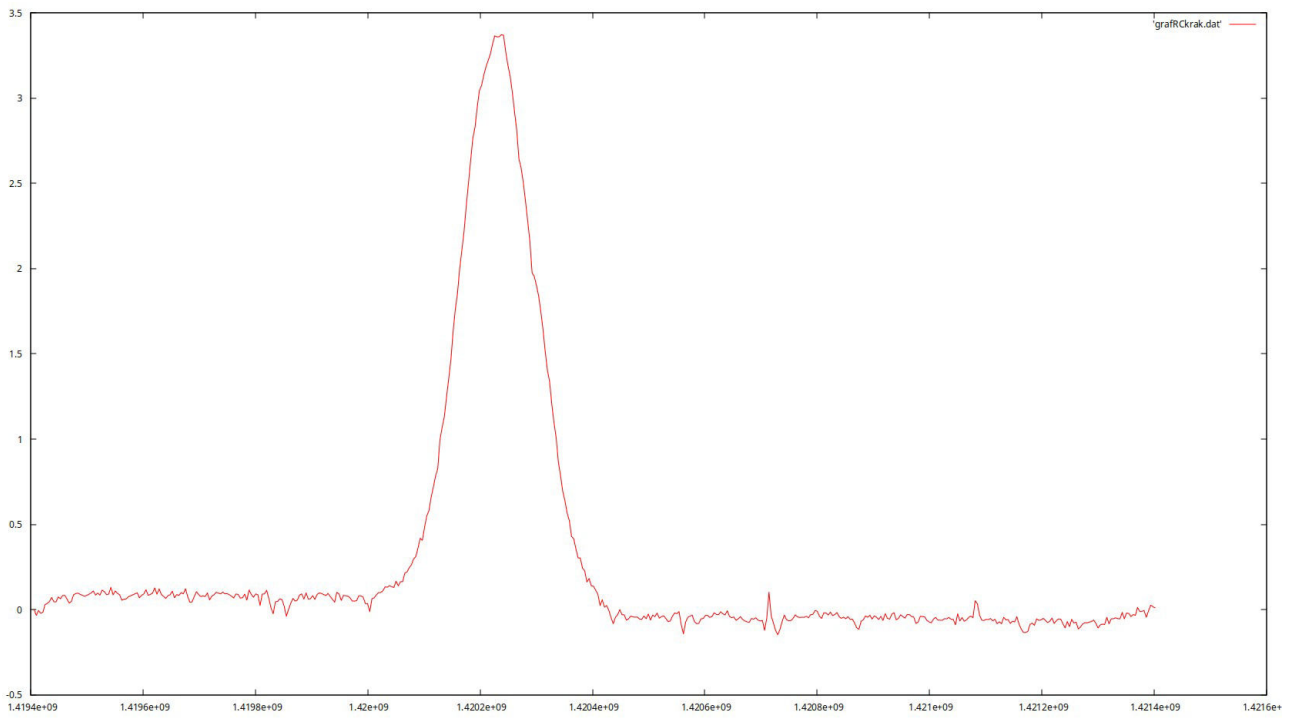
Slika 5: Dobljena slika Rimske ceste.

Razprava

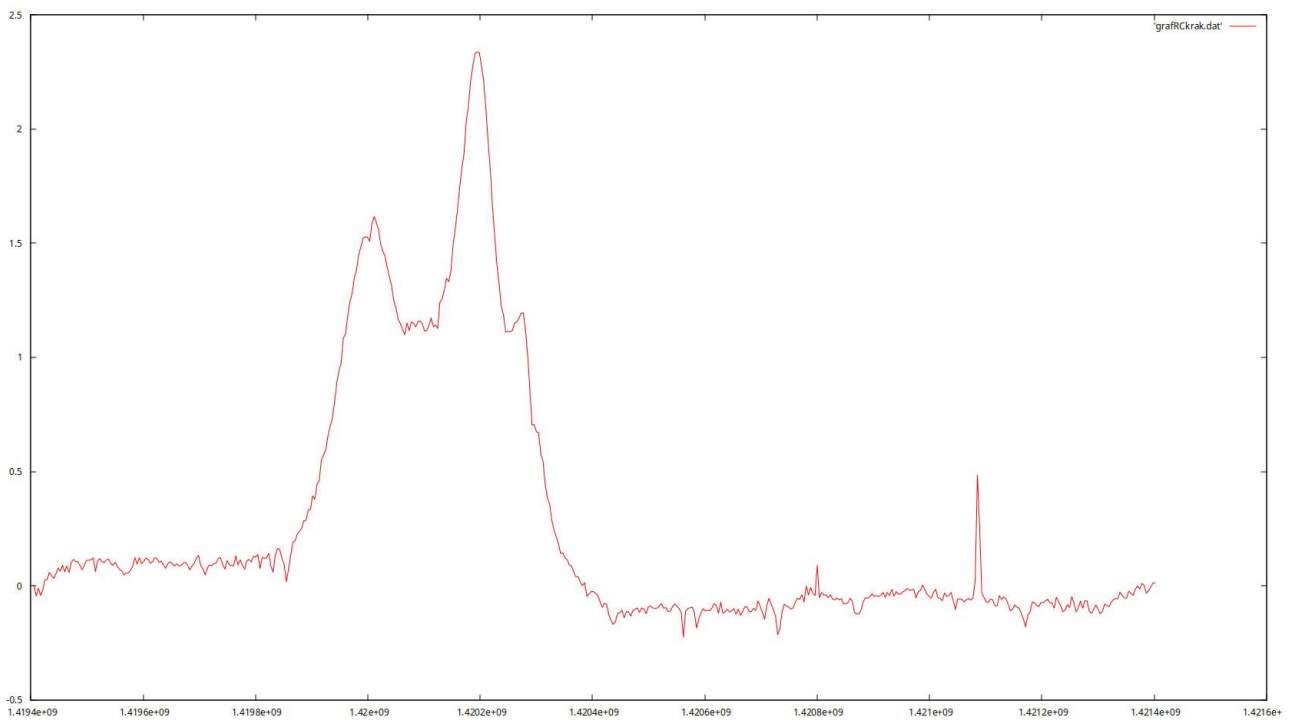
Na sliki je vidna Rimska cesta, ki se jo opazi kot svetlejši pas. Zaradi uporabljene projekcije je oblika pasu videti nenavadna, a v resnici gre le za valjno projekcijo velikega kroga Rimske ceste. Slika sega od deklinacije 90° do deklinacije -35° . Spodnjo mejo deklinacije nam določa naša geografska lega (45 stopinj severno od ekvatorja), še dodatno pa smo pri merjenju omejeni s Šentviškim hribom, ki nam preprečuje pogled nižje od -35° , zato je ta del slike prazen. Ko se približamo deklinaciji -35° , se razmerje signal/šum začne kvariti zaradi toplotnega sevanja Šentviškega hriba. S tem upade relativna moč signala, zato to območje karte ne pokaže pravih vrednosti. Krak Rimske ceste, ki gre od Laboda proti Strelcu, je najmočnejši, kar se ujema s tem, da gledamo v smeri proti notranjosti naše galaksije.

Ob pasu Rimske ceste na sliki lahko opazimo dve odebelitvi, ki ustrezata Orionovemu oblaku in središču naše galaksije. Večja je zadebelitev zaradi Orionovega oblaka, manjša pa zaradi središča galaksije. Razlika je tudi posledica tega, da je središče galaksije v naših krajih nizko nad obzorjem in so zato zaradi bližine vročega obzorja tam meritve slabše.

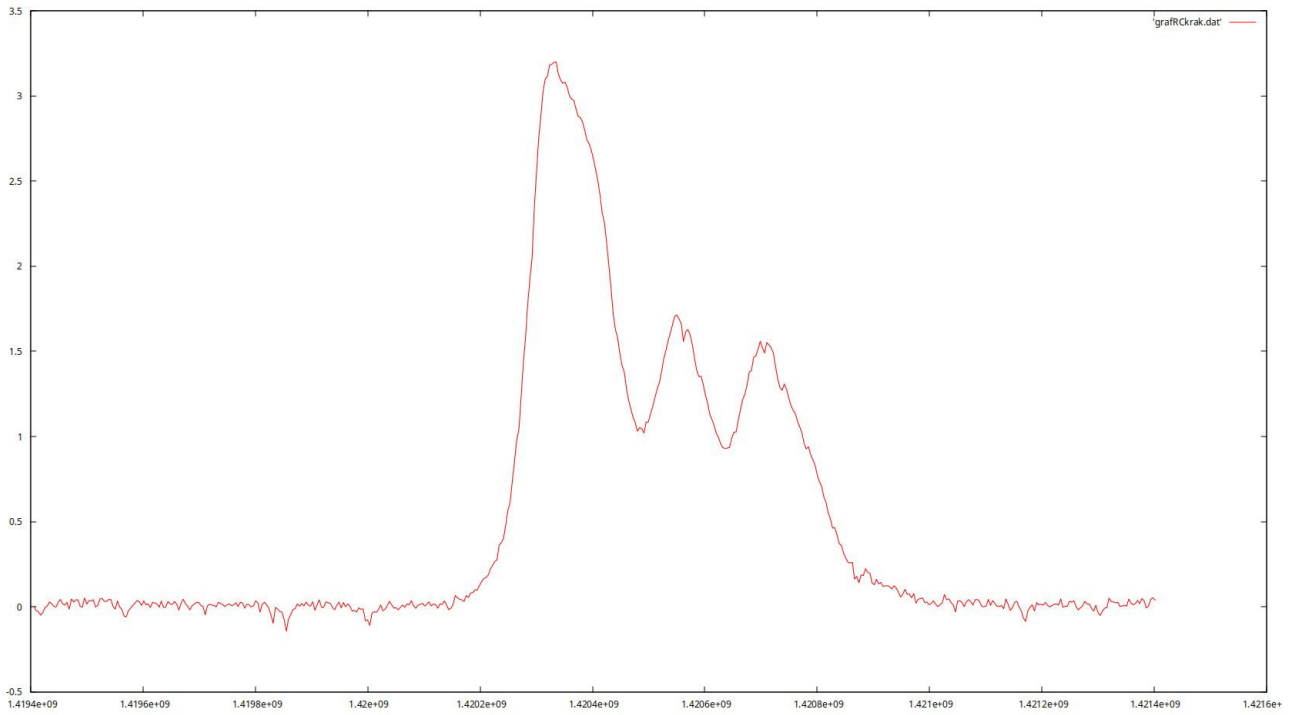
Če namesto celega zemljevida neba pogledamo posamezne spektre meritev na različnih delih Rimske ceste, lahko opazimo, da ima naša galaksija več krakov, ki jih zaznamo pri različnih valovnih dolžinah, kar je posledica Dopplerjevega pojava, saj se glede na nas premikajo z različnimi hitrostmi. Na grafu se zaradi tega oblikuje več vrhov, od katerih vsak predstavlja enega izmed rokavov Rimske ceste.



Slika 6: Meritev Rimske ceste v bližini ozvezdja Dvojčka, tu opazimo en sam rokav galaksije.



Slika 7: Meritev Rimske ceste v bližini Velikega psa, dobro vidna sta dva rokava galaksije.



Slika 8: Meritev Rimske ceste v ozvezdju Laboda, opazimo tri rokave galaksije.

Z natančnejšo analizo teh spektrov in Dopplerjevih premikov bi lahko izmerili hitrost kroženja Zemlje okrog Sonca in strukturo naše galaksije. Ta naloga ostaja za prihodnje raziskovalce.

Viri

Vodikova črta:

https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_line (7.3.2016)

Elektromagnetni spekter:

https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum (8.3.2016)

Raziskovalna naloga o radioastronomiji 1997:

http://www2.arnes.si/~gljsentvid10/ra_as.html (9.2.2016)

Radijski teleskopi:

https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_telescope (11.3.2016)

Izdelava radijskega teleskopa:

www.ad-vega.si/clanki/izgradnja-radijskega-teleskopa/ (11.3.2016)

Priloge

Programi

karta.py

```
import pickle
import glob
import os
import numpy
import matplotlib.pyplot as plt

Tspr = 20 # Kelvini.
lokacije = [
    ('/home/oskar/paart/raziskovalna/2016-02-28-meritev-
ra06/cikel0/*.dat', 6),
    ('/home/oskar/paart/raziskovalna/2015-12-31-meritev-
ra00/cikel0/*.dat', 0),
    ('/home/oskar/paart/raziskovalna/2016-01-18-meritev-
ra12/cikel0/*.dat', 12)
]

def odstevanje(datoteka):
    #seznamu moc dodamo vrednosti moci
    a = open(datoteka)
    frekvence = []
    moc = []
    for line in a:
        line = line.strip()
        if not line.startswith('#') and line:
            f, m = line.split()
            frekvence.append(float(f))
            moc.append(float(m))
    #prvo vrednost moci odstejemo od drugih
    if moc:
        nicla = moc[0]
        odstetamoc = []
        for m in moc:
            odstetamoc.append(m - nicla)
        return odstetamoc
    else:
        return [0]

#sestejemo vse vrednosti odstete moci
def sestevanje(odstetamoc):
    vsota = 0
    mocDb = odstetamoc
    for m in mocDb:
```

```

        vsota = vsota + 10**(m/10) - 1
    return vsota/len(odstetamoc)

#iz imena meritve preberemo rezino in deklinacijo
def oznacevanje(datoteka):
    path, name = os.path.split(datoteka)
    ime, konc = name.split('.')
    datum, ura, cikel, rezina, deklinacija = ime.split('_')
    return int(rezina), float(deklinacija)

#iz meritev sestavimo mrezo
def mreza(lokacija):
    Mreza = numpy.zeros((37,72))
    for datoteka in glob.glob(lokacija[0]):
        rektascenzija, deklinacija = oznacevanje(datoteka)
        vrstica = deklinacija/5 + 18
        rektascenzija = (rektascenzija + lokacija[1]/24*72)%72
        Mreza[vrstica, rektascenzija] =
sestevanje(odstevanje(datoteka))
    return Mreza

#zanka za sestavljanje mrez in njihovo shranjevanje
a = []
for x in lokacije:
    a.append(mreza(x))
with open('podatki.pickle', 'wb') as f:
    pickle.dump(a, f)

```

MeritevRT.py

```
import datetime
import sys
import pause
from merilec import *
from testni_parametri import *

dolzina_koraka = (dolzina_rezine - dolzina_zasuka) /
stevilo_korakov

try:
    #pocakaj do zacetek_meritve - zakasnitev
    zacetek = zacetek_meritve - zakasnitev
    print('Cakam do', zacetek)
    pause.until(zacetek)
    #obrni anteno na zacetno deklinacijo
    if not premakni_anteno(zacetna_deklinacija):
        raise Exception('Antena se ni obrnila.')
    #prižgi LNA
    if not lna('on'):
        raise Exception('LNA se ni vklopil.')
    #vstopi v zunanjo zanko, zanka tece od 0 do števila ciklov
    for cikel in range(stevilo_ciklov):
        for rezina in range(stevilo_rezin):
            #vstopi v notranjo zanko, ta zanka tece od 0 do
            #stevila korakov
            for korak in range(stevilo_korakov):
                #izracunaj deklinacijo, ki ustreza koraku
                deklinacija = zacetna_deklinacija + korak *
                sirina_koraka
                print('Cikel {}, rezina {}, korak {}, deklinacija
                {}'.format(cikel, rezina, korak, deklinacija))
                #premakni anteno na izracunano deklinacijo
                if not premakni_anteno(deklinacija):
                    raise Exception('Antena se ni premaknila.')
                #izracunaj, kdaj zaceti meritev
                trenutek = zacetek_meritve + cikel * zvezdni_dan +
                rezina * dolzina_rezine + korak * dolzina_koraka
                #pocakaj na zacetek meritve
                print('Cakam do', trenutek)
                pause.until(trenutek)
                #pomeri
                fil = 'meritve/' +
                ime_podatkovne_datoteke(trenutek, cikel, rezina, int(deklinacija))
                datfil = fil + '.dat'
                errfil = fil + '.err'
                if not merjenje(datfil, errfil,
                dolzina_meritve.total_seconds()):
```



```

        raise Exception('Napaka pri merjenju.')
        #konec notranje zanke
        #obrni anteno na zacetno deklinacijo
        if not premakni_anteno(zacetna_deklinacija):
            raise Exception('Antena se ni obrnila.')
        #konec zunanje zanke
except Exception as ex:
    print(ex)
finally:
    #ugasni LNA
    if not lna('off'):
        print('LNA se ni izkljucil.')
    #parkiraj anteno
    if not park():
        print('Antena se ni parkirala.')
#konec programa

```

nalozi_karto.py

```
import numpy as np
import pickle
import matplotlib.pyplot as plt

#odpremo datoteko s podatki
with open('podatki.pickle', 'rb') as f:
    a = pickle.load(f)
#oznacimo slabe meritve
A = np.dstack(a)
A[11:20,18,0] = np.nan
A[17,23,1] = np.nan
A[31,71,1] = np.nan
A[19,49,2] = np.nan
A[11:20,14,2] = np.nan
A[11:19,25,2] = np.nan
A[16,68,0] = np.nan

#izrisemo povpreceno karto
rektascenzija = np.arange(73)*24/72
deklinacija = np.arange(38)*5 - 90
plt.pcolormesh(rektascenzija, deklinacija, np.nanmean(A, axis =
2))
#sestavimo y in x os ter ju poimenujemo
plt.xlim(24, 0)
plt.ylim(-90, 90)
plt.xticks(np.arange(0, 25, 4))
plt.yticks(np.arange(-90, 91, 30))
plt.xlabel('Rektascenzija')
plt.ylabel('Deklinacija')
#naredimo lestvico relativne moci in pokazemo karto
cbar = plt.colorbar()
cbar.set_label('Relativna moc')
plt.show()
```

merilec.py

```
import subprocess
import time

#zazene rtl_power_fftw za cas
def merjenje(ime_podatki, ime_napake, cas):
    print('Merim, dolzina merjenja je', cas)
    with open( ime_podatki, 'w' ) as datoteka, open( ime_napake,
'w' ) as datoteka_n:
        argumenti = ['rtl_power_fftw', '-t', str(cas), '-B', '10-
00_ozadje_lnaon240s.dat']
        meritev = subprocess.call( argumenti, stdout = datoteka,
stderr = datoteka_n )
        if meritev == 0:
            return True
        else:
            return False

#preveri status LNA
def lna(status):
    print('Preklapljam LNA v stanje', status)
    argumenti = ['lna', status]
    lna_status = subprocess.call( argumenti )
    if lna_status == 0:
        return True
    else:
        return False

#vrne teleskop v lego mirovanja
def park():
    print('Parkiram anteno.')
    argumenti = ['mcontrol', '--park']
    RTstatus = subprocess.call( argumenti )
    if RTstatus == 0:
        return True
    else:
        return False

#sestavi ime datoteke glede na datum, cas, cikel, rezino in
deklinacijo
def ime_podatkovne_datoteke(trenutek, cikel, rezina, deklinacija):
    #dobimo datum (lepo, mesec, dan, ura, minuta, sekunda)
    datum = trenutek.strftime('%Y-%m-%d_%H-%M-%S')
    #ustvarimo ime iz datuma, rezine in kota
    ime = '{}_{:02d}_{:02d}_{:+03d}'.format(datum, cikel, rezina,
deklinacija)
    return ime

#premikanje teleskopa
```

```
def premakni_anteno(deklinacija):
    print('Obracam anteno na deklinacijo', deklinacija)
    #racunanje elevacije teleskopa iz zacetnega in koncnega kota
    (pretvorba deklinacije)
    geo_sirina = 46
    elevacija = deklinacija + (90 - geo_sirina)
    #proces poklice mcontrol in kot in vrne 0, ce je vse v redu
    proces = subprocess.call(['mcontrol', str(elevacija)])
    #ce proces vrne nic, glavnemu programu vrnemo TRUE
    if proces == 0:
        return True
    else:
        return False
```

parametri.py

```
import datetime

#racunanje dolžine zvezdnega dne
zvezdni_dan = datetime.timedelta(hours = 23.9344699)
stevilo_rezin = 72
#dolžina rezine
dolzina_rezine = zvezdni_dan / stevilo_rezin
#dolžina meritve
dolzina_meritve = datetime.timedelta(seconds = 30)
#trajanje zasuka iz S na J
dolzina_zasuka = datetime.timedelta(seconds = 70)
#zakasnitev pred zacetkom meritve
zakasnitev = datetime.timedelta(seconds = 600)
#skrajne lege (zacetni in koncni kot) [stopinje]
zacetna_deklinacija = -35.0
stevilo_korakov = 26
#[stopinje]
sirina_koraka = 5
#stevilo dni merjenja
stevilo_ciklov = 1
#nastavimo zacetek meritve
zacetek_meritve = datetime.datetime(2016, 1, 29, 17, 30, 43)
```