



GIMNAZIJA ŠENTVID
Prušnikova 98, Ljubljana

Raziskovalna naloga iz astronomije

OPAZOVANJE SONČEVE POVRŠINSKE AKTIVNOSTI

Mentor: abs. fiz. Klemen Blokar
Somentor: prof. fiz. Goran Mitrovič

Avtorja: Matej Rabzelj, 3.f
Lenart Lesar, 3.f

Ljubljana, marec 2013

Zahvala

Rada bi se zahvalila odličnima mentorjema Klemenu Blokarju in prof. Goranu Mitroviču za strokovno pomoč, nasvete ter usmeritve pri delu. Hvala, ker sta naju navdušila za astronomijo, fiziko in raziskovanje.

Zahvaljujeva se tudi AD Vega – Ljubljana, ki nama je posodilo opremo za opazovanje Sonca.

Matej in Lenart

Vsebinsko kazalo

Zahvala.....	2
Povzetek.....	5
Abstract.....	5
1 Uvod	6
2 Vsebinski del	7
2.1 Sonce, stalno področje raziskovanja.....	7
Splošne lastnosti Sonca.....	8
Vrtenje Sonca.....	8
Model Sončeve notranjosti.....	9
Sončevo magnetno polje.....	10
2.2 Sončevi površinski pojavi.....	11
Sončeve pege.....	11
Nastanek peg.....	12
Zgodovina opazovanja Sončevih peg.....	13
Sončevi izbruhi.....	14
3 Praktični del	15
3.1 Oprema.....	15
Teleskop in filter.....	15
Zgradba in delovanje H-alfa filtra.....	16
Kamera.....	17
Nova kamera.....	18
Fokalni reducer.....	18
Montaža.....	18
3.2 Opazovanje in slikanje Sonca skozi solarni teleskop.....	19
Postavitev teleskopa in opazovanje Sonca.....	19
Slikanje Sonca.....	20
3.3 Računalniška obdelava posnetkov.....	21
Od video posnetka do uporabne fotografije.....	21
Poravnava Sončevega ekvatorja.....	22
3.4 Analiza slik.....	24
Heliografski koordinatni sistem.....	24
Izdelava računalniških programov za določanje koordinat.....	25
4 Rezultati	27
4.1 Izračun Wolfovega števila.....	27
4.2 Odvisnost pojavljanja peg in protuberanc od heliografske širine.....	28
Pojavljanje Sončevih peg – ugotovitve.....	28
Pojavljanje protuberanc – ugotovitve.....	33
4.3 Vrtenje Sonca.....	38
5 Zaključek	39
6 Viri	40
6.1 Literatura.....	40
6.2 Viri slik.....	43
7 Priloge	44
7.1 Fotografiji Sonca.....	44
7.2 Izvorna koda programa.....	46

Kazalo slik in grafov

Slika 1: Sonce slikano v različnih valovnih dolžinah.....	7
Slika 2: Diferencialno vrtenje in nagib Sončeve vrtilne osi.....	8
Slika 3: Model Sončeve notranjosti (prečni prerez Sonca).....	9
Slika 4: Proces menjavanja magnetnih polov v Sončevi koroni.....	10
Slika 5: Fotografije skupin Sončevih peg skozi H-alfa teleskop.....	11
Slika 6: Deformacija Sončevih magnetnih silnic - povod za nastanek različnih fenomenov.....	12
Slika 7: "Metuljast diagram".....	13
Slika 8: Sončevi izbruhi - protuberance.....	14
Slika 9: Sončevi izbruhi - filamenti.....	14
Slika 10: Fotografija solarnega teleskopa.....	15
Slika 11: Ilustracija delovanja H-alfa filtra.....	16
Slika 12: Ilustracija delovanja Bayerjevega filtra.....	17
Slika 13: V tipalo kamere vstopi le rdeča barva - degradacija kvalitete.....	17
Slika 14: Opazovanje sence, ki jo mečeta teleskop in stojalo.....	19
Slika 15: Fotografija Sončevih peg.....	20
Slika 16: Fotografija Sončevih izbruhov.....	20
Slika 17: Shema, ki prikazuje potek digitalne obdelave.....	21
Slika 18: Metoda poravnave fotografije po sekvenci zaporednih slik.....	22
Slika 19: Rezultat digitalne obdelave.....	23
Slika 21: Spletna aplikacija za izračun heliografskih koordinat.....	25
Slika 22: Program za določanje heliografskih koordinat z grafičnim vmesnikom.....	26
Razpredelnica 1: Izračunana Wolfova števila.....	27
Razpredelnica 2: Pojavljanje Sončevih peg v odvisnosti od heliografske širine.....	28
Razpredelnica 3: Vsota Sončevih peg za južno in severno poloblo.....	29
Graf 1: Pojavljanje Sončevih peg v odvisnosti od heliografske širine, brez popravka B0.....	29
Graf 2: Pojavljanje Sončevih peg v odvisnosti od heliografske širine, z popravkom B0.....	29
Graf 3: Približek "metuljastega grafa" brez popravka B0.....	30
Graf 4: Približek "metuljastega grafa" s popravkom B0.....	30
Razpredelnica 4: Pojavljanje peg v odvisnosti od heliografske širine - podatki iz le devetih slik.....	31
Razpredelnica 5: Vsota Sončevih peg za južno in severno poloblo - podatki iz le devetih slik.....	31
Graf 5: Pojavljanje peg v odvisnosti od heliografske širine - brez B0, podatki iz le devetih slik.....	32
Graf 6: Pojavljanje peg v odvisnosti od heliografske širine - z B0, podatki iz le devetih slik.....	32
Razpredelnica 6: Pogostost pojavljanja protuberanc v odvisnosti od heliografske širine.....	33
Razpredelnica 7: Vsota protuberanc na južni in severni polobli.....	33
Graf 7: Pogostost pojavljanja protuberanc v odvisnosti od heliografske širine.....	34
Graf 8: približek "metuljastega grafa" - protuberance.....	34
Graf 9: Zastopanost protuberanc po površini.....	35
Graf 10: Zastopanost protuberanc po višini.....	35
Graf 11: Odvisnost površine protuberanc od heliografske širine.....	36
Graf 12: Odvisnost višine protuberanc od heliografske širine.....	36
Graf 13: Korelacija višine in površine protuberanc.....	37
Graf 14: Odvisnost obhodnega časa od heliografske širine.....	38

Povzetek

Raziskovalna naloga iz področja astronomije se ukvarja s Sončevo površinsko aktivnostjo. Osredotoča se na Sončeve pege in izbruhe (protuberance). Avtorja opiševa metodo zajemanja posnetkov skozi solarni teleskop iz šolskega observatorija ter posnetke računalniško obdelava in analizirava. Na podlagi zbranih podatkov proučiva pogostost pojavljanja Sončevih površinskih pojavov v odvisnosti od njihove heliografske širine. Poleg tega določiva tudi Sončev ekvator in oceniva hitrost vrtenja Sonca na različnih širinah. Za namen določanja heliografskih koordinat Sončevih pojavov izdelava tudi računalniška programa. Za vse posnete slike izračunava Wolfovo število in izmeriva velikost Sončevih izbruhov. Na koncu predstaviva še rezultate dela, v katerih ugotavljava, da pogostost pojavljanja Sončevih izbruhov upada z njihovo velikostjo. Poleg tega pa opažava, da se protuberance pojavljajo na bistveno širšem razponu heliografskih širin kakor Sončeve pege.

Ključne besede: Sončeva aktivnost, Sonce, Sončeve pege, Sončev ekvator, protuberance

Abstract

The following astronomical research project deals with Solar surface activity. It mainly concentrates on surface eruptions and sunspots. Authors describe our method for capturing images through the solar telescope from school's observatory. These photographs are then processed and analyzed in consecutive time intervals. Based on the analyzed data we look at the distribution of surface phenomena in regard to the observed latitude. We determine the solar equator and assess the solar rotation rate, depending on its heliographic latitude. We also create two computer programs for determining heliographic coordinates. For all of the taken pictures we then calculate the Wolf's number and measure the size of the surface eruptions. In the end we provide our conclusions on the analyzed data. That includes our finding that bigger eruptions are much less frequent than smaller ones. We also discuss prominence distribution, that has occurred over much wider range of the heliographic latitudes than the sunspots'.

Key words: Solar activity, Sun, Sunspots, Solar equator, Prominence

1 Uvod

Za pisanje raziskovalne naloge sva se odločila zaradi aktualne teme Sončeve aktivnosti. Večkrat sva namreč slišala za Sončeve izbruhe in Sončeve cikle. Vse bolj sva se zanimala za to temo in kmalu ugotovila, da se bližamo maksimumu Sončeve aktivnosti v trenutnem ciklu. To pomeni, da je na Soncu moč opaziti povečano število površinskih pojavov in zato predstavlja odlične možnosti za raziskovalno nalogo. Od tu naprej gre velika zasluga mentorjema prof. fiz. Goranu Mitroviču in abs. fiz. Klemenu Blokarju, ki sta nama razkazala izvrsten šolski observatorij gimnazije Šentvid in naju navdušila za nadaljnje raziskovanje. Dodatno pa naju je k tej temi pritegnil še odličen astronomski krožek gimnazije Šentvid.

Dogajanje na Sončevi površini je zanimivo tako na kratkoročni kakor dolgoročni časovni skali. Kratkoročno lahko merimo hitrost Sončevih izbruhov ali pa na primer dinamiko konvekcijskih celic. V nekaj dneh je možno opazovati rotacijo Sonca, tekom nekaj mesecev ali let pa porazdelitev Sončevih površinskih pojavov in tekom desetletij spremljati Sončeve cikle. Midva sva se odločila za spremljanje aktivnosti Sonca na daljši rok in opazovanje porazdelitve površinskih pojavov na njem. Sončevo površinsko aktivnost sva spremljala in dokumentirala tekom enega koledarskega leta. Celotnega Sončevega cikla seveda nisva mogla opazovati zaradi očitnih časovnih omejitev.

Predpostavila sva, da je z dovolj pogostim opazovanjem površine Sonca možno določiti smer in hitrost njegovega vrtenja. Zato sva si zadala, da bova nam najbližjo zvezdo čim bolj dosledno opazovala in spoznanja dokumentirala. Iz zbranih podatkov bova proučila pogostost Sončevih površinskih pojavov v odvisnosti od njihove heliografske širine. Domnevala sva, da je porazdelitev teh fenomenov na Soncu neenakomerna in odvisna od njihove oddaljenosti od Sončevega ekvatorja. V seznam svojih ciljev sva zato poleg čim bolj doslednega opazovanja pripisala tudi določanje lokacije Sončevih peg in izbruhov.

V raziskovalni nalogi se osredotočava na Sončeve površinske pojave, ki jih je možno opazovati preko solarnega H-alfa teleskopa. Prvi del naloge je vsebinski, ki bralca opremi z določenim znanjem, potrebnim za nadaljnje branje. Sledi praktični del. Ta daje poudarek metodam, ki sva jih avtorja razvijala in uporabljala za opazovanje in preučevanje Sončevih pojavov. V zaključku raziskovalne naloge pa predstaviva dobljene rezultate v povezavi z najinimi cilji.

Eno leto čim pogosteje fotografirala Sonce z namenom, da zbereva čim več podatkov. Pri tem sva bila seveda omejena s prostim časom in primernim vremenom. Faktor, ki je igral v najin prid pa je definitivno bližina in stalna dostopnost šolskega observatorija ter opreme, ki jo je posodilo Astronomsko društvo Vega – Ljubljana.

Ko sva zbrala nekaj podatkov, sva začela z obdelavo nabranih slik. Ta del naloge sva v celoti opravila računalniško. Najpomembneje je bilo Sonce na vseh slikah obrniti v isto smer. Observatorij je bil namreč stalno v uporabi, zato teleskopa in kamere nisva mogla trajno montirati. V proces računalniške obdelave sva vključila tudi analizo slik. V ta namen sva izdelala dva računalniška programa, ki sta nama omogočala določitev heliografskih koordinat Sončevih površinskih pojavov.

Z zbranimi podatki sva se lotila še zaključnega dela naloge – preverjanja postavljenih hipotez. Zadnji del praktičnega sklopa raziskovalne naloge zato prikaže izpeljavo in uporabo formul za računanje obhodnega časa Sončevih peg in Wolfovega števila. Poleg tega pa vsebuje priloge posnetih slik in izvorne kode narejenih programov.

2 Vsebinski del

2.1 Sonce, stalno področje raziskovanja

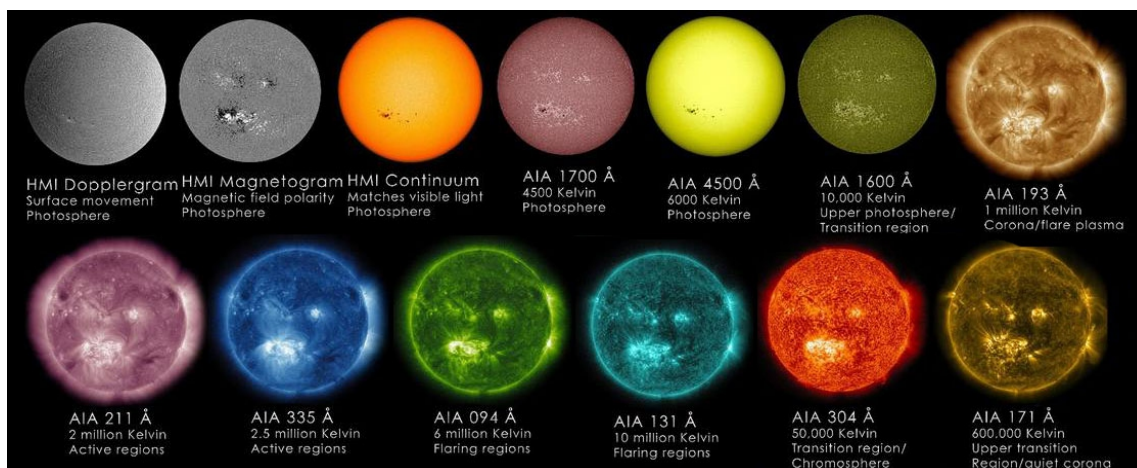
Sonce je že od nekdaj področje zanimanja astronomov in je tako v preteklosti kot v sedanjosti stalno področje proučevanja. Že starodavne civilizacije Majev, Aztekov, starih Grkov ter mnogih drugih so se ravnale po Soncu, ga označevale kot božanstvo, po njem poimenovala Bogove ter ga poskušale proučevati. Vendar Sonce zaradi svojih lastnosti (predvsem izjemne svetlosti) zahteva za proučevanje določeno pazljivost in primerno opremo.

V preteklosti so tisti najbolj radovedni brez dvoma poskušali usmeriti svoj pogled v Sonce, kar pa jim je močno bleščanje preprečilo. Ljudje so zato iskali različne metode, kako bi bolje spoznali to bleščečo podobo. Domnevamo, da je bila ena prvih metod za neposredno opazovanje izkoriščanje različnih »naravnih filtrov«, na primer megle oz. oblakov. Prav tako je dovolj velike pege možno opaziti med vzhodom ali zahodom Sonca. Z odkritjem teleskopa pa je človeška radovednost ponovno premaknila mejnike znanosti. A vse to z veliko mero previdnosti, saj je opazovanje Sonca lahko zelo nevarno in lahko trajno poškoduje človeške oči. Dandanes zato za opazovanje uporabljamo posebne teleskope in observatorije. [1]

Sonce lahko s teleskopi opazujemo pri zelo velikih povečavah. S filtri, ki prepuščajo različne valovne dolžine pa dobimo vpogled v različne dele elektromagnetnega spektra Sonca. Astronomi lahko proučujejo zelo široko področje Sončeve aktivnosti in pridobivajo informacije, ki jih s človeškimi čutili ni mogoče zaznati. Razpon proučevanja sega vse od radijskega, infrardečega in ultravijoličnega valovanja, ter celo do zelo kratkih valovnih dolžin rentgenskih in gama žarkov, ki jih oddaja nam najbližja zvezda. Na podlagi teh metod proučevanja so znanstveniki že pred več kot šestdesetimi leti dokončali fizikalno pojasnitev izvora energije in uspeli določiti fizikalne lastnosti Sonca.

Poleg ugotavljanja Sončevih lastnosti in proučevanja njegovih pojavov ter njihove razlage, znanstveniki nova dognanja povezujejo tudi z vplivi na Zemljo. Znano je na primer proučevanje korelacije med vremenom na Zemlji in Sončevo aktivnostjo, medplanetarnim vremenom in Sončevim vetrom. Vpliv Sončeve aktivnosti na globalno segrevanje, na Zemljino magnetno polje. Sonce je torej izredno pomembno, saj predstavlja izvor energije in vir življenja.

Proučevanje Sonca zajema številna področja, v raziskovalni nalogi se bomo omejili le na nekatere Sončeve površinske pojave.



Slika 1: Sonce slikano v različnih valovnih dolžinah

Splošne lastnosti Sonca

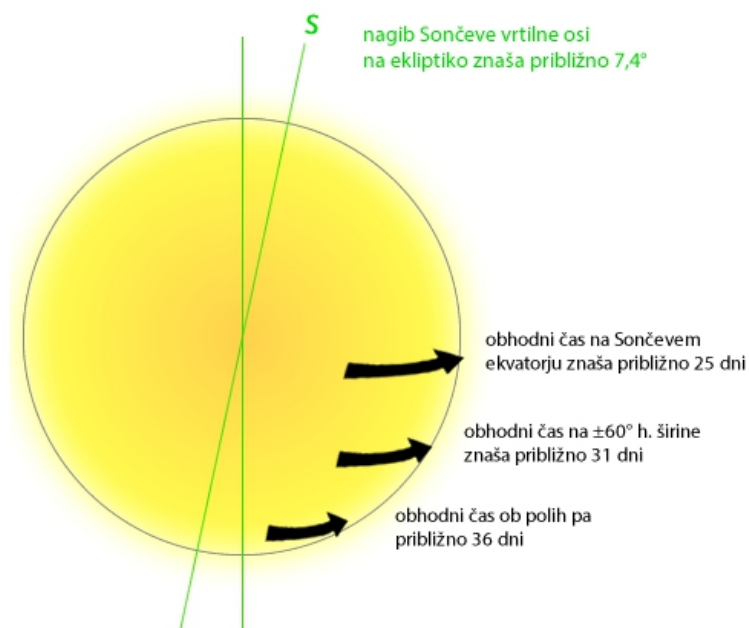
Sonce je edina zvezda v našem osončju. Je velikanska vrteča se krogla žarečih plinov in se nahaja v središču našega sončnega sistema. Masa Sonca znaša 2×10^{30} kilogramov, kar je 333.000-krat več kot masa Zemlje. Označimo jo z m_{\odot} in jo na področju astronomije uporabljamo kot enoto za izražanje mas še masivnejših nebesnih teles.

Sonce samo predstavlja kar 99,87 odstotkov vse skupne mase v našem osončju in je zato njegovo osrednje telo. Okoli njega krožijo številni planeti, asteroidi, kometi, različna preknepunska telesa in medzvezdni prah. Med drugimi tudi Zemlja na oddaljenosti ene astronomske enote (au) oz. 150 milijonov kilometrov. Nadalje Sončev polmer znaša 696.000 kilometrov, kar je enakovredno 109-imi polmerom Zemlje. Gostota snovi na Soncu je v povprečju $1,411 \text{ g/cm}^3$, snov v sredici pa je še več kot stokrat gostejša. Sončeva površina meri $6,09 \times 10^{12} \text{ km}^2$, povprečna temperatura na njej pa se giblje okoli 5780 K. Temperatura v sredici doseže celo petnajst milijonov Kelvinov. Sonce zavzema prostornino $1,41 \times 10^{27} \text{ m}^3$, njegova starost pa je ocenjena na 4,6 milijarde let. [2]

Gledano iz Zemlje je Sonce najsvetlejši objekt na nebu, njegov izsev (navidezna magnituda) znaša $-26,91^m$, njegova absolutna magnituda pa $4,8^m$. Spektralno gledano pri svoji efektivni (površinski) temperaturi spada v razred rumenih zvezd ter podrobneje v podrazred G2. Sonca zato zaradi moči sevanja ne smemo gledati s prostim očesom, nikakor pa ne skozi optične naprave brez primernih filtrov oz. zaščitne opreme! [3]

Vrtenje Sonca

Sonce se prav tako kot Zemlja vrti okoli svoje osi. Za razliko od našega planeta, ki ima trdno skorjo in se zato vrti povsod z enako kotno hitrostjo, je Sonce popolnoma plinasto, kar pomeni, da se vrti različno hitro na različnih heliografskih širinah. Obhodni čas na Sončevem ekvatorju je okoli 25 dni, ob njegovih polih pa približno 36 dni. Vrtilna os Sonca je glede na ekliptiko nekoliko nagnjena, njen nagib je stalen in znaša 7,4 stopinje. Spreminja pa se njena projekcija na smer našega opazovanja. Zato gledano iz naše smeri kroži s periodo enega leta.

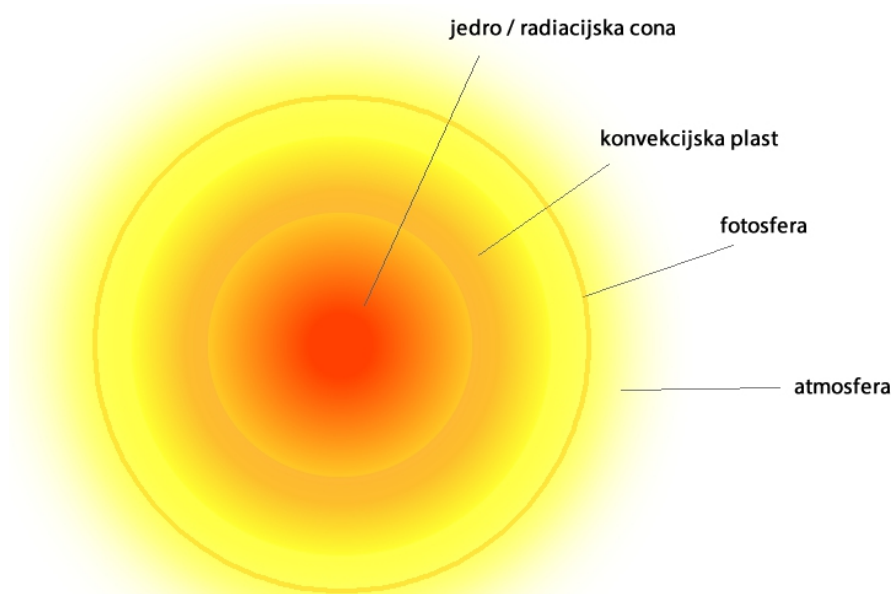


Slika 2: Diferencialno vrtenje in nagib Sončeve vrtilne osi

Model Sončeve notranjosti

Sonce je sestavljeno iz več koncentričnih kroglastih plinastih plasti. Osrednji del Sonca je najgostejši, imenujemo ga **radiacijska cona**. V njej spontano potekajo jedrske reakcije zlivanja atomov vodika v atome helija - jedrska fuzija. Pri tem pride do pretvarjanja mase v energijo. Nastala energija se iz radiacijske cone (sredice) s sevanjem prenaša navzven v naslednji sloj, imenovan **konvekcijska plast**. Od tu se toplota do površja prenaša pretežno s konvekcijo. Vroči plini se iz globine dvigajo, dosežejo površino Sonca, kjer se ohladijo, zgostijo in potonejo nazaj v globino. V tanki površinski plasti, ki jo imenujemo **fotosfera**, se konvekcija ustavi, od tod naprej se energija v vesolje prenaša s sevanjem. Ob tem sevanje prečka Sončevo **atmosfero**, ki je najredkejši in najbolj zunanji del Sonca.

Površino Sonca predstavlja zunanji rob tanke fotosfere. Ker pa je Sonce v celoti sestavljeno iz plinov, katerih gostota pada z radijem in zato ni trdno, izraz površina ne označuje trdne snovi, kot smo tega vajeni na našem planetu. Izraz le loči plasti med optično gostim in optično redkim plinom pri vidni svetlobi. Skozi optično redkega plin lahko vidimo, skozi optično gostega pa ne. Za opazovanje Sonca je to ključen podatek, saj nam razkrije, da izmed vseh sončevih plasti v resnici gledamo fotosfero. Prav ta je področje Sončevih površinskih pojavov. Fotosferi sledita še prva atmosferska plast imenovana **kromosfera** in zunanji del atmosfere, imenovan **korona**. Slednja že prehaja v medplanetarni prostor. [4]



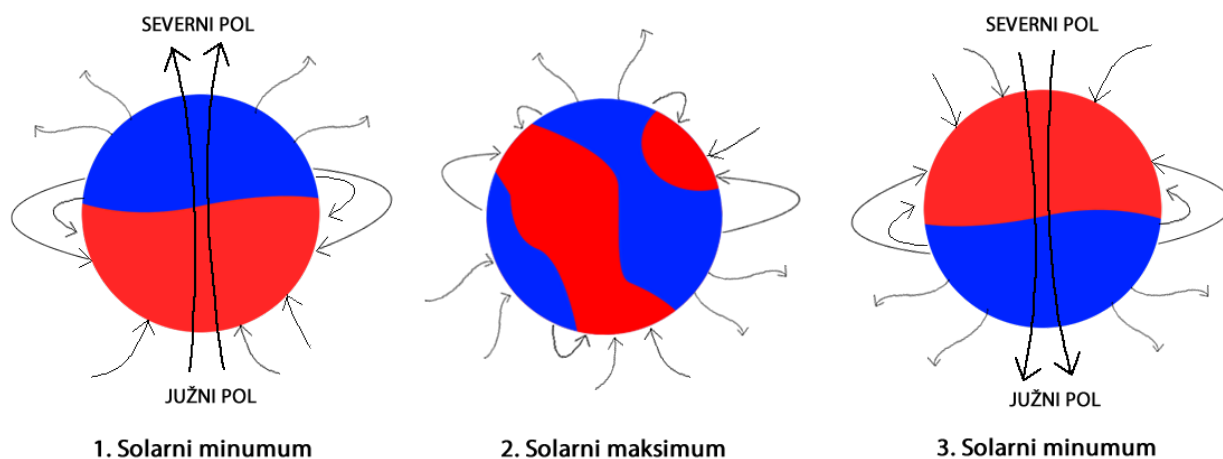
Slika 3: Model Sončeve notranjosti (prečni prerez Sonca)

Sončevo magnetno polje

Sonce ima močno magnetno polje. Ker so zunanji deli Sonca v veliki meri sestavljeni iz plazme (ioniziran plin), obstaja močna povezava med tokovi plazme in magnetnim poljem v sončevi fotosferi in koroni. Magnetno polje Sončeve korone se zaradi tega s časom spreminja in ima močan vpliv na površinske pojave na Soncu. Po dosedanjih raziskavah namreč kaže, da prav spreminjajoče magnetno polje (in s tem povezano električno polje) v koroni zagotavlja energijo za blišče in izbruhe na Soncu. Vendar mehanizem prenosa energije še ni povsem raziskan.

Magnetno polje v koroni Sonca gre skozi različne faze, ki se ponavljajo v tako imenovanem 11-letnem ciklu Sončeve aktivnosti. V mirnem obdobju je magnetno polje v koroni obrnjeno tako, da silnice na eni polobli iz Sonca izstopajo, na nasprotni polobli pa vanj vstopajo (na eni polobli je navzven obrnjen severni magnetni pol, na drugi pa južni pol). Nato sledi obdobje, ko se začne proces »mešanja« magnetnih polov. Tega zaznamujejo območja, kjer se lokalno magnetno polje orientira v obratni smeri od trenutno prevladujoče smeri. Ta območja zaznamujejo Sončeve pege in občasno spremljajoči izbruhi. Ti pojavi se s časom stopnjujejo do viška Sončeve aktivnosti. Ta proces razbije prej pretežno dipolno urejeno magnetno polje in na koncu pripelje do tega, da se orientacija magnetnega polja v koroni obrne. Obrat spremlja zmanjšanje pojavljanja peg, ki vodi v naslednje mirno obdobje. Nato se cikel ponovi, vendar je magnetno polje tokrat obrnjeno ravno obratno. [5][6]

Magnetno polje Sončeve korone je tako, kakor kaže, podvrženo ciklom, ki trajajo dvakrat dlje kakor 11-letni cikel Sončeve aktivnosti, saj po dveh ciklih pridemo do prvotne orientacije magnetnega polja v koroni.



Slika 4: Proces menjavanja magnetnih polov v Sončevi koroni

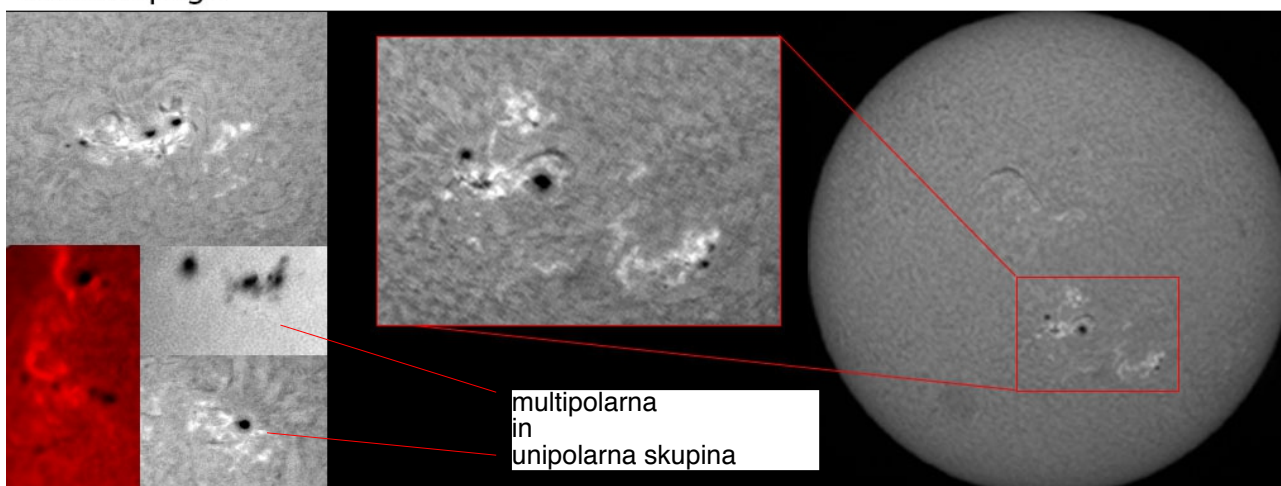
2.2 Sončevi površinski pojavi

Sončeve pege

Pege so verjetno najbolj poznan pojav na površini Sonca. To so območja na fotosferi, ki imajo nekoliko nižjo temperaturo od okolice in jih zato opazimo kot temne lise. Njihova relativno nizka temperatura je posledica močne magnetne aktivnosti na tistem področju. Pege so lahko različno velike in se pojavljajo na različnih heliografskih širinah. Večje pege lahko sestojijo iz dveh delov, osrednji del je videti najtemnejši in ga zato poimenujemo umbra (senca), tega pa obdaja še nekoliko svetlejši del imenovan penumbra (polsenca). Temperatura umbre je približno 4500°C in temperatura penumbre okoli 5000°C , ti se torej za dobrih 500 do 1000 stopinj razlikujeta od površinske temperature okolice. Pegam lahko poleg temperature določamo še številne druge lastnosti, kot sta velikost in mesto nahajanja (heliografske koordinate).

Sončeve pege se ponavadi pojavljajo v skupinah. Take skupine imajo pogosto bolj zapleteno strukturo magnetnega polja. Tu ločimo unipolarne, bipolarne in multipolarne skupine, ki jih določamo glede na kotno velikost. V okolici skupin peg pa je večkrat možno opaziti še svetlejšo okolico. Pege in okolico imenujemo aktivno območje. [7]

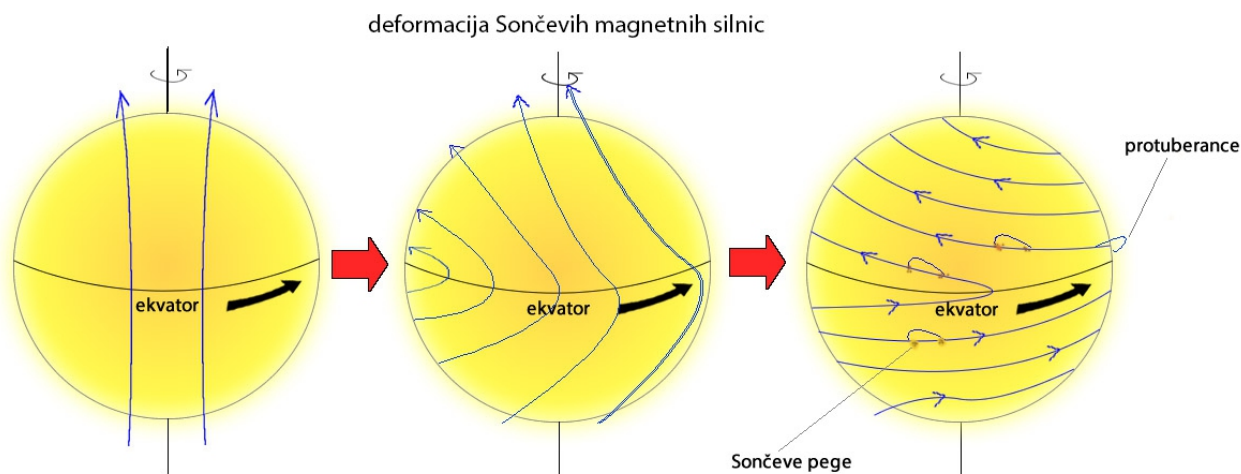
Sončeve pege



Slika 5: Fotografije skupin Sončevih peg skozi H-alfa teleskop

Nastanek peg

Podrobnosti o nastanku Sončevih peg še niso popolnoma pojasnjene, vendar se pa ve, da so Sončeve pege posledica večih dejavnikov na Soncu. Najpomembnejša sta diferencialno vrtenje Sonca in njegovo magnetno polje. Spodnja slika prikazuje deformacijo magnetnih silnic Sonca, zaradi različne hitrosti vrtenja na različnih heliografskih širinah.



Slika 6: Deformacija Sončevih magnetnih silnic - povod za nastanek različnih fenomenov

Zvite magnetne silnice so izhodišče za pojave na Sončevem površju. V določenih okoliščinah se namreč ustvari lokalna magnetna zanka. Močna magnetna aktivnost na območju, kjer zanka prebada površino Sonca zavira dviganje toplejšega plina iz notranjosti proti površju. Tisto območje je zato hladnejše – ustvari se Sončeva pega. Natančneje je umbra pege na tistem delu, kjer magnetne silnice fotosfero prebadajo skoraj povsem pravokotno. V okolici, kjer pa je prebadanje pod večjim kotom, se ustvari penumbra. Umbra v latinščini pomeni senca in predstavlja osrednji del pege, penumbra pa pomeni polsenca in označuje obrobni del Sončeve pege. [8]

Razvoj se ponavadi začne z največjo, t.i. vodilno pego, okoli katere se razvijejo še manjše. Ustvari se skupina peg. Življenjska doba peg je zelo različna, trajajo lahko od nekaj ur do več tednov. Prve ponavadi izginejo manjše pege in ostane le začetna oz. vodilna. Ne malokdaj se skupine peg tekom svojega življenja tudi močno spreminjajo.

Zgodovina opazovanja Sončevih peg

Kdo je Sončeve pege opazil prvi, je težko določiti zaradi pomanjkanja zgodovinskih virov. Sami zapisi tovrstnih pojavov na Sončevi ploskvi pa izvirajo iz leta 364 pr. Kr. iz starodavne Kitajske. Tamkajšnji astronomi so nekoliko kasneje Sonce tudi sistematično opazovali in spoznanja dokumentirali. Prav tako so podobne temne lise na Soncu opazili že stari Grki ter jih opisovali v filozofskih knjigah.

Okoli leta 1608 je bil na Nizozemskem izumljen teleskop. Astronomi so lahko videli, vse kar je bilo do tedaj skrito človeškemu očesu. Potrdili so obstoj peg, a ga niso mogli pojasniti. Odkritje teleskopa je za vedno spremenilo astronomijo in ponovno zanetilo željo po odkrivanju in razumevanju nebesnih teles ter pojavov.

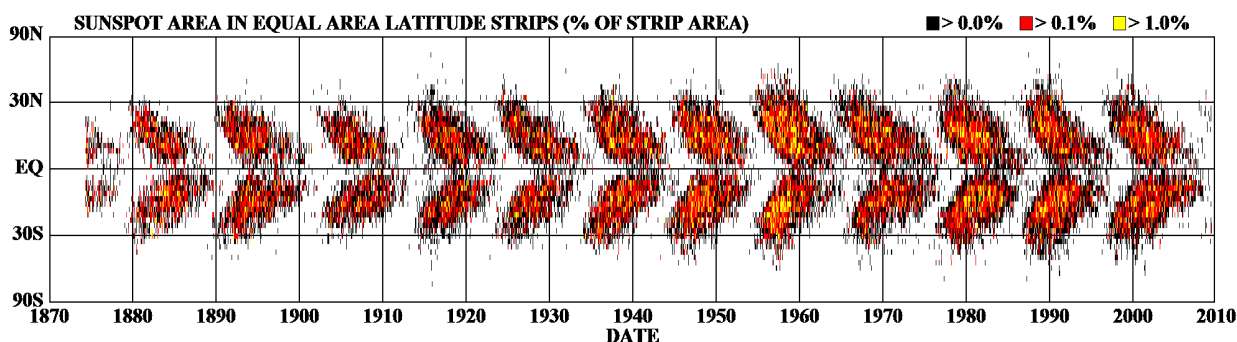
V Evropi so pege opazili številni opazovalci, zato je težko reči kdo je bil prvi. Ugibanja se vrtijo okoli imen štirih najbolj zagretilih astronomov: Johana Goldsmida (Nizozemska), Galilea Galileja (Italija), Christopherja Scheinerja (Nemčija) ter Thommasa Herriota (Anglija). Vsi štirje so pege opazili okoli leta 1611 ter jih dokumentirali z risanjem. Njihova prepričanja so se med seboj razlikovala. Galilej je trdil, da so pege del Sonca, medtem ko je Scheiner dvomil v njegovo teorijo. Bil je prepričan, da so pege le planeti ali lune, ki krožijo okoli Sonca. Galilej je pege opazoval ter izrisoval preko daljšega časovnega obdobja. Ugotovil je, da se pege popačijo, ko dosežejo rob Sončeve ploskve. To je bil zanj dokaz, da so pege del Sonca ter ne nebesna telesa, ki bi krožila okoli njega. [9]

V 19. stoletju so astronomi že opazili, da na Soncu prihaja do nihanja števila peg, torej nihanja aktivnosti. V tistem času je Rudolf Wolf preučeval zapise Sončevih pojavov ter povezal Sončeve cikle z magnetno in vremensko aktivnostjo na Zemlji. Prav tako je opredelil, da se Sončevi cikli pojavljajo na vsakih 11 let. Glede na njegove ugotovitve, še danes izračunavamo Wolfovo število na skoraj enak način.

Wolfovo oz. Züriško število je poznano kot mednarodno, relativno število Sončevih peg in ga uporablja večina solarnih observatorijev za določitev povprečja Sončeve aktivnosti.

V današnjem času smo prav zaradi teh obsežnih meritev in zapisov astronomov uspeli določiti nihanja Sončeve aktivnosti ter znamo oceniti zamik, s katerim se bo pojavil naslednji solarni maksimum.

Prav tako znanstveniki na podlagi dolgoletnih opazovanj izrisujejo t.i. metuljast diagram (ang.: »Butterfly diagram«). Ta prikazuje položaj sončevih peg glede na heliografsko širino. Vidi se da je število peg na severni in južni polobli skoraj enako ter da se te pojavljajo v ciklih. Na začetku Sončevega cikla je večina peg na večjih heliografskih širinah, na sredini cikla so na zelo velikem razponu širin, na koncu pa po večini samo še blizu Sončevega ekvatorja. Barve v grafu nam povedo koliko odstotkov Sončevega površja na neki heliografski širini zavzemajo pege. Rdeča barva pomeni, da je bil v tistem času odstotek peg na določeni heliografski širini od 0,1 do 1%. Rumena pa predstavlja delež peg večji kot 1%. [10][11]



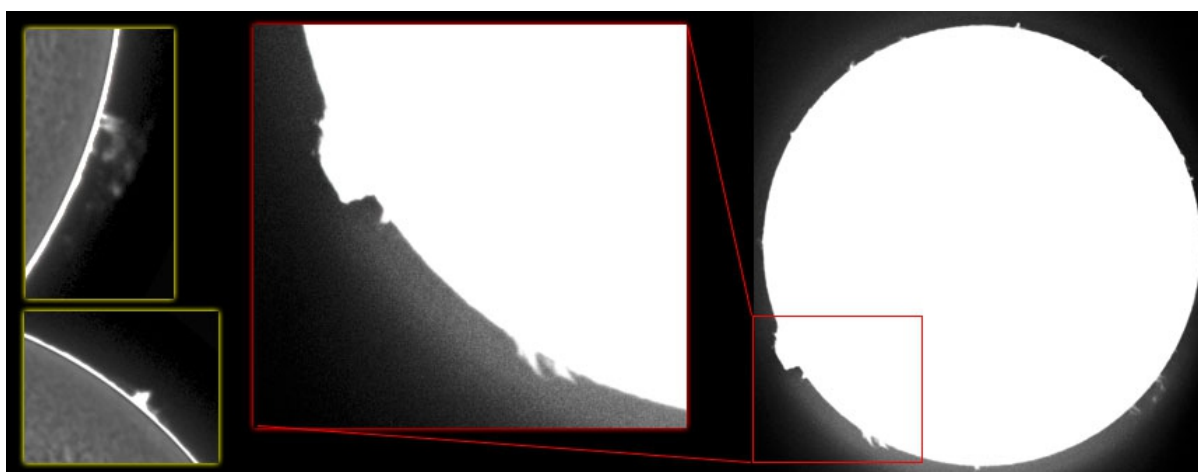
Slika 7: "Metuljast diagram"

Sončevi izbruhi

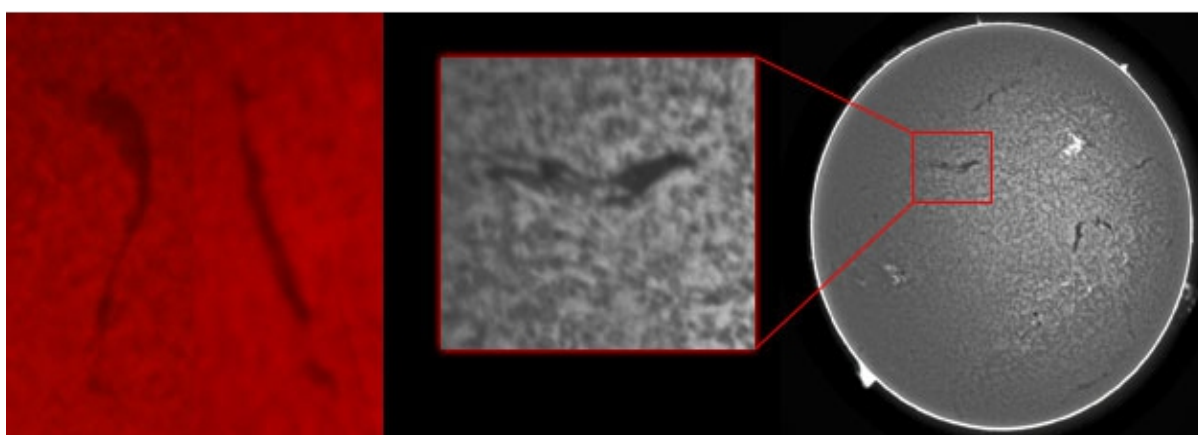
Sončevi izbruhi, poznani tudi kot protuberance, so masivni izbruhi plazme, ki jih Sonce požene skozi svojo fotosfero in atmosfero v vesolje. Nekateri izmed teh delcev so pospešeni z skoraj svetlobno hitrostjo. Sončeve izbruhe pogosto spremljajo močni blišči (imenovani tudi bakle), saj se pri tako silovitem pospeševanju nabitih delcev izseva ogromno elektromagnetnega valovanja zelo raznolikih valovnih dolžin. Večina bliščev ni vidnih s prostim očesom oziroma s preprostim teleskopom (metoda okularne projekcije), saj sprostijo energijo na valovnih dolžinah izven spektra vidne svetlobe. [12]

Tovrstni izbruhi se pojavijo na magnetno aktivnih območjih Sonca, ponavadi okoli Sončevih peg. Spremljajo jih lahko koronarni izbruhi oz. angleško »coronal mass ejections«. To so prav tako izbruhi nabitih delcev, vendar izhajajo iz Sončeve korone (atmosfere). Sončevi izbruhi tako tvorijo Sončev veter in medplanetarno vreme.

Izbruhe, ki so vidni na robu Sonca imenujemo protuberance, tiste, ki so usmerjeni direktno proti nam pa imenujemo filamenti. Nabiti delci, ki jih sonce preko filamentov izstrelji proti nam, imajo lahko velik vpliv na Zemljo. Povzročijo lahko geomagnetne nevihte, ki prekinajo delovanje elektronskih naprav. Poleg naprav na Zemlji pa so še posebej izpostavljeni sateliti in astronauti v vesoljski postaji. Izredno zanimiv fenomen je tudi aurora borealis oziroma severni sij. Ta nastane, ko se nabiti delci, ki jih proti nam izstrelji Sonce, ujamejo v Zemljino atmosfero, trčijo z molekulami zraka in povzročijo, da različni plini svetijo v svojih značilnih barvah.



Slika 8: Sončevi izbruhi - protuberance



Slika 9: Sončevi izbruhi - filamenti

3 Praktični del

Praktični del raziskovalne naloge zajema uporabo strojne in programske opreme šolskega observatorija, slikanje Sonca s solarnim teleskopom, računalniško obdelavo in analizo slik ter predstavlja dobljene rezultate. Poleg tega pa vsebuje tudi empirični sklop, v katerem te rezultate razloži.

Praktično delo pri izdelovanju raziskovalne naloge je bilo zagotovo najzanimivejše, vendar tudi najbolj dolgotrajno. Slike Sonca sva zajemala v obdobju enega koledarskega leta. Postopek dela je bil zahteven in se je večkrat spremenil. Pravzaprav sva sama odkrivala najboljši način za zajem in obdelavo posnetkov. Pri tem sva se spopadala s številnimi tehničnimi in drugačnimi težavami ter nekajkrat zamenjala tudi strojno in programsko opremo. Postopek dela sva izpopolnjevala in dobila številne meritve.

3.1 Oprema

Za opazovanje in fotografiranje Sonca sva uporabljala tako opremo iz šolskega observatorija kot opremo, ki jo je posodilo Astronomsko društvo Vega – Ljubljana.

Teleskop in filter

Za vsa opazovanja sva uporabljala solarni teleskop Lunt LS60T H α , ki ga je priskrbelo Astronomsko društvo Vega – Ljubljana. Teleskop ima 60 milimetrski premer vhodne odprtine ter 500 milimetrsko goriščno razdaljo. Opremljen je z H-alfa filtrom in možnostjo regulacije valovne dolžine prepuščene svetlobe. Del filtra je v ohišju teleskopa, del pa se nahaja v njegovi prizmi.



Slika 10: Fotografija solarnega teleskopa

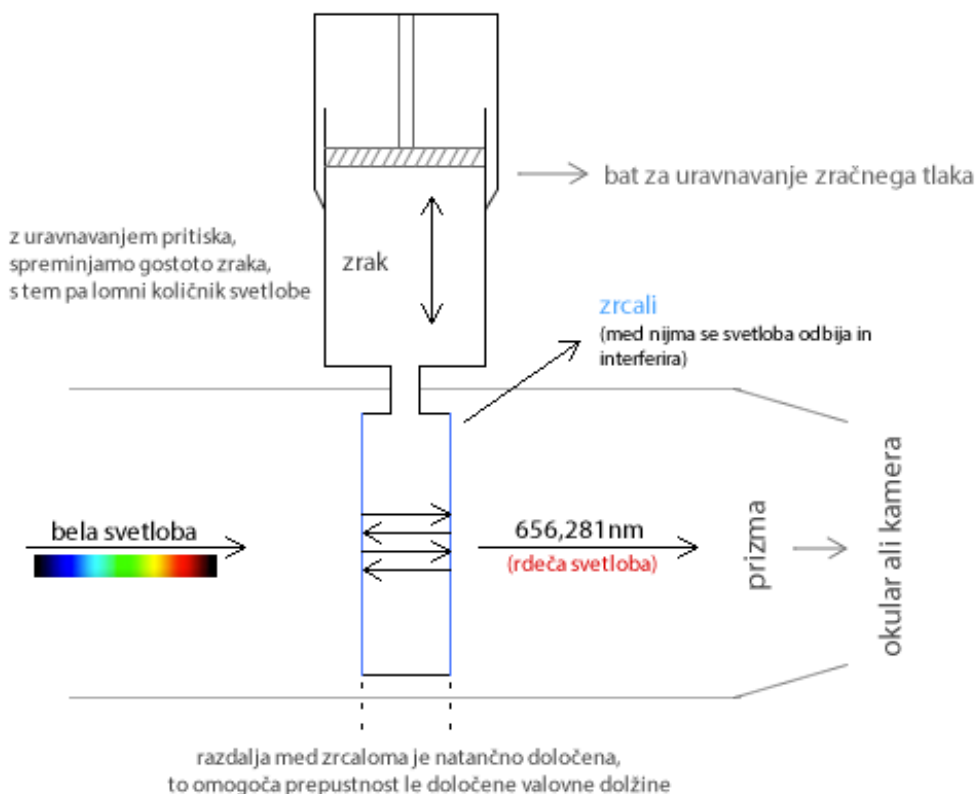
Zgradba in delovanje H-alfa filtra

Sonce seva elektromagnetno valovanje, H-alfa filter pa prepušča le njegov ozek del. Prepušča le svetlobo blizu valovne dolžine, ki jo na Soncu oddaja plinast vodik. Elektroni v vodikovih atomih namreč prehajajo med večimi (diskretnimi) energijskimi stanji. Prehode elektronov iz tretjega v drugi energijski nivo označimo s H-alfa. Pri tem pride do emisije fotonov, torej svetlobe, na valovni dolžini 656,281 nm (rdeča barva). H-alfa filter le-to valovno dolžino prepušča, kar pomeni, da sva skozi teleskop opazovala plinast vodik na Soncu, v rdeči barvi. [13]

Filter v najinem teleskopu je sestavljen iz dveh, deloma za svetlobo prepustnih zrcal, ki sta malenkost razmaknjeni. Svetloba interferira na tej tanki plasti. Filter prepušča svetlobo valovnih dolžin, katerih cel večkratnik ustreza razmiku med zrcali, ostale valovne dolžine pa odbija. Če spremenimo zračni tlak v reži med zrcaloma, smo s tem spremenili lomni količnik zraka in tako spremenili valovno dolžino svetlobe v snovi. Tako z nastavitvijo zračnega tlaka v prostoru med zrcaloma izbiramo frekvence svetlobe, ki jih filter prepušča. Zračni tlak spreminjamo s privijanjem oz. odvijanjem bata na teleskopu. Pravilna nastavitev tako omogoča, da nastavimo filter točno na frekvenco izbranega prehoda v vodikovem atomu.

V prizmi teleskopa se nahaja še en filter, ki ima širše območje prepuščanja okoli H-alfa črte, zadrži pa vse ostale valovne dolžine, katerih celi večkratniki so tudi enaki razmiku med zrcaloma.

Teleskop s prizmo modela H-alfa B1200 nama je tako omogočal varno opazovanje, poleg tega pa je razkril veliko podrobnosti, ki jih je na Soncu možno opaziti. S spreminjanjem nastavitve pritiska sva imela vpogled v različne »plasti« Sonca. To je posledica tega, da Dopplerjevega pojava vidimo spremenjeno valovno dolžino H-alfa črte v Sončevih izbruhih, v katerih se plin giblje z velikimi hitrostmi.



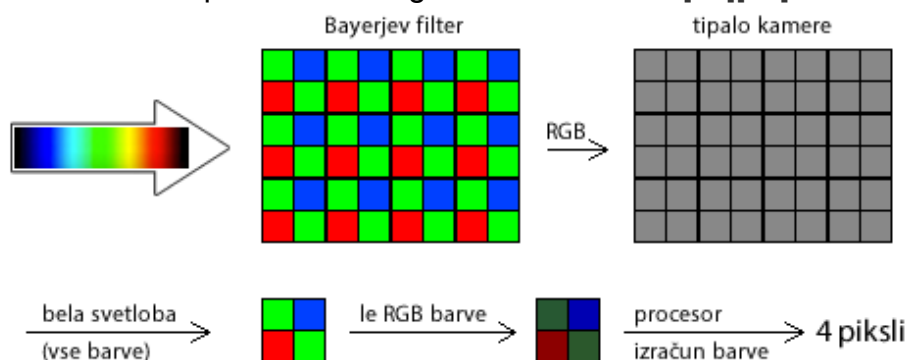
Slika 11: Ilustracija delovanja H-alfa filtra

Kamera

Za fotografiranje Sonca sva uporabljala dve različni kameri. Sprva sva uporabljala šolsko astronomsko kamero Imaging Source. Ta ima barvno CCD tipalo z ločljivostjo 640x480 slikovnih točk.

Za najine potrebe bi bilo bolje uporabiti monokromatsko kamero. Z uporabo zgornje sva namreč iz posamezne slike pridobila le četrtno potencialne kvalitete. To je posledica načina delovanja barvnih kamer.

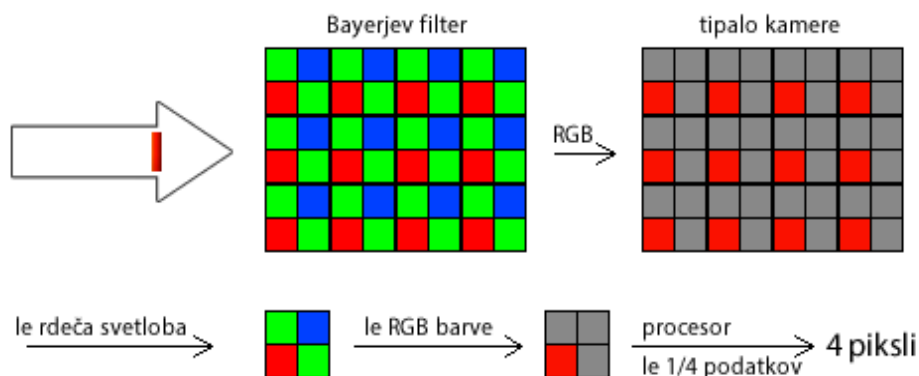
Večina kamer za ustvarjanje slike uporablja t.i. Bayerjev filter, ki leži pred tipalom kamere. Ta je mreža polj sestavljena iz filtrov treh osnovnih barv (RGB). Filter pred vsakim poljem tipala prepušča le eno osnovno barvo. Po štiri polja skupaj združujejo en filter modre, en rdeče in dva filtra zelene barve. Slednja prevladuje, ker so pri izdelavi filtra upoštevali, da je človeško oko najbolj občutljivo za zeleno barvo. Zaradi tega filtra torej ena četrtnina polj tipala meri intenziteto modre svetlobe, ena četrtnina intenziteto rdeče svetlobe in ena polovica polj intenziteto zelene svetlobe. Tipalo nato posreduje podatke vsake točke slikovnemu procesorju, ki z metodo interpolacije določi njeno barvo. V digitalnem zapisu to postanejo piksli. Piksel za pikslo nato zgradi celotno sliko. [14][15]



Slika 12: Ilustracija delovanja Bayerjevega filtra

Vrnimo se sedaj k našemu primeru slikanja Sonca. Omenili smo, da ima teleskop vgrajen filter, ki prepušča le vodikovo alfa črto in s tem le določeno barvo. Zato je edina barva, ki jo lahko skozi naš teleskop vidimo, rdeča. Oglejmo si še spodnjo ilustracijo in ugotovimo, kako to vpliva na izgubo skupne kvalitete slike.

Kot vidimo dobimo le $\frac{1}{4}$ vseh podatkov, ki so uporabljeni za sestavo (določitev barve) 4 pikslov. Rekonstrukcija, ki jo opravi procesor je zato manj natančna, kar se pozna na končni sliki



Slika 13: V tipalo kamere vstopi le rdeča barva - degradacija kvalitete

Nova kamera

Avtorja raziskovalne naloge sva imela srečo, da se je v zgodnjih jutranjih urah na dan 6.6.2012 odvijal prehod Venere preko Sončeve ploskve. Ta enkratni dogodek smo sicer poskusili spremljati iz šolskega observatorija, vendar nam oblačnost tega ni dopuščala. Tvrsten pojav pa je bil v AD Vega vzrok za nakup nove, boljše kamere, ki sva jo lahko uporabljala tudi midva.

Kamera Basler ace-A1300-30gm je črno-bela in zato odlična za najine potrebe. Poleg tega ima tudi večjo resolucijo, ki znaša kar 1296x966 slikovnih točk. Velika zahvala gre članom astronomskega krožka gimnazije Šentvid, ki so ustvarili program za zajemanje fotografij z novo kamero. S pomočjo mentorjev sva se novega postopka kmalu priučila tudi midva.

Fokalni reducer

S prvotno kamero sva pri fotografiranju v kader dobila le del Sončeve ploskve. To je pomenilo, da sva morala Sonce poslikati večkrat in slike računalniško sestaviti. To delo je bilo zelo zamudno. Poleg tega pa se tudi končna, sestavljena slika ni vedno izkazala za najboljšo. Z mentorjem smo se zato dogovorili za nakup fokalnega reducerja. Ta nama je omogočal, da sva celotno Sončevo ploskev poslikala le v dveh korakih, pri uporabi reducerja z novejšo kamero pa celo v enem.

Dejstvo je, da je s pomanjšanjem slike prišlo tudi do določene izgube kvalitete. A ugotovila sva, da je za najine potrebe bolj pomembno zajeti celotno Sonce na eno fotografijo kot pa podrobnosti na sliki. Kljub temu sva ohranila možnost slikanja brez reducerja. To nama je omogočilo boljše posnetke aktivnih območij na Soncu.

Za nakup fokalnega reducerja faktorja 0,5 smo se odločili po tem, ko smo njegovo uporabnost podprli z izračunom. Na fotografiji, posneti brez reducerja, smo ocenili premer Sonca in ugotovili, da bo zmanjšan na polovico ravno malo manjši od krajše stranice senzorja.

Montaža

Pri delu sva uporabljala nemško ekvatorialno montažo EQ6 Pro. Delo nama je olajšala z elektronskim sledenjem, poleg tega pa sva jo lahko daljinsko vodila. Montaža je bila stalno usmerjena proti Severnici.

3.2 Opazovanje in slikanje Sonca skozi solarni teleskop

Slikanje je potekalo iz šolskega observatorija na strehi gimnazije Šentvid. Večinoma sva to počela po pouku ter med poletnimi počitnicami. Poleg prostega časa naju je omejevalo tudi vreme, ki nama jo je nemalokrat zagodlo. Sonce sva opazovala približno tridesetkrat in pri tem nabrala 22 slik njegove površine.

Postavitev teleskopa in opazovanje Sonca

Po prihodu v observatorij sva opravila standardno rutino. Eden naju je vpisal v dnevnik, drugi pa je dvignil pomično streho. Na ekvatorialno montažo sva namestila solarni teleskop, nanj pa še primeren okular in vklopila elektronsko stojalo. Sprehodila sva se skozi računalniški vodič, s katerim sva nastavila trenutni čas, datum in koordinate (lokacijo observatorija). Nato sva z 9-kratno hitrostjo teleskop obračala proti Soncu in nestrpno gledala v okular, kdaj bova zagledala to gorečo podobo. Sprva ni bilo videti ničesar. Potrebna je bila namreč natančna poravnava teleskopa pri manjši hitrosti. Pri tem sva si pomagala s sencami, ki sta ju metala teleskop in stojalo. Z nekaj vaje sva kmalu zagledala našo zvezdo.



Slika 14: Opazovanje sence, ki jo mečeta teleskop in stojalo

Slikanje Sonca

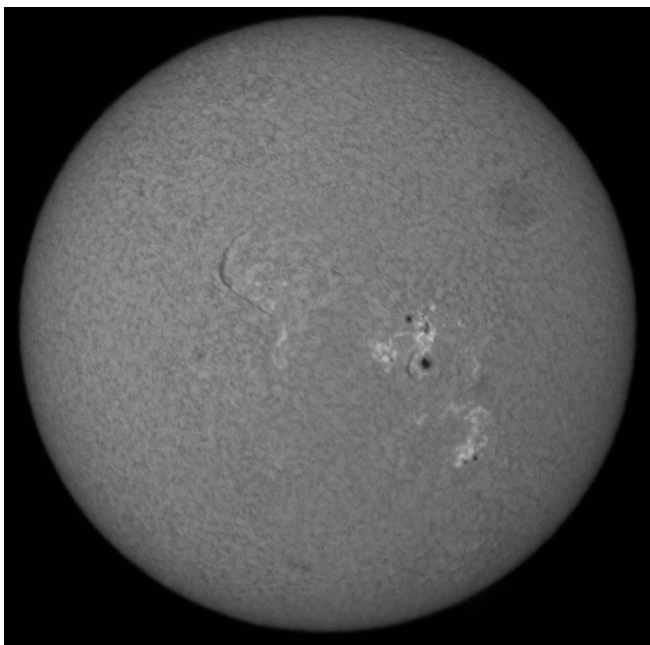
Poiskala sva kamero in nanjo privila fokalni reducer, nato pa sva jo vstavila v mesto okularja. Pri tem sva se poskusila držati vedno enake postavitve. Kamero sva vedno vstavila enako globoko ter jo obrnila v dogovorjeno smer. S tem sva si prihranila delo pri digitalni poravnavi slik v naslednjem koraku. Naš sistem so sedaj sestavljali teleskop, ki je prevzel funkcijo objektiva, fokalni reducer, ki je sliko zmanjšal ter kamera, ki jo je zajela in posredovala računalniku.

Na računalniku sva večkrat zamenjala programsko opremo. Ključna možnost le-te pa je bila spreminjanje ekspozicije in sposobnost zajema video posnetkov. Na tem mestu sva si delo razdelila, saj sta bila računalnik in teleskop nekoliko oddaljena. Eden je opazoval sliko na zaslonu, drugi pa jo je ostril in poravnaval teleskop.

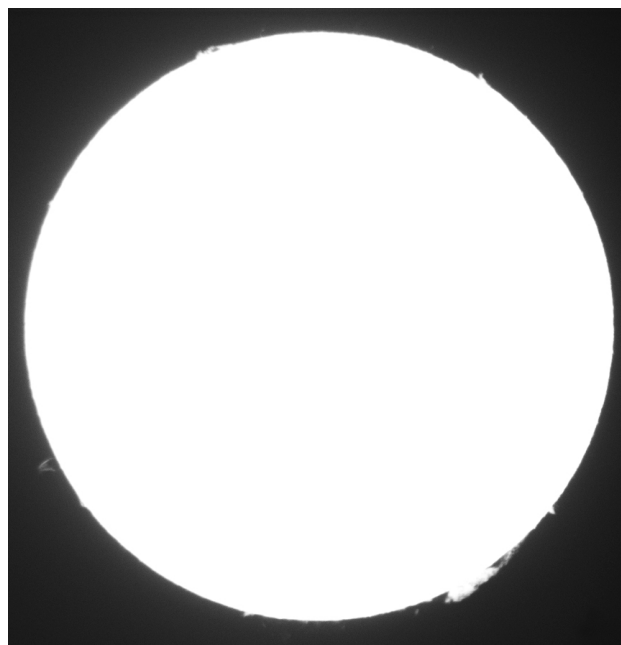
Pri najboljši možni kombinaciji nastavitvev sva nato zajela nekaj sekundni video posnetek Sončeve ploskve (kadar sva delala brez reducerja je bilo potrebno zajeti 4 do 10 različnih posnetkov). Razlog, da sva zajemala video posnetke in ne fotografij je možnost izboljšanja natančnosti slike s kasnejšo računalniško obdelavo.

Pri vsakem slikanju sva v resnici zajela vsaj dva posnetka pri različnih nastavitvah. Prvi je bil prilagojen za slikanje Sončevih peg. Tako sliko sva ponavadi rahlo podsvetlila. Drugi posnetek je bil prilagojen za opazovanje protuberanc. Sliko sva tokrat presvetlila in z batom za uravnavanje pritiska ustrezno nastavila prepustnost filtra.

Tovrstne postopke sva ponavljala vsako slikanje in vredno je omeniti, da sva se učila na lastnih napakah. Sprva nama marsikatera slika ni uspela, kasneje pa so se postopoma izboljševale.



Slika 15: Fotografija Sončevih peg



Slika 16: Fotografija Sončevih izbruhov

3.3 Računalniška obdelava posnetkov

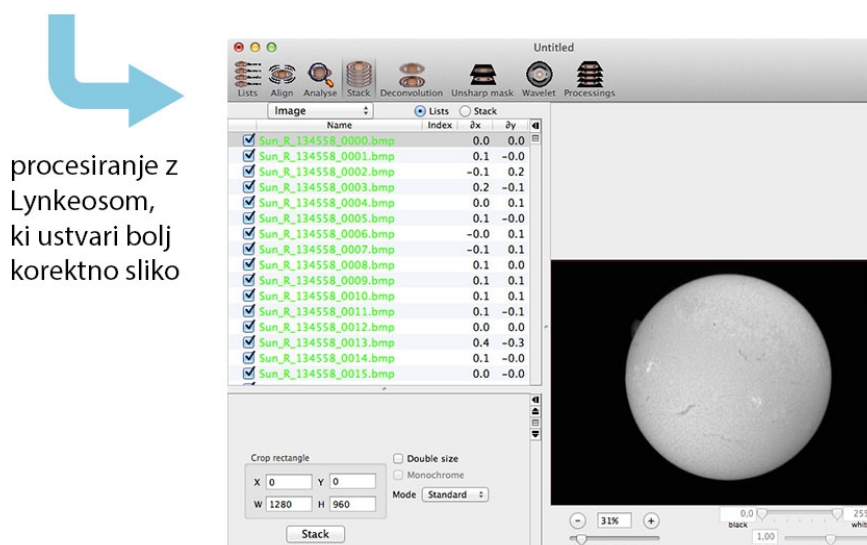
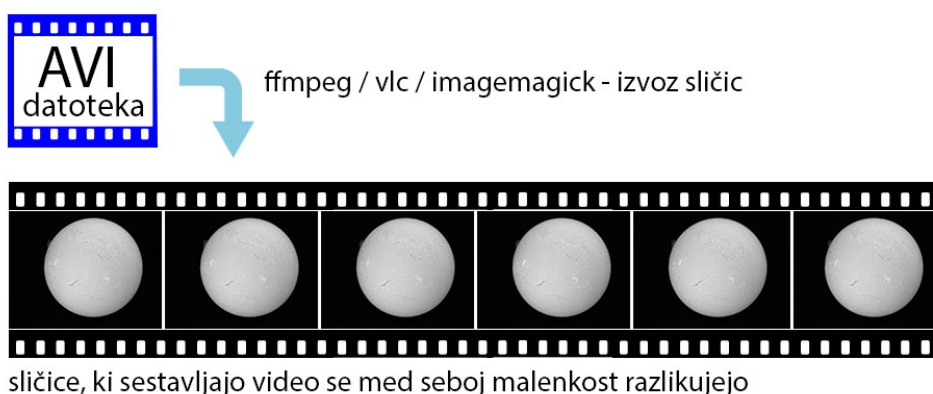
Od video posnetka do uporabne fotografije

Sedaj sva bila opremljena z veliko količino video posnetkov Sonca. Te sva morala spremeniti v drugačno obliko, s katere bi lahko razbrala čim več podatkov za nadaljnje delo. Najpomembnejšo vlogo v tem koraku je igrala organizacija datotek in dela.

Začela sva z uporabo računalniških orodji za izločanje posameznih sličic iz videa. Za to sva uporabila računalniško skripto in iz ene sekunde posnetka pridobila okoli 30 slik. To sva ponovila za vse video posnetke Sonca.

Vse slike pridobljene iz enega posnetka so se med seboj rahlo razlikovale. To je posledica opazovalnih pogojev in manjših tresljajev iz okolja. Pri opazovalnih pogojih so pomemben faktor odigrale turbulence v zraku. Vsakršno nemirno ozračje se namreč na sliki pozna. To je predvsem opazno na robu Sončeve ploskve, ki zato ni oster ter na posnetku migeta.

Najin cilj je bil pridobitev zanesljivih rezultatov, zato se nisva mogla zadovoljiti z eno samo izvzeto sliko. Namesto tega sva uporabila program Lynkeos, ki je analiziral serije zaporednih slik. Program je le-te ocenil, če so uporabne in jih poravnal (minimalni zamiki). Na podlagi teh pa je ustvaril novo sliko, ki je bila povprečje ostalih. Posledica tega je bila manj ostra, a bolj korektna, združena slika.

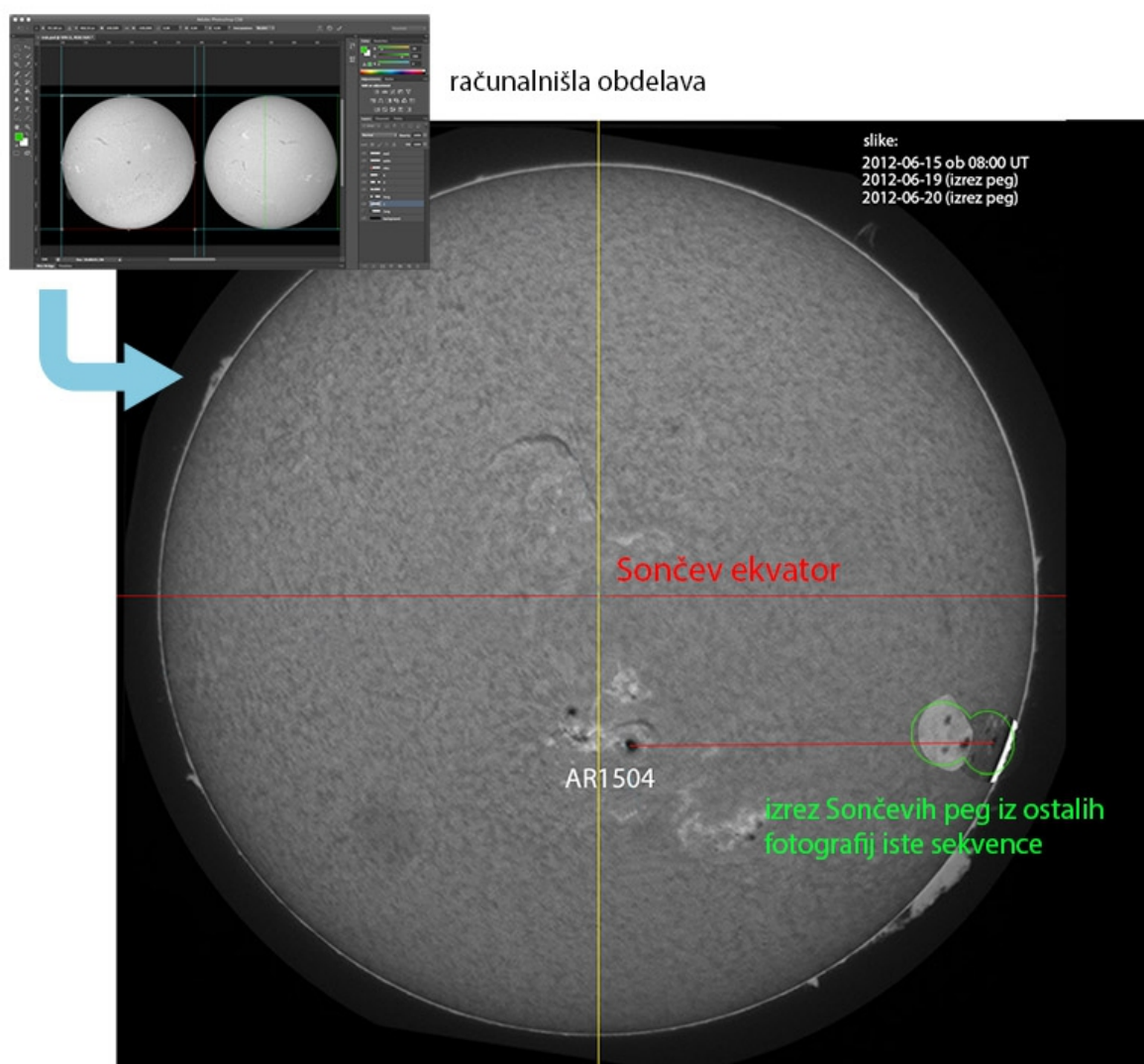


Slika 17: Shema, ki prikazuje potek digitalne obdelave

Poravnava Sončevega ekvatorja

Tovrstne fotografije Sonca so bile nared za predelavo v programu za manipulacijo slik. Primarni cilj pri tem delu je bila poravnava osi Sončevega vrtenja. Želela sva zagotoviti enako usmerjenost Sončevega ekvatorja na vseh slikah. Ta se je v večini primerov med slikami razlikovala, kljub temu, da sva kamero vedno obračala enako. Lotila sva se ročnega obračanja slik, to pa sva počela po dveh metodah.

Prva metoda je poravnava slik glede na rotacijo Sonca. To sva lahko izvajala le na slikah, na katerih so bile vidne iste pege. Običajno so bile to sekvence do enega tedna (slikano dnevno). Najprej je bila potrebna identifikacija istih peg na večih slikah. Slike sva nato v programu položila eno preko druge z uporabo slojev in prosojnosti. Enake pege sva poravnala na premico. Vse slike pa nato zavrtela tako, da je ta premica sovpadala z ekliptiko. Zadnji korak je bila še določitev Sončevega ekvatorja, ki je le vzporednica prej izrisani premici.



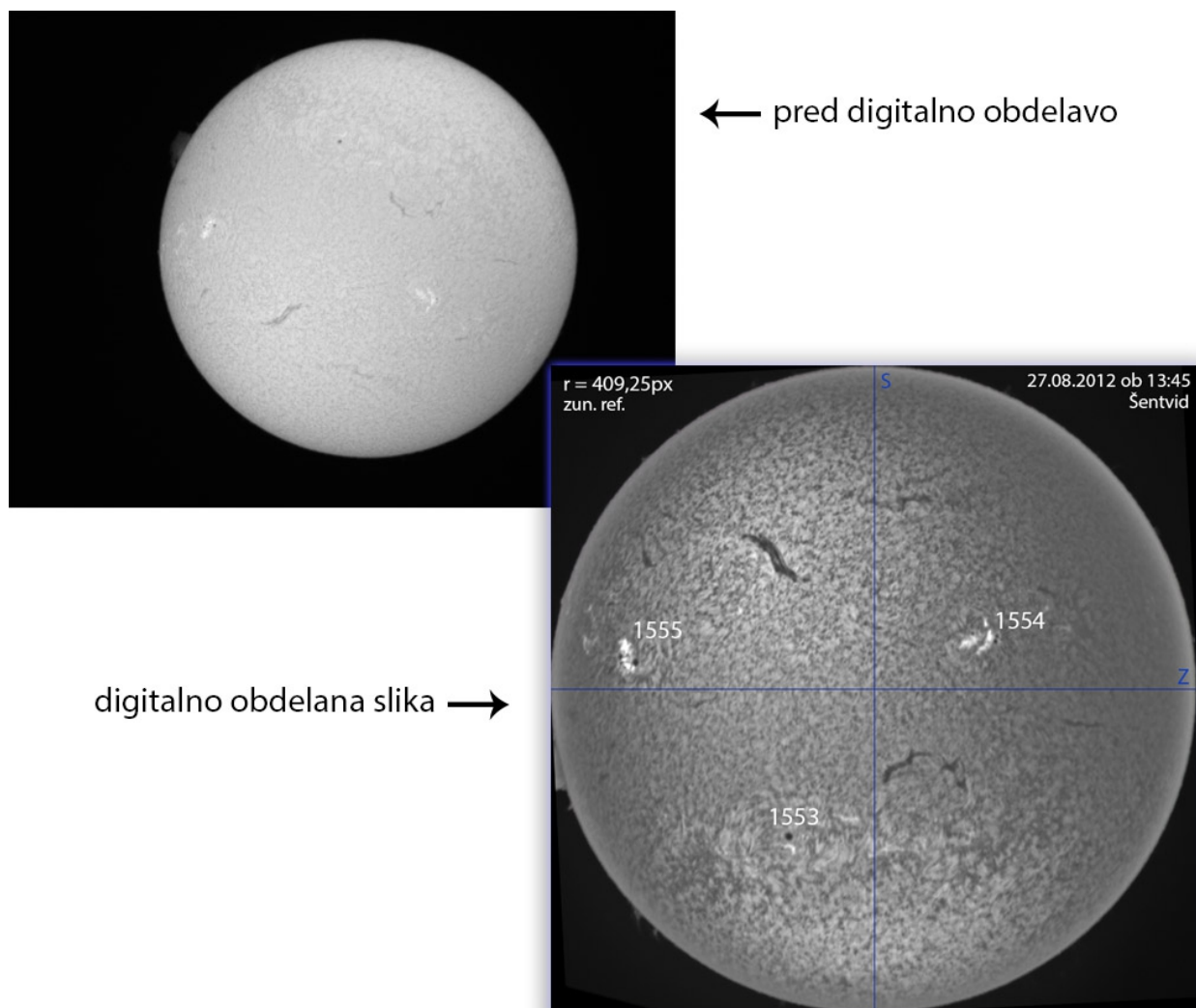
Slika 18: Metoda poravnave fotografije po sekvenci zaporednih slik

Druga metoda je poravnava slik po zunanji referenci. Poleg tega, da je bolj natančna, jo je možno izvesti za katerokoli sliko. Prve metode namreč nisva mogla uporabiti na fotografijah, kjer se pege ne ponavljajo.

Med iskanjem arhivov (H-alfa) slik Sonca sva naletela na ogromno podatkov. Za referenco pravilno obrnjenih slik sva uporabljala dva vira. To sta spletni mesti <http://www.spaceweather.com> in <http://cesar.kso.ac.at/>. Spletna stran SpaceWeather vsebuje dnevni arhiv slik in podatkov o Soncu, ki jih pridobi iz Nasinega dinamičnega solarnega observatorija. Druga spletna stran pa vsebuje javne arhive observatorija Kelhöhe v Gradcu.

Te slike imajo projekcijo Sončeve vrtilne osi poravnane v vertikalni smeri. Profesionalno fotografijo Sonca za izbran datum sva si prenesla na svoj računalnik in jo uvozila v program za obdelavo slik. Ponovno sva uporabila možnost prosojnosti in najino sliko vrtela, dokler se niso mesta peg ujemala. Enako sva storila s slikami protuberanc.

Po končanem orientiranju sva slike opremila še s krajem in časom slikanja ter po zgledu iz navedenih povezav označila Sončeve pege. Skupaj sva digitalno obdelala 21 slik.



Slika 19: Rezultat digitalne obdelave

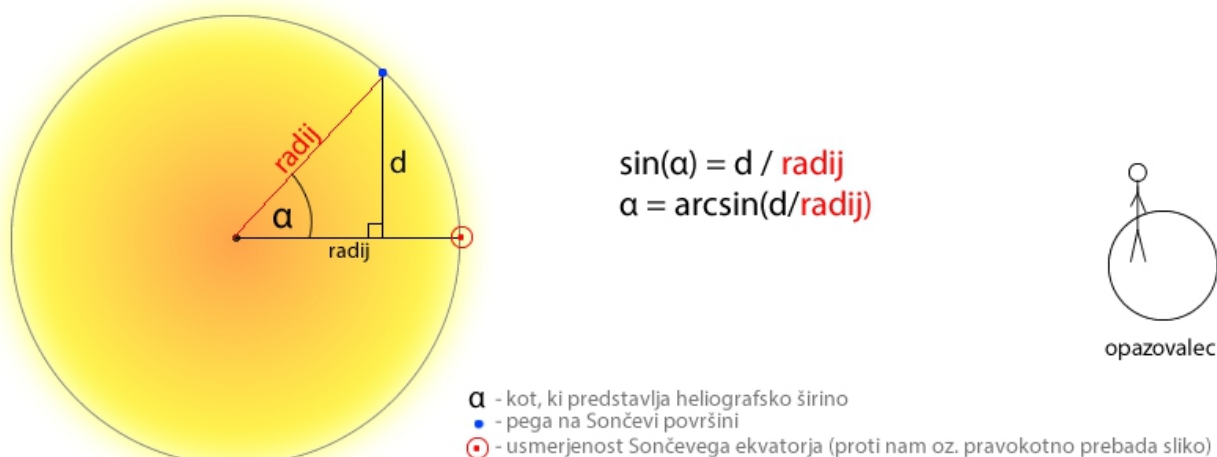
3.4 Analiza slik

Urejene slike so bile pripravljene na analizo. Za proučevanje vrtenja Sonca in ugotavljanje razporeditve Sončevih pojavov, je bilo potrebno določiti lokacije peg in protuberanc na Soncu.

Heliografski koordinatni sistem

Kot najprimernejši za najine potrebe se je izkazal heliografski koordinatni sistem. Ta nama je omogočal natančno in univerzalno določitev lokacije Sončevih peg. Sistem tvorita heliografska dolžina in heliografska širina.

Heliografska širina je kot med Sončevim ekvatorjem in poljubno točko na Sončevi površini severno ali južno od njega. Izhodišče kota je v središču Sonca, merimo pa ga v smeri proti severu ali proti jugu. Njegov razpon zato sega od -90° na južnem polu Sonca, do $+90^\circ$ na njegovi skrajno severni točki. Za izračun heliografske širine potrebujemo razdaljo med Sončevim ekvatorjem in izbrano točko ter polmer Sonca. Ti dve predstavljata kateto in hipotenuzo pravokotnega trikotnika. Iz njunega razmerja lahko z uporabo krožne funkcije arcus sinus izračunamo kot. Vse potrebne podatke lahko razberemo iz slik. Najlažje to storimo v pikslih.



Slika 20: Zgled izračuna heliografske širine

Drugo koordinato pa predstavlja kot med zveznico Sonce-Zemlja in posamezno pego na Sončevi površini vzhodno ali zahodno od nje. Pri tem je vredno omeniti, da je zahod na Soncu tam, kjer pege zahajajo. Tudi ta kot lahko izračunamo z uporabo krožne funkcije arcus sinus.

Za najine potrebe je zadostovala le izračunana vrednost kota glede na zveznico Zemlja - Sonce, zato nisva določala prave heliografske dolžine peg, ki je definirana kot kot med pego in izbranim ničelnim meridianom na Soncu. V Carringtonovem heliografskem sistemu je bil ničelni meridian (0°) definiran 1. januarja 1854 ob 12.00 po univerzalnem času. Od takrat naprej štejemo Sončeve obrate po dogovorjeni časovni enoti 25,38 dni. [16]

Izdelava računalniških programov za določanje koordinat

Po modelu Sončevega koordinatnega sistema sva lahko računsko določila koordinati Sončevih peg. Delo bi bilo zelo zamudno, če bi to počela za vsako pego. Metoda določanja s prosojno folijo z narisanim koordinatnim sistemom pa za najine potrebe ni dovolj natančna. Zato sva se odločila, da izdelava program, ki bo heliografske koordinate računal avtomatično.

Spletno računalo heliografskih koordinat

Zasnovala sva spletno aplikacijo v JavaScriptu. Ta od uporabnika zahteva dimenzije slike (če je slika urejena po zgoraj opisani metodi) oziroma radij Sončeve ploskve na sliki. Vrednost radija v pikslih izmerimo v programu za urejevanje fotografij in jo vnesemo v označeno polje v programu. Nato izmerimo še oddaljenost pege od središča Sončeve ploskve v smeri obeh osi. Vrednosti vnesemo in kliknemo na gumb Izračunaj. Program nam vrne heliografski koordinati, na katerih se Sončeva pega nahaja.

Izračun deluje po zgornjem zgledu heliografskega koordinatnega sistema. Osnovna enota s katero program operira, so piksli. Za računanje poskrbita matematična formula napisana v tehnologiji JavaScript, za izgled in postavitev spletne strani pa HTML in CSS.

Aplikacijo in izvorno kodo najdete na spletnem naslovu: <http://soncevaaktivnost.tk>

Vnesi podatke:

r: 800 x 800 = 400

x: 154

y: 73

Izračunaj

Koordinate:

dolžina: 22.643740

širina: 10.515412

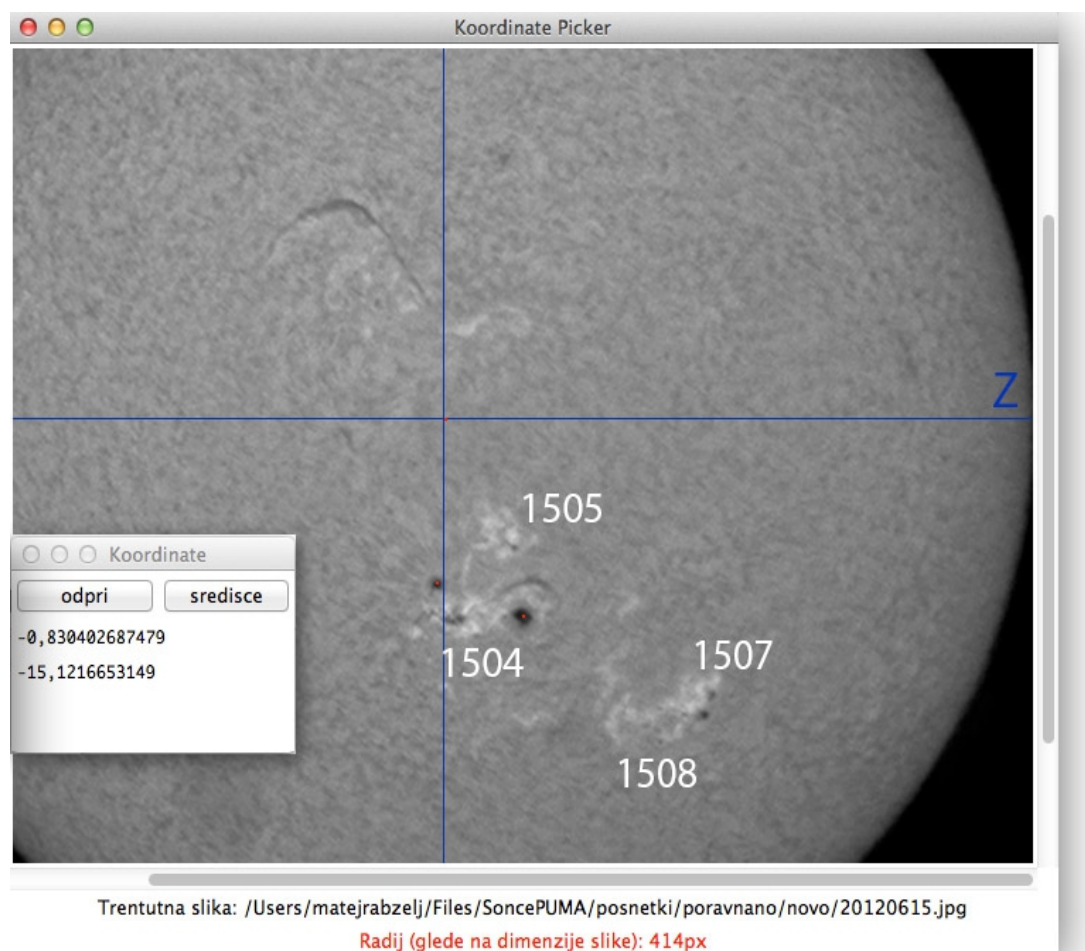
pomoč - zapri

Slika 21: Spletna aplikacija za izračun heliografskih koordinat

Izdelano računalno je poenostavilo delo, vendar je bil postopek merjenja monoton in zamuden. Odločila sva se za izdelavo novega programa.

KoordinatePicker, program za določanje koordinat z grafičnim vmesnikom

Izdelovanje novega programa je bilo tesno povezano z idejo o grafičnem vmesniku, ki bi delo še dodatno olajšal. Po nekaj dneh dela je nastala aplikacija KoordinatePicker, ki je omogočala uvoz slike ter grafično izbiro točk na njej. Uporabnik torej urejeno fotografijo Sonca odpre in na njej s kursorjem izbere Sončevo pego, program pa mu vrne heliografsko dolžino in širino. Čas, ki sva ga porabila za izdelavo aplikacije, je bil poplačan s hitrejšo analizo slik.



Slika 22: Program za določanje heliografskih koordinat z grafičnim vmesnikom

Aplikacija je napisana v programskem jeziku Python, njen uporabniški vmesnik pa sestavlja modul Tk/Tcl. Za delovanje potrebuje še naslednje module: Tkinter, Image, ImageTk, ImageDraw in math.

Princip delovanja programa temelji na navidezni mreži, ki je razporejena na kanvasu preko prikazane slike. Funkcija v programu nato beleži klike kursorja na posameznih točkah in jih predstavi v kartezičnem koordinatnem sistemu. Tu 1 piksel predstavlja 1 enoto. Za izhodišče sistema program vzame središče slike, ki ga izračuna glede na njene dimenzije. Pridobljeni koordinati posameznega klika deli s polmerom Sončeve ploskve, nato uporabi krožno funkcijo arcus sinus, ki vrne heliografski koordinati v radianih. Te so pretvorjene v kotne stopinje ter izpisane na zaslonu.

Program KoordinatePicker je navoljo za sisteme Windows, Linux in Mac OSX. Njegovo izvorno kodo najdete na spletnem mestu: <http://soncevaaktivnost.tk>

4 Rezultati

Pridobljene podatke iz slik sva zaradi lažje analize razvrstila v tabele. V stolpce sva razporedila zaporedno številko slike, datum in čas njenega nastanka ter njen radij. Temu sledijo zaporedna številka posamezne pege, označba s številom AR (število skupine) in v zadnjih dveh stolpcih njena heliografska dolžina in širina. Pege, ki so se ponovile večkrat sva po abecedi označevala z posamezno črko.

4.1 Izračun Wolfovega števila

Za vsako sliko sva izračunala njeno relativno število Sončevih peg po naslednji formuli:

$$R = (k_1 + k_2 + k_3) * (10 * S + P)$$

Črka R je označba za Wolfovo število. V prvem oklepaju imamo tri korekcijske faktorje. K1 predstavlja odprtino teleskopa in ga določimo s pomočjo posebnega grafa. K2 označuje vidljivost zaradi turbulenc v zraku, določamo ga po mirnosti roba Sonca. K3 pa določimo glede na opazovalne pogoje, tu ločimo med jasnim nebom, rahlo meglico, meglico, in meglo. Drugi oklepaj pa nam vrne vsoto 10-kratnega števila vseh skupin peg (črka S) in skupno število vseh peg na sliki (črka P). Vrednosti obeh oklepajev zmnožimo in dobimo približek relativnega števila vseh peg na Sončevi ploskvi.

Najin teleskop nama omogoča opazovanje tako peg kot protuberanc in filamentov. Je do neke mere vsestranski, vendar pa **ni prilagojen za opazovanje Sončevih peg**. Pege se najbolje opazi v teleskopih, ki imajo širokopasovne (bele) filtre, **zato določitev Wolfovega števila s H-alfa teleskopom ni primerljiva z nejkovo pravo vrednostjo**. Dobljene vrednosti so mnogo nižje, razlike pa ni mogoče korigirati s korekcijskimi faktorji, saj je odvisna od velikosti in intenzitete peg. Izračun Wolfovega števila je bil tako narejen le informativno, v demonstracijo, kako velike so lahko razlike med opazovanji v H-alfa svetlobi in v beli svetlobi.

Primerjava med izmerjenimi in pravimi vrednostmi Wolfovega števila:

Razpredelnica 1: Izračunana Wolfova števila

Datum:	Izračunano Wolfovo število:	Podatek iz observatorija Kanzelhöhe:
18.01.12	44,4	86
27.01.12	26,4	66
17.02.12	26,4	38
29.02.12	13,2	16
22.03.12	30	59
10.05.12	32,4	85
08.06.12	26,4	97
15.06.12	63,6	118
18.06.12	15,6	45
19.06.12	15,6	33
20.06.12	15,6	23
02.07.12	70,8	105
03.07.12	57,6	114
27.08.12	44,4	50
28.08.12	40,8	52
29.08.12	13,2	44
30.08.12	46,8	89
25.10.12	42	68
09.11.12	27,6	50
17.11.12	26,4	113
11.01.13	111,6	124

4.2 Odvisnost pojavljanja peg in protuberanc od heliografske širine

Za proučevanje pojavljanja Sončevih peg in protuberanc sva sprva iz tabel izvzela vse ponovitve že opazovanega pojava. Obdelala sva pojave iz 21 slik. Heliografskim širinam, ki so ostale sva prištela še vrednost kota B0. To je popravek zaradi projekcije Sončeve osi vrtenja na našo smer gledanja. Ta je v bil smeri vrtenja v levo in desno upoštevan že pri poravnavi slik, popravek v smeri nagiba proti nam oz. od nas pa se prišteje oziroma odšteje od iz slik izmerjenega kota. Velikost B0 sva dobila iz istih referenc kot pravilno orientirane slike in vrednosti Wolfovega števila.

V naslednjem koraku sva definirala intervale heliografske širine po pet stopinj. Celoten razpon intervalov je segal od -90° do $+90^\circ$, s čimer sva zajela celotno Sončevo širino. Nato sva v programu LibreOffice Calc uporabila funkcijo FREQUENCY, ki je beležila pogostost pojavljanja Sončevih peg na definiranih intervalih. Zabeležila sva tako prvotne rezultate, kot rezultate pri popravljeni heliografski širini s prišteto vrednostjo kota B0.

Pojavljanje Sončevih peg – ugotovitve

Ugotovila sva, da so se pege na najinih slikah pojavljale znotraj območja -35 do $+35$ stopinj. Število peg znotraj posameznih intervalov pa se razlikuje med merjenjem z izvorno in popravljeno heliografsko širino:

Razpredelnica 2: Pojavljanje Sončevih peg v odvisnosti od heliografske širine

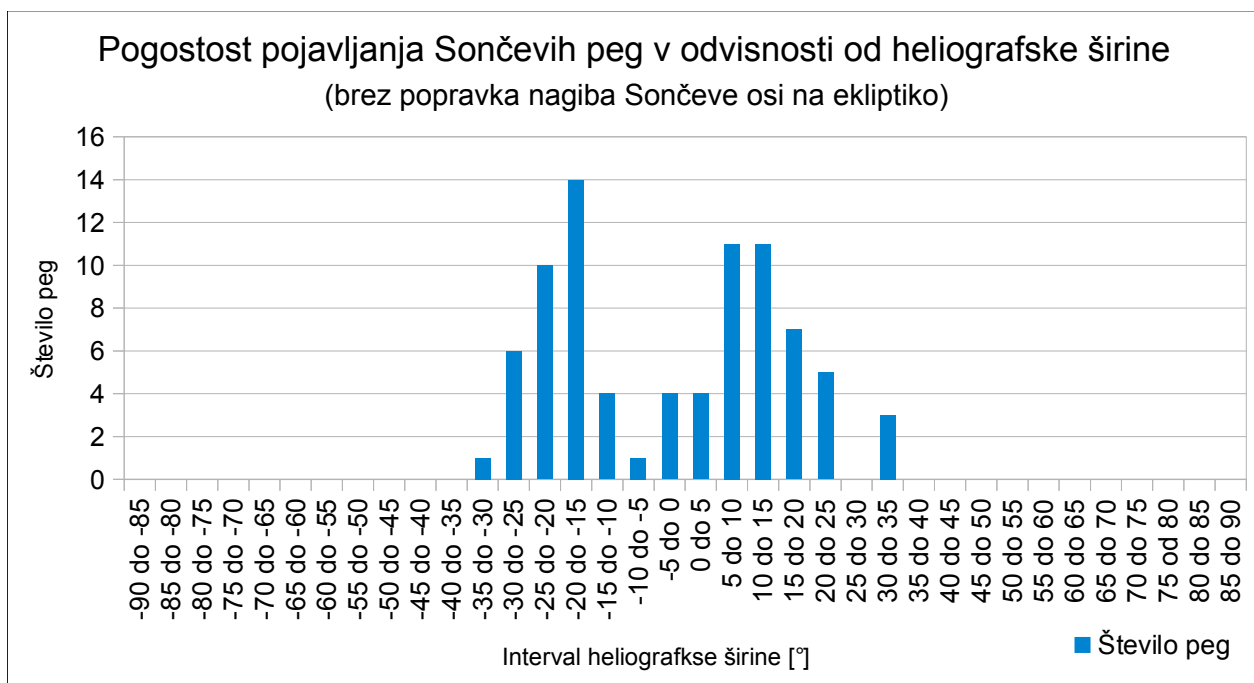
Interval širine:	Število peg:	Število peg s popravljeno širino:
-90 do -85	0	0
-85 do -80	0	0
-80 do -75	0	0
-75 do -70	0	0
-70 do -65	0	0
-65 do -60	0	0
-60 do -55	0	0
-55 do -50	0	0
-50 do -45	0	0
-45 do -40	0	0
-40 do -35	0	0
-35 do -30	1	1
-30 do -25	6	9
-25 do -20	10	4
-20 do -15	14	15
-15 do -10	4	6
-10 do -5	1	1
-5 do 0	4	0
0 do 5	4	6
5 do 10	11	12
10 do 15	11	10
15 do 20	7	14
20 do 25	5	0
25 do 30	0	3
30 do 35	3	0
35 do 40	0	0
40 do 45	0	0
45 do 50	0	0
50 do 55	0	0
55 do 60	0	0
60 do 65	0	0
65 do 70	0	0
70 do 75	0	0
75 od 80	0	0
80 do 85	0	0
85 do 90	0	0

Vrednosti skupnega seštevka peg na severni in na južni polobli sta si zelo blizu. Presenetljivo je podobnost celo večja pri izvirni (nepopravljeni) širini.

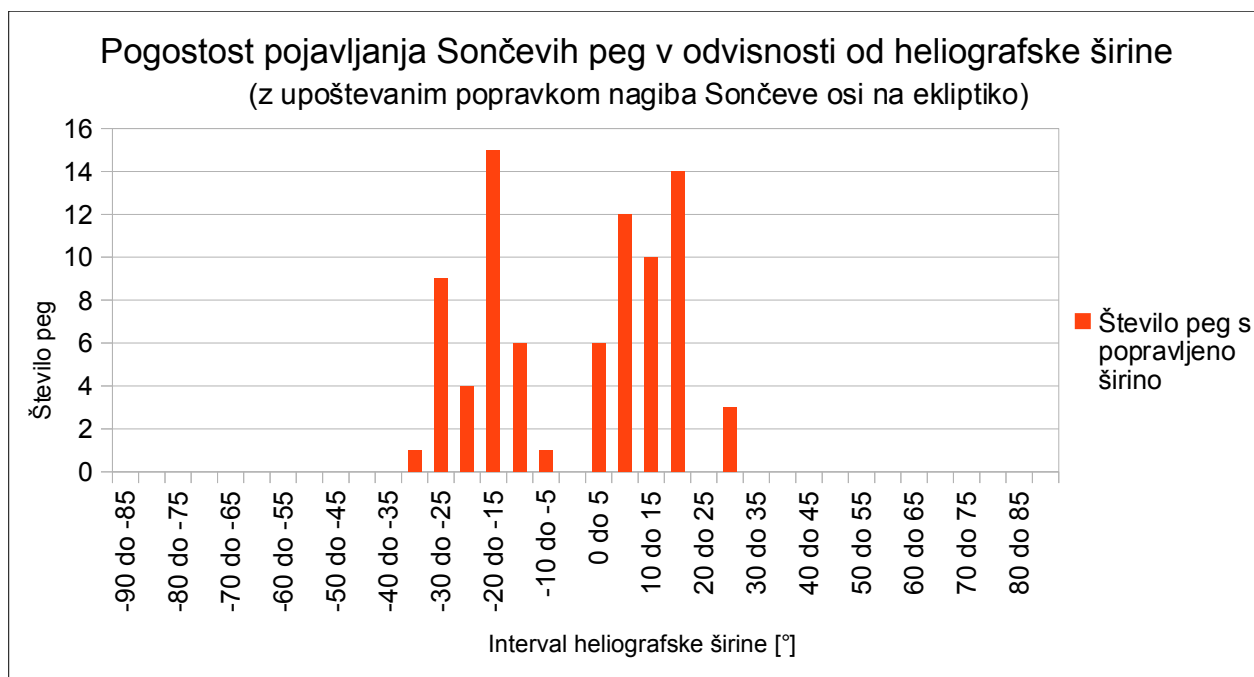
Razpredelnica 3: Vsota Sončevih peg za južno in severno poloblo

Kraj pojavljanja:	Število peg:	Število peg s popravljeno širino:
južna polobla	40	36
severna polobla	41	45

Pridobljene rezultate sva prikazala tudi na grafih:



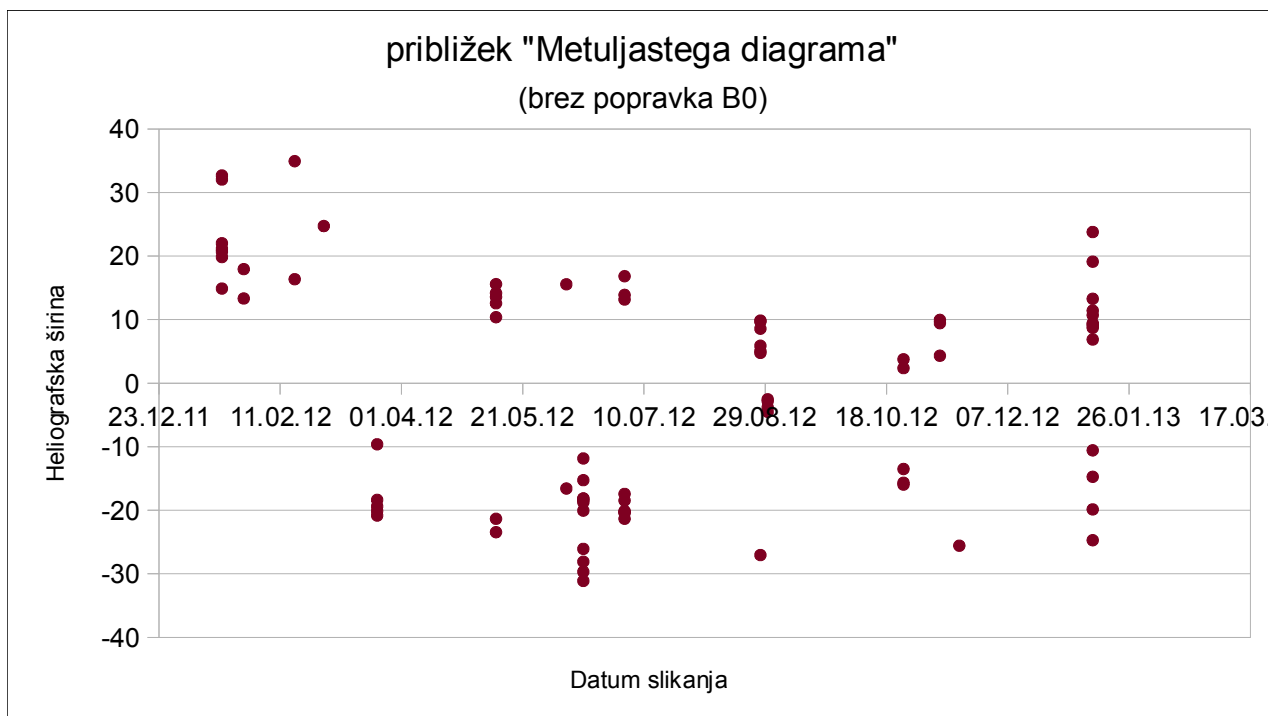
Graf 1: Pojavljanje Sončevih peg v odvisnosti od heliografske širine, brez popravka B0



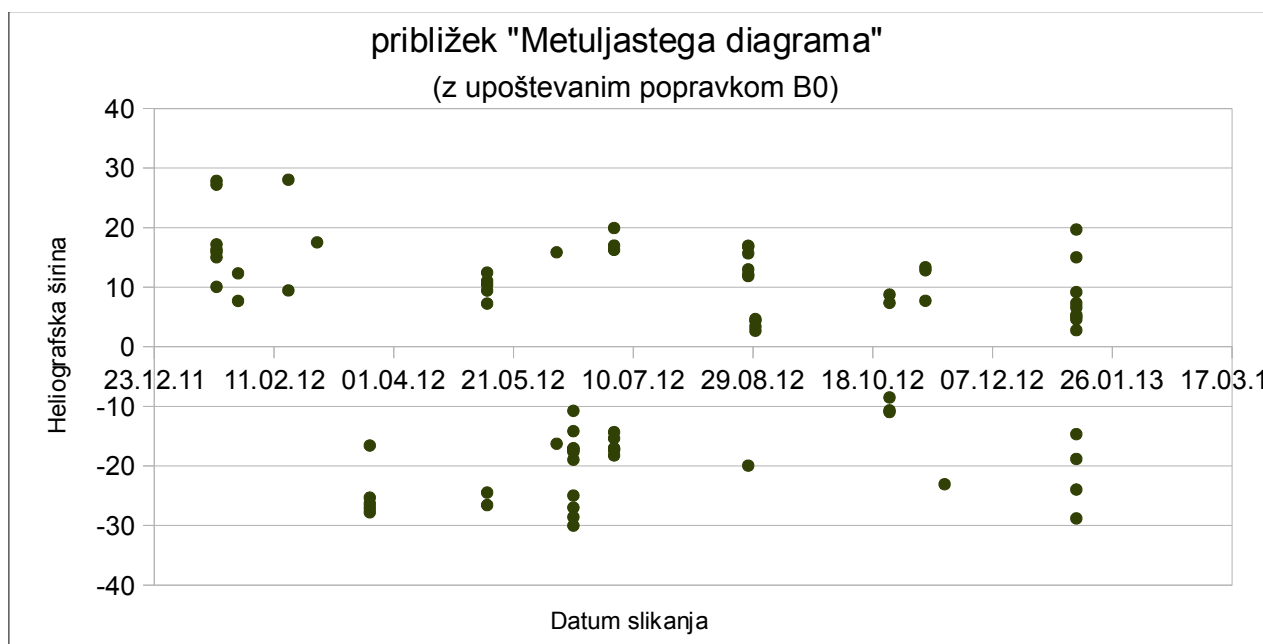
Graf 2: Pojavljanje Sončevih peg v odvisnosti od heliografske širine, z popravkom B0

Iz grafov na prejšnji strani lahko razberemo, da je simetrija med pojavljanjem na severnih in južnih heliografskih širinah nekoliko podrtá – na južni strani je največ peg na intervalu med 30° in 15° , na severni strani pa med 25° in 5° . Težišče pojavljanja Sončevih peg je pomaknjeno na severno poloblo Sonca.

Prav tako sva ustvarila približek »metuljastega grafa«, ki pa zaradi občutno manjšega števila opazovanj ni primerljiv z diagramom, ki ga izdelajo z združevanjem meritev iz mnogih observatorijev. Tudi ta graf upošteva vsako pego le enkrat, sicer bi dali večjo težo pegam, ki smo jih večkrat opazovali.



Graf 3: Približek "metuljastega grafa" brez popravka B0



Graf 4: Približek "metuljastega grafa" s popravkom B0

Zanimalo naju je v kolikšni meri vpliva število opazovanj na rezultate. Za primerjavo sva upoštevala le 9 od skupno 21 slik. Spodnje tabele in grafe sva izdelala preden sva opravila vsa slikanja.

Razpredelnica 4: Pojavljanje peg v odvisnosti od heliografske širine - podatki iz le devetih slik

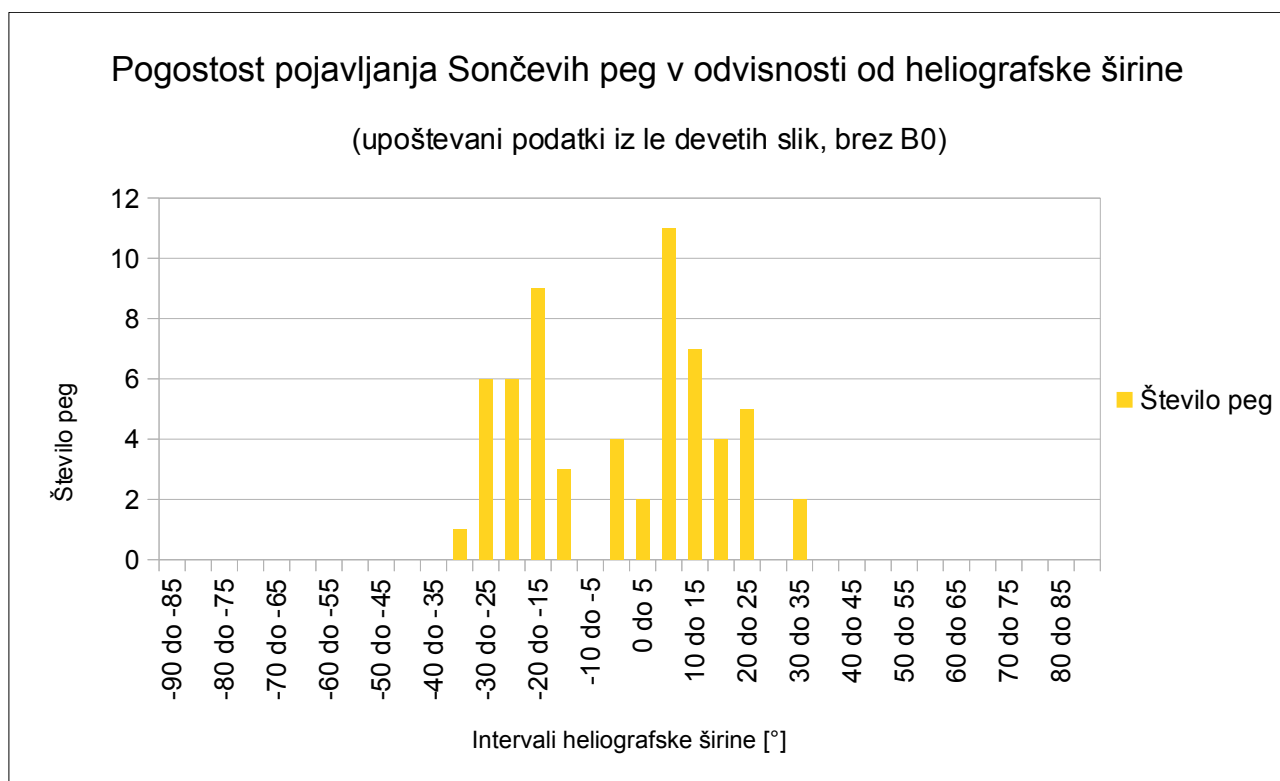
Interval širine:	Število peg:	Število peg s popravljeno širino:
-90 do -85	0	0
-85 do -80	0	0
-80 do -75	0	0
-75 do -70	0	0
-70 do -65	0	0
-65 do -60	0	0
-60 do -55	0	0
-55 do -50	0	0
-50 do -45	0	0
-45 do -40	0	0
-40 do -35	0	0
-35 do -30	1	1
-30 do -25	6	4
-25 do -20	6	3
-20 do -15	9	13
-15 do -10	3	4
-10 do -5	0	0
-5 do 0	4	0
0 do 5	2	6
5 do 10	11	7
10 do 15	7	7
15 do 20	4	13
20 do 25	5	0
25 do 30	0	2
30 do 35	2	0
35 do 40	0	0
40 do 45	0	0
45 do 50	0	0
50 do 55	0	0
55 do 60	0	0
60 do 65	0	0
65 do 70	0	0
70 do 75	0	0
75 do 80	0	0
80 do 85	0	0
85 do 90	0	0

V tem primeru je odstopanje števila peg na severu in jugu večje, kar je pričakovano, saj z manj meritvami dobimo slabše ocene verjetnostne porazdelitve peg. Vendar pa je oblika porazdelitve precej podobna kot pri upoštevanju vseh podatkov. To nam nakazuje, da oblika porazdelitve ni le plod opazovalnega šuma in da opazovanj ni drastično premalo, da bi iz njih lahko potegnili zaključke. Že samo dejstvo, da so se pege pojavljale na zelo širokem področju heliografskih širin se ujema s pričakovanji v bližini viška sončeve aktivnosti.

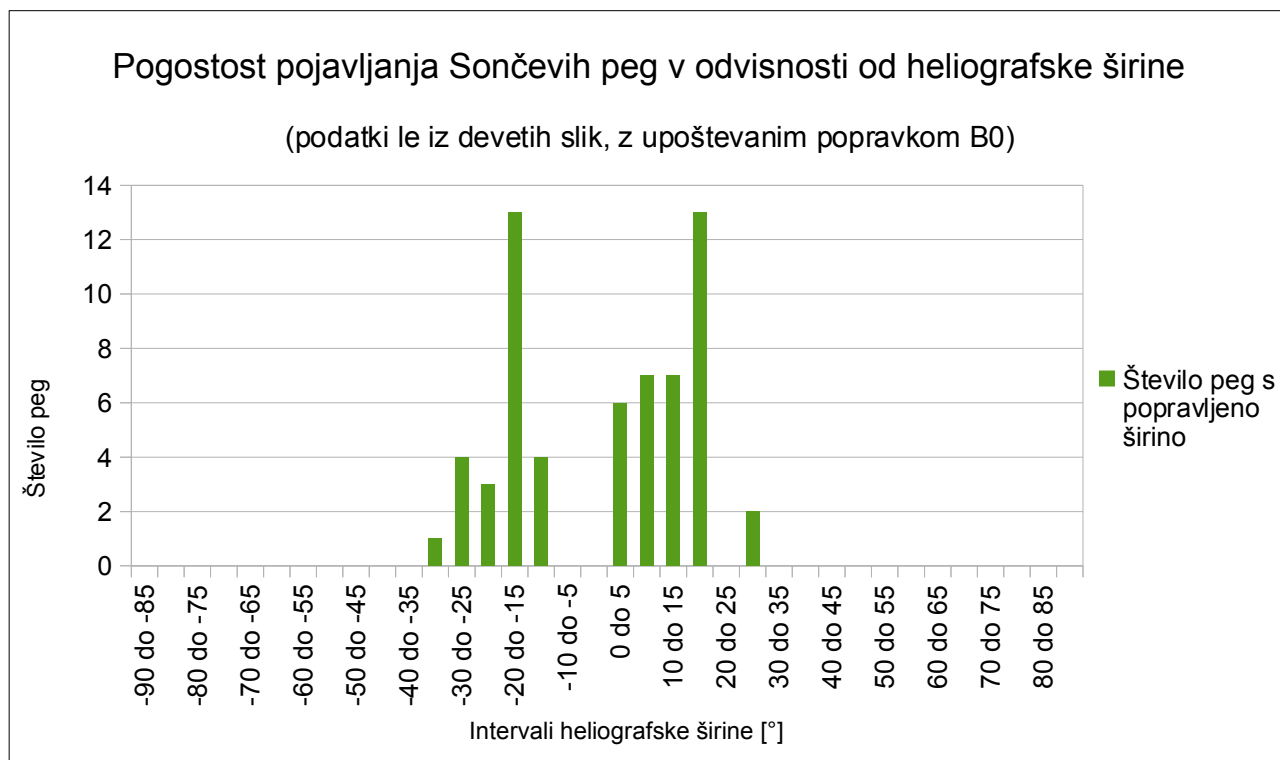
Razpredelnica 5: Vsota Sončevih peg za južno in severno poloblo - podatki iz le devetih slik

Kraj pojavljanja:	Število peg:	Število peg s popravljeno širino:
južna polobla	29	25
severna polobla	31	35

Na podlagi teh tabel sva ponovno izdelala grafe:



Graf 5: Pojavljanje peg v odvisnosti od heliografske širine - brez B0, podatki iz le devetih slik



Graf 6: Pojavljanje peg v odvisnosti od heliografske širine - z B0, podatki iz le devetih slik

Pojavljanje protuberanc – ugotovitve

Ker sva uporabljala H-alfa teleskop sva imela prednost pri opazovanju Sončevih izbruhov, zato sva jih natančno analizirala. Določila sva heliografsko širino na kateri se pojavljajo ter izmerila njihovo velikost ter površino. Skupaj sva imela deset uporabnih slik, na katerih se protuberance ne ponavljajo.

Rezultati kažejo, da imajo protuberance bistveno širšo porazdelitev po heliografskih širinah kakor pege. Zanimivo je, da so se protuberance pojavljale nekoliko pogosteje na nasprotni polobli kakor pege.

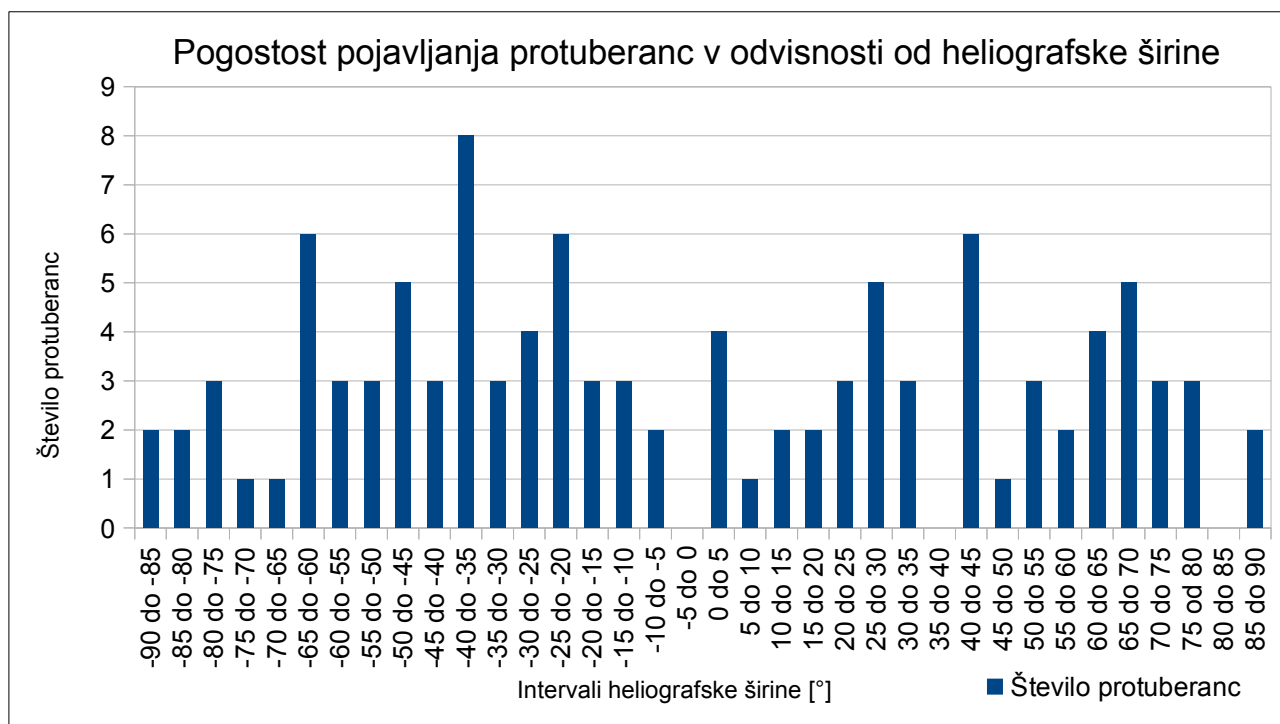
Razpredelnica 6: Pogostost pojavljanja protuberanc v odvisnosti od heliografske širine

Interval širine:	Število protuberanc:
-90 do -85	2
-85 do -80	2
-80 do -75	3
-75 do -70	1
-70 do -65	1
-65 do -60	6
-60 do -55	3
-55 do -50	3
-50 do -45	5
-45 do -40	3
-40 do -35	8
-35 do -30	3
-30 do -25	4
-25 do -20	6
-20 do -15	3
-15 do -10	3
-10 do -5	2
-5 do 0	0
0 do 5	4
5 do 10	1
10 do 15	2
15 do 20	2
20 do 25	3
25 do 30	5
30 do 35	3
35 do 40	0
40 do 45	6
45 do 50	1
50 do 55	3
55 do 60	2
60 do 65	4
65 do 70	5
70 do 75	3
75 do 80	3
80 do 85	0

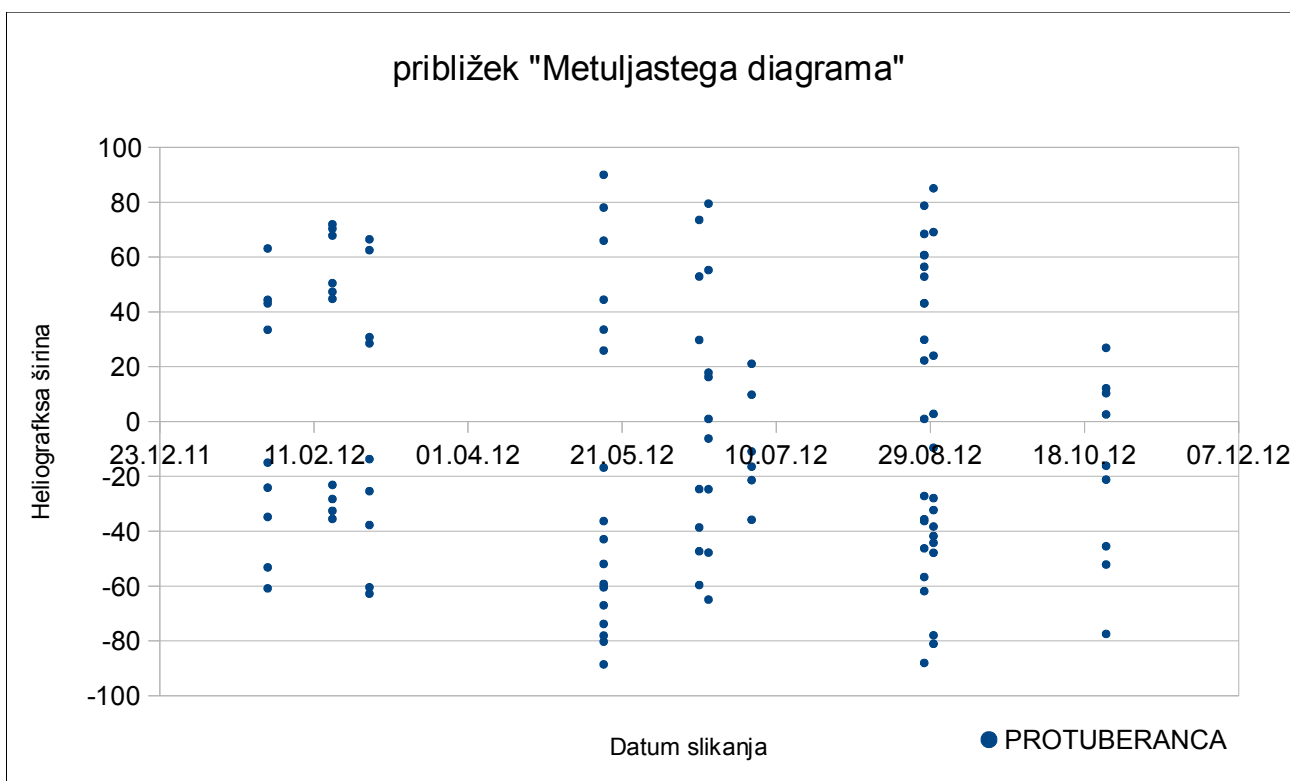
Razpredelnica 7: Vsota protuberanc na južni in severni polobli

Kraj pojavljanja:	Število protuberanc:
južna polobla	58
severna polobla	49

Izdelana grafa na podlagi zgornje tabele:



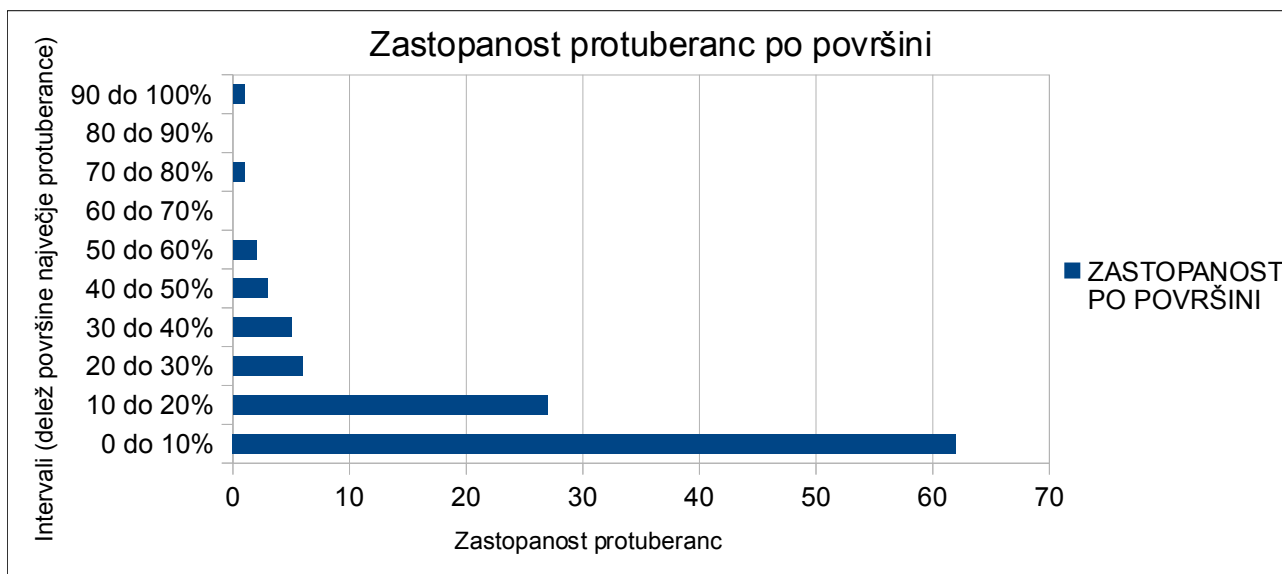
Graf 7: Pogostost pojavljanja protuberanc v odvisnosti od heliografske širine



Graf 8: približek "metuljastega grafa" - protuberance

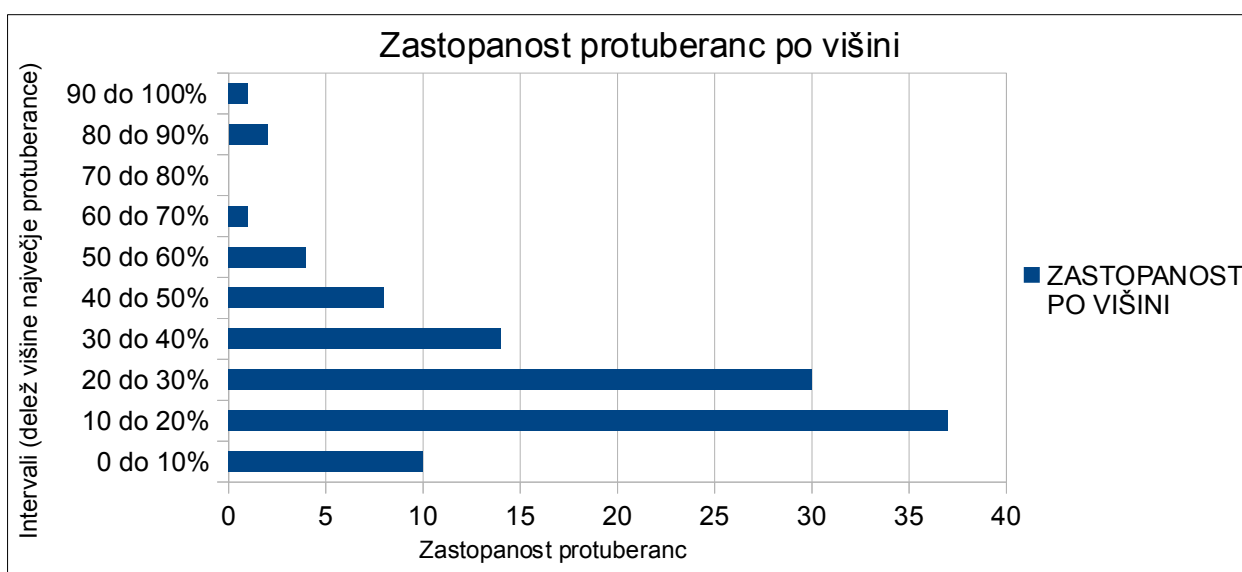
Protuberance sva razvrstila tudi po velikosti in na grafu prikazala njihovo zastopanost. Največjo v svoji kategoriji (površina ali višina) sva označila z 1 oziroma 100%. Tako sva dobila relativno merilo glede na katerega sva izrazila ostale protuberance. Obe lastnosti sva izmerila v pikslih. Pomemben vir napake, ki ga je vredno omeniti je, da pri merjenju velikosti ne moremo vedeti kolikšen del protuberance dejansko vidimo.

Največja protuberanca, ki sva jo zabeležila meri 2065 pikslov površine, kar predstavlja 0,38% površine Sončeve ploskve. To sva vzela kot 100% in nato ostale izrazila kot delež te. Spodnji graf prikazuje pogostost pojavljanja protuberanc v odvisnosti od njihove površine:



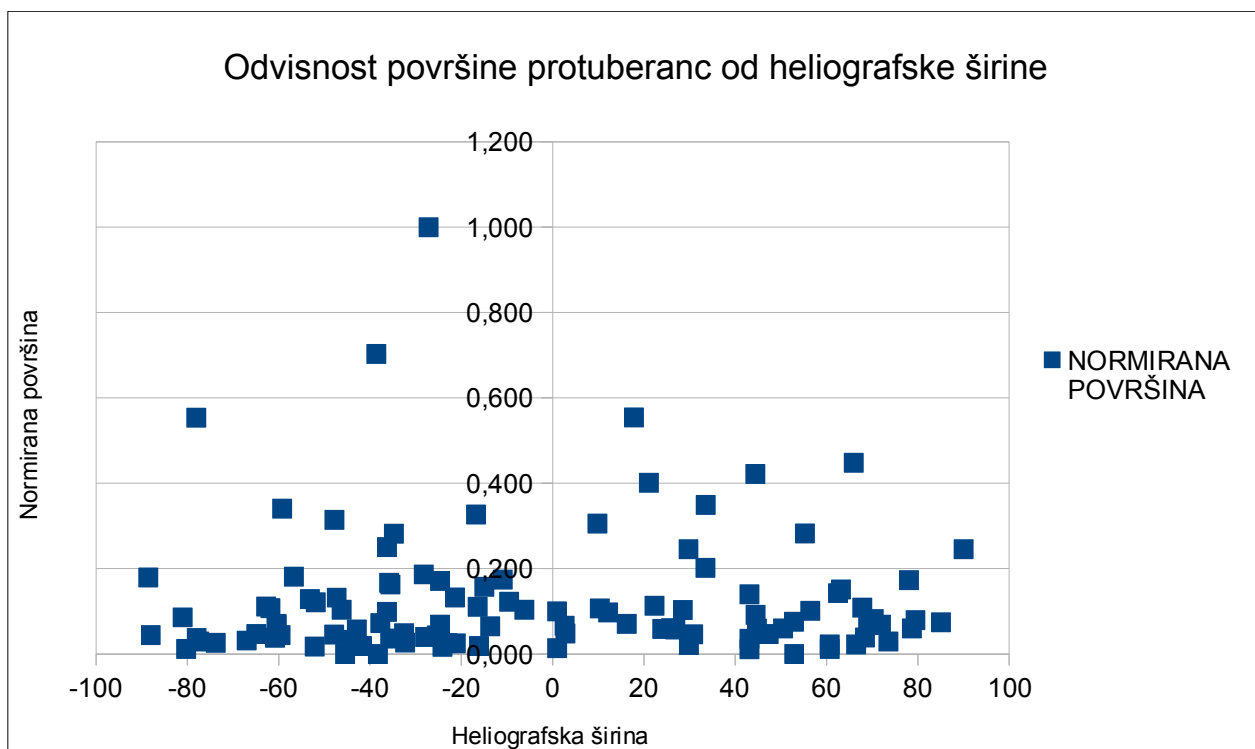
Graf 9: Zastopanost protuberanc po površini

Višino protuberanc sva merila radialno iz Sonca. Največja izmerjena vrednost je 47 pikslov oziroma 13,1% Sončevega polmera. Razlog, da je najmanjših protuberanc nekoliko manj kot za razred večjih, je najverjetneje v tem, da je zelo majhne protuberance zelo težko ločiti od negladkega roba Sonca in jih zato na posnetkih nisva vseh prepoznala in označila.

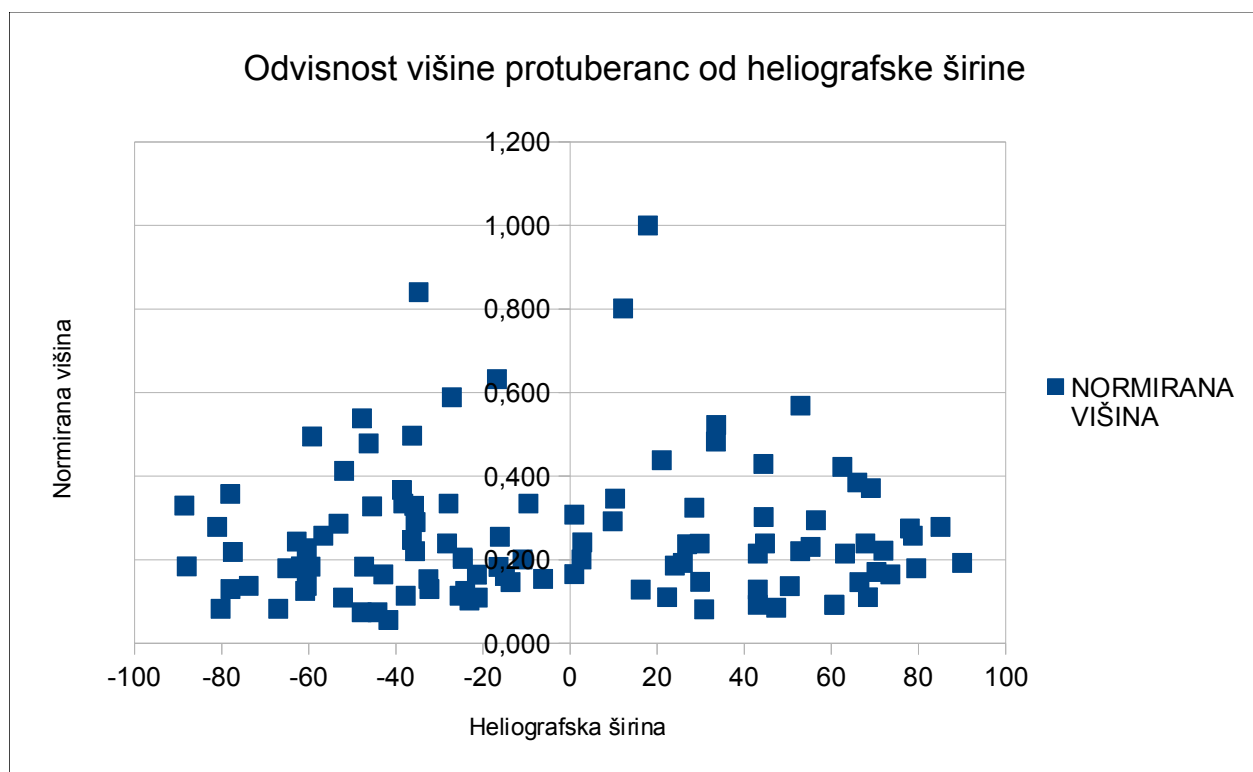


Graf 10: Zastopanost protuberanc po višini

Poleg tega sva proučila tudi odvisnost izmerjenih velikosti in kraja pojavljanja protuberanc. Grafa nakazujeta, da so se večje protuberance najpogosteje pojavljale v območju od 20° do 60° severne in južne heliografske širine.

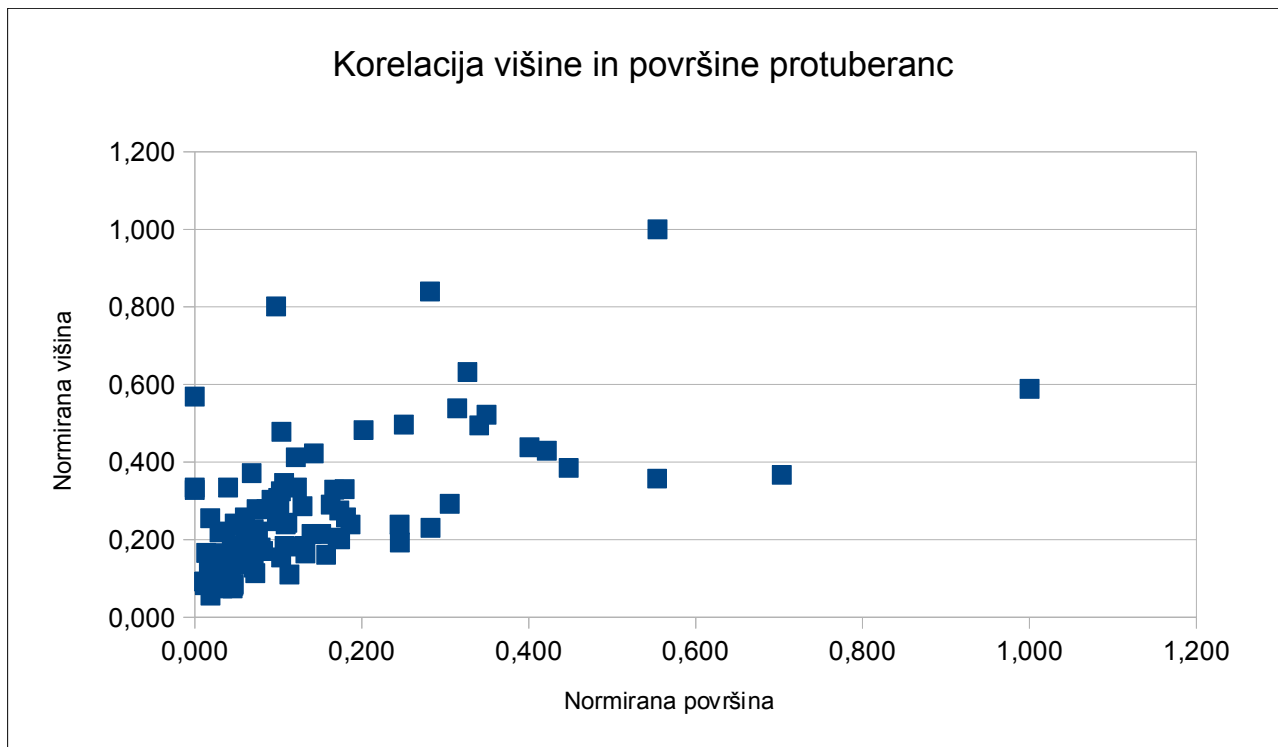


Graf 11: Odvisnost površine protuberanc od heliografske širine



Graf 12: Odvisnost višine protuberanc od heliografske širine

Glede na to, da merimo velikost izbruhov na dva načina, naju je zanimalo, koliko sta višina in površina Sončevih izbruhov med seboj povezani. To sva najlažje ponazorila z grafom. Bolj, ko je ta linearen in tem bolj kot so točke neraztresene, večja je stopnja povezanosti med višino in površino protuberanc. Vidimo lahko, da je pri manjših protuberancah povezanost močnejša kot pri večjih. Razlog tiči v tem, da so protuberance zelo različnih oblik in tudi vidimo jih pod zelo različnimi koti.



Graf 13: Korelacija višine in površine protuberanc

4.3 Vrtenje Sonca

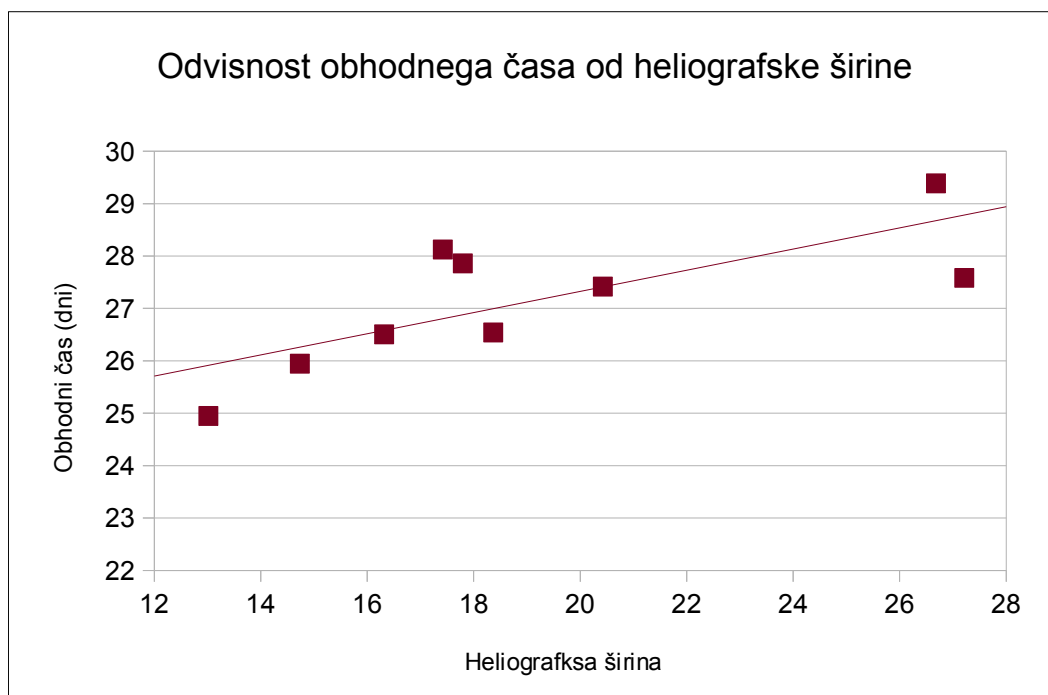
Rotacijo sonca sva analizirala na podlagi lokacije Sončevih peg. Slednje so namreč opazno potovale preko Sončeve ploskve na sliki. Uspela sva določiti obhodni čas posamezne pege. Tega sva nato primerjala z pravimi vrednostmi za izbrane heliografske širine.

Formula za izračun obhodnega časa temelji na časovni razliki opazovanja posamezne Sončeve pege in razliki njenih heliografskih dolžin. Poleg tega pa upošteva napako, ki jo vidimo zaradi gibanja Zemlje okoli Sonca.

$$t_0 = \frac{360}{\left(\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\right) + \left(\frac{360}{t_z}\right)}$$

Z beleženjem spremembe kota posamezne pege glede na zveznico Zemlja – Sonce v merjenem časovnem intervalu lahko izračunamo navidezno kotno hitrost Sonca. Navidezna kotna hitrost pa je v resnici razlika med kotno hitrostjo Sonca in kotno hitrostjo Zemlje. Tako moramo izmerjeni navidezni kotni hitrosti Sonca prišteti kotno hitrost Zemlje (to poznamo – polni kot opiše Zemlja v enem letu), da dobimo pravo kotno hitrost Sonca. Iz kotne hitrosti nato izračunamo obhodni čas.

Zaradi nekoliko manjšega števila peg, ki sva jih opazovala vsaj dvakrat, je meritev hitrosti vrtenja Sonca nekoliko manj. Ker lahko dokaj zanesljivo predpostavimo, da se Sonce glede na ekvator vrti simetrično, sva v isti graf vrisala vse meritve, ne glede na to, na kateri polobli so bile pege, upoštevala sva le njihov odmik od ekvatorja. Iz grafa je razvidno, da obhodni čas peg narašča z odklikom od ekvatorja. Meritve pa so precej raztresene, deloma zaradi merskih napak, deloma pa tudi zaradi tega, ker se pege lahko premikajo glede na svojo okolico (lastno gibanje peg).



Graf 14: Odvisnost obhodnega časa od heliografske širine

5 Zaključek

Z končnim izdelkom raziskovalne naloge sva v splošnem zelo zadovoljna, saj sva jo dokončala s takšnimi pričakovanji kot sva jo začela. Nabrala sva dovolj opazovanj Sonca, da sva lahko z obdelavo zbranih podatkov prišla do zanimivih rezultatov.

Opazila sva pričakovano odvisnost pogostosti pojavljanja peg glede na heliografsko širino in podaljšanje obhodnega časa z oddaljevanjem od Sončevega ekvatorja. Zelo zanimiva je ugotovitev, da so protuberance razporejene bistveno bolj široko kot pege. Pričakovana in potrjena je bila tudi ugotovitev, da so veliki izbruhi mnogo redkejši od manjših.

Seveda bi bilo dobro, če bi uspela nabrati še več podatkov in meriti dlje časa, a to praktično ni bilo izvedljivo. S stalno postavitvijo teleskopa in stojala ter s še pogostejšimi meritvami bi bila tudi bolj neodvisna od drugih opazovanj. Slike sva morala namreč poravnati na zunanjo referenco, saj zaradi stalne uporabe observatorija, teleskop in stojalo nista mogla biti vedno povsem enako postavljena. Z dovolj meritvami pa bi smer osi vrtenja lahko določila iz slik tudi sama, kar bi bilo nedvomno zelo zanimivo.

Čeprav sva s številom uporabnih slik zadovoljna, bi bili podatki bolj natančni z večjim številom slik in včasih tudi boljšim vremenom, zaradi katerega kar nekaj slik ni bilo uporabnih.

Napovedano je bilo, da naj bi bil konec leta 2012 in začetek 2013 čas viška Sončeve aktivnosti. Tako bi pričakovala, da bi skozi leto beležila porast Sončeve aktivnosti. Vendar pa se ni vse dogajalo po pričakovanjih, Sončeva aktivnost je bila še največja prav v začetku leta. Utegne se zgoditi, da bo imel ta solarni maksimum (24) dva vrhova, kar se je v preteklosti že zgodilo. Ta domneva se bo lahko potrdila ali ovrgla šele konec leta 2013. Za opazovalce 24. Sončevega cikla je nekoliko žalostno tudi dejstvo, da je tokratni višek aktivnosti Sonca mnogo manj intenziven od prejšnjega, kar je nakazoval že zelo dolg minimum dejavnosti.

Za konec je vredno poudariti, da bi nalogo lahko še izboljšali, če bi Sonce opazovali tako skozi H-alfa teleskop kakor tudi skozi bel (Mylar) filter. Tako bi imeli optimalne meritve peg in protuberanc hkrati, kar bi zelo izboljšalo natančnost. A hkratno rokovanje z dvema različnima teleskopoma bi za začetek uvedlo preveč dodatnih zapletov. To ostaja zanimiv izziv za prihodnje delo. Enako velja za preučevanje dejavnosti Sonca na časovni skali enega dneva, ki ni bilo del te raziskovalne naloge, a je ne glede na to zelo zanimivo področje raziskovanja.

6 Viri

6.1 Literatura

1. The Sun and Sunspots in Ancient Cultures, dostopno na naslovu:
<http://www.exploratorium.edu/sunspots/history.html>
2. Galčič M., O nam najbližji zvezdi – 1. del, dostopno na naslovu:
<http://www.presek.si/26/1367-Galicic.pdf>
3. Spektralna razvrstitev zvezd, dostopno na naslovu:
http://sl.wikipedia.org/wiki/Spektralna_razvrstitev_zvezd
4. Galčič M., O nam najbližji zvezdi – 2. del – manj znano Sonce, dostopno na spletnem naslovu: <http://www.presek.si/26/1373-Galicic.pdf>
5. Coronal Magnetic Fields, dostopno na naslovu:
<http://www.hao.ucar.edu/CommunityWorkshopGroundBasedSolarResearch/whitePages/Coronal%20Magnetic%20Fields.pdf>
6. Ulysses and the Reversal of the Solar Magnetic Field, besedilo dostopno na naslovu:
<http://www.sp.ph.ic.ac.uk/~forsyth/reversal/>
7. Vertačnik G., Sončeva aktivnost, dostopno na naslovu:
<http://www2.arnes.si/~gljsentvid10/pege99.html>
8. How Sunspots form, dostopno na naslovu:
<http://www.suntrek.org/solar-surface-below/sunspots/how-sunspots-formed.shtml>
9. Galileo and the Advent of the Telescope, dostopno na naslovu:
<http://www.exploratorium.edu/sunspots/history2.html>)
10. NASA, The Sunspot Cycle, dostopno na spletnem naslovu:
<http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>
11. Our Sun – the Nearest Star, dostopno na naslovu:
<http://astronomy.nmsu.edu/tharriso/ast105/Ast105week12.html>
12. Wikipedia, Solar prominence, dostopno na spletnem naslovu:
http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_prominence
13. Wikipedia, H-alpha, dostopno na naslovu:
<https://en.wikipedia.org/wiki/H-alpha>
14. Digital Camera Sensors, dostopno na naslovu:
<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-sensors.htm>
15. Wikipedia, Bayer filter, dostopno na naslovu:
http://en.wikipedia.org/wiki/Bayer_filter
16. NASA, Glossary of Solar-Terrestrial terms, dostopno na naslovu:
<http://www.swpc.noaa.gov/info/glossary.html>

Kanzelhöhe Observatory Synoptic Archives
<http://cesar.kso.ac.at/main/>

Solar Terrestrial Dispatch - Leaders in Space Weather Forecasting Services
<http://www.spacew.com/>

Space and NASA News - Universe and Deep Space Information | Space.com
<http://www.space.com/>

SpaceWeather.com
<http://spaceweather.com/>

Mackay D. H., Yeates A. R., The Sun's Global Photospheric and Coronal Magnetic Fields: Observations and Models, dostopno na naslovu:
<http://arxiv.org/pdf/1211.6545v1.pdf>

ADZ_Sonce
http://www2.arnes.si/~gljedina1/adz/ADZ_sonce.html

Sončeve pege
<http://www2.arnes.si/~sssknm4/soncevepege.html>

O soncu
http://www2.arnes.si/~dsavli/o_soncu.htm

Sonce - Wikipedija, prosta enciklopedija
<http://sl.wikipedia.org/wiki/Sonce>

Rudolf Johann Wolf - Wikipedija, prosta enciklopedija
http://sl.wikipedia.org/wiki/Rudolf_Johann_Wolf

Sunspot - Wikipedia, the free encyclopedia
<http://en.wikipedia.org/wiki/Sunspot>

SIDC - Solar Influences Data Center
<http://sidc.oma.be/>

Sončeva aktivnost | Robert Gajšek
<http://robert-gajsek.si/sonceva-aktivnost/>

POLARNI SIJ, AURORA BOREALIS, MAGNETNA ZEMLJEPISNA ŠRINA
<http://www.s52sk.com/kasiopeja/aurora.html>

Nastanek in vpliv Sončevih aktivnosti (Andrej Štern, Jože Guna, Janez Bešter)
<http://www.lfpe.org/wp-content/uploads/2010/08/Nastanek-in-vpliv-Son%C4%8Devih-aktivnosti.pdf>

Solar Rotation Applet
<http://www.jgiesen.de/sunrot/index.html>

Solar observing by Peter Meadows
<http://www.petermeadows.com/indexsolar.html>

Solar and Heliospheric Observatory Homepage
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

Mauna Loa Solar Observatory (HAO/NCAR): Home
<http://mlso.hao.ucar.edu/>

Highlands Astronomical Society • View topic - Latest H-alpha image
<http://spacegazer.freebb3.com/viewtopic.php?f=5&t=76>

Observing the Sun in H-Alpha The Prairie Astronomy Club
<http://www.prairieastronomyclub.org/resources/solar-observing/observing-the-sun-in-h-alpha/>

The Sun Today: Directory to the Latest Solar Images and Interplanetary Data
<http://sprg.ssl.berkeley.edu/shine/suntoday.html>

Sončeve pege
http://fizika.dssl.si/Galileo/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=68

Sonce
<http://www.andros.si/vesolje/sonce.html>

Sunspots: Ancient Culture, Modern Research & More | Exploratorium
<http://www.exploratorium.edu/sunspots/>

The Galileo Project | Science | Sunspots
<http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspots.html>

Sunspots
<http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/sun/sunspots.html>

NASA/Marshall Solar Physics
<http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>

Sunspots
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/sunspots/>

Seminarska naloga - Določanje hitrosti rotacije Sonca iz opazovanja sončni peg preko interneta (Katja Tomec, Teja Uršič)
<http://zvonko.fgg.uni-lj.si/seminarji/SoncnePege/SoncnePege.pdf>

GONG H Alpha Network Monitor
<http://halpha.nso.edu/index.html>

The Sun
<http://www.windows2universe.org/sun/sun.html>

Sun's Rotation - Zoom Astronomy
<http://www.enchantedlearning.com/subjects/astronomy/sun/rotation.shtml>

The Sun Does a Flip - NASA Science
http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast15feb_1/

"The Great Switch" --Sun's Magnetic Field Does a Complete Reverse Every 11 Years
http://www.dailygalaxy.com/my_weblog/2012/04/the-great-switch-suns-magnetic-field-does-a-complete-reverse-every-11-years.html

6.2 Viri slik

Le dve sliki v raziskovalni nalogi sva pridobila iz spleta, vse ostale sva izrisala sama.

Slika 1: Sonce skozi različne filtre valovnih dolžin (digitalno predelana)

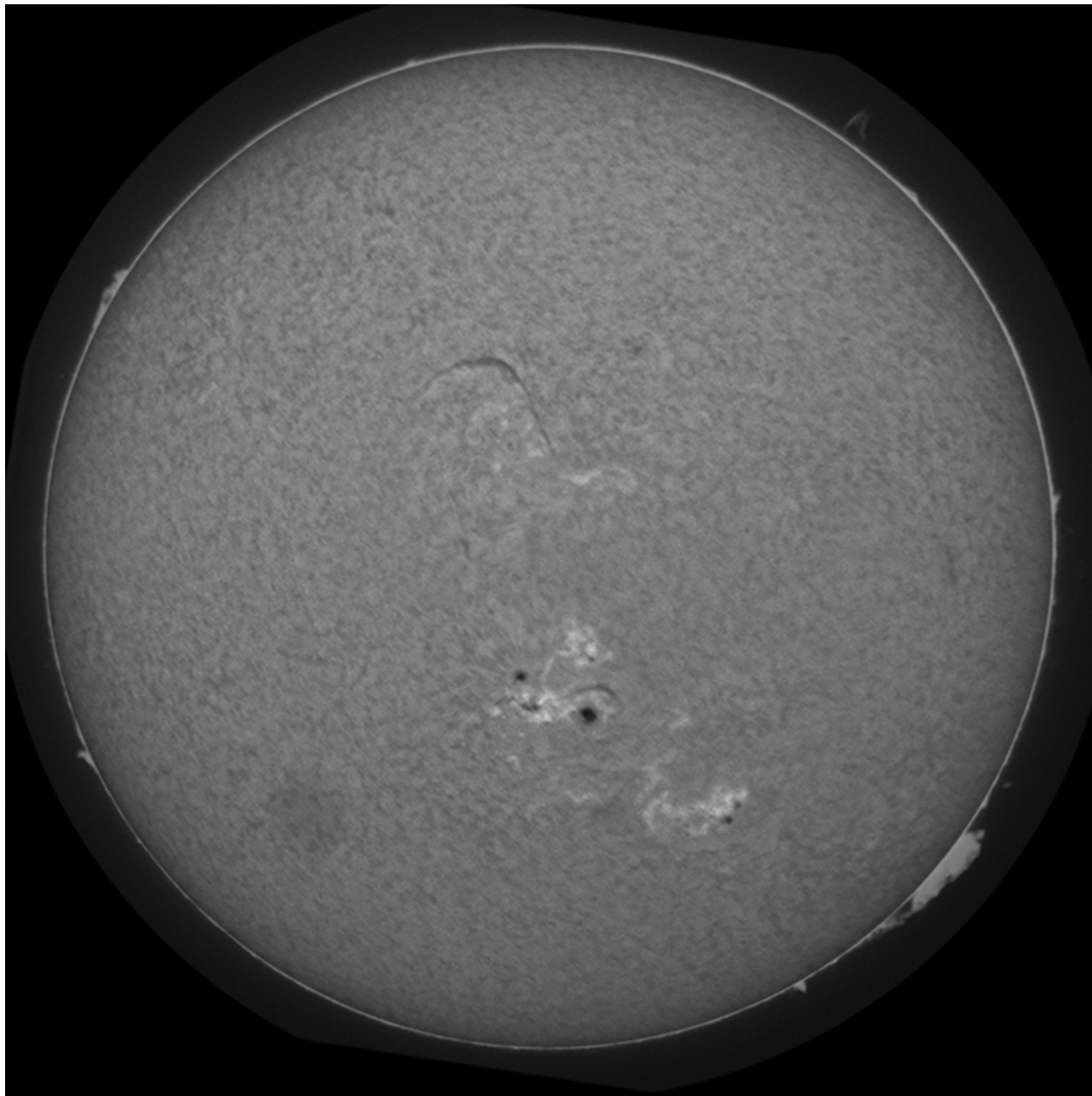
http://www.nasa.gov/images/content/719688main_Sun-Wavelength-Chart_full.jpg

Slika 7: »Metuljast diagram«

<http://www.oneminuteastronomer.com/wp-content/uploads/2009/09/Butterfly-Diagram.gif>

7 Priloge

7.1 Fotografiji Sonca





7.2 Izvorna koda programa

Izvorna koda programa **KoordinatePicker** (programski jezik Python)

Program si lahko prenesete na <http://www.soncevaaktivnost.tk>

```
#avtor: Matej Rabzelj, matej.rabzelj@gmail.com - 2012
```

```
from Tkinter import *
from tkFileDialog import askopenfilename
import Tkinter, Image, ImageTk, ImageDraw, math

#Tkinter okno
okno2 = Tk()
okno2.wm_title("Koordinate")
okno2.geometry("200x120")
okno2.wm_deiconify()
oo = 0

#Toolbar
toolbar = Frame(okno2)
toolbar.pack(side=TOP, fill=X)

#izpis koordinat
polje = Frame(okno2).pack(side=BOTTOM, fill=BOTH)

#izp_dolz_lab = Label(polje, text="Dolzina: ").pack(side=LEFT)
izp_dolzina = Text(polje, height=1)
#izp_dolzina.configure(bg=okno2.cget("bg"), relief=FLAT) #Tkinter 8.5+
#izp_dolzina.configure(state="disabled")

#izp_siri_lab = Label(polje, text="Sirina: ").pack(side=LEFT)
izp_sirina = Text(polje, height=1)
#izp_sirina.configure(bg=okno2.cget("bg"), relief=FLAT)
#izp_sirina.configure(state="disabled")

#vse združeno v eno funkcijo
def odpri_okno():
    global xpol, ypol, okno, oo, frame, scrollX, scrollY, kanvas, izbor, datoteka, slika, slsirina, slvisina, napis, m
    global koordinate, izris_sredisca

    #novo okno
    okno = Toplevel()
    okno.title("Koordinate Picker")
    okno.geometry("500x500")
    oo = 1

    #Tkinter Frame + Canvas + Scrollbars
    frame = Frame(okno, relief=SUNKEN, bd=0, cursor="cross")

    frame.grid_rowconfigure(0, weight=1)
    frame.grid_columnconfigure(0, weight=1)

    scrollX = Scrollbar(frame, orient=HORIZONTAL)
    scrollX.grid(row=1, column=0, sticky=E+W)

    scrollY = Scrollbar(frame)
    scrollY.grid(row=0, column=1, sticky=N+S)

    kanvas = Canvas(frame, bd=0, xscrollcommand=scrollX.set, yscrollcommand=scrollY.set)
    kanvas.grid(row=0, column=0, sticky=N+S+E+W)

    scrollX.config(command=kanvas.xview)
    scrollY.config(command=kanvas.yview)
```

```
frame.pack(expand=1, fill=BOTH)

#handler zapiranja okna
def zapirac():
    global napis, scrollX, scrollY, kanvas, frame, okno, oo, gumb, gumb3
    napis.destroy()
    scrollX.destroy()
    scrollY.destroy()
    kanvas.destroy()
    frame.destroy()
    okno.destroy()
    oo = 0

okno.protocol("WM_DELETE_WINDOW", zapirac)

#izbor
izbor = askopenfilename(parent=okno, title="Izberi sliko: ", filetypes=[("vse datoteke", "*"), ("slika JPG",
".jpg"), ("slika PNG", ".png")])
datoteka = Image.open(izbor)
slika = ImageTk.PhotoImage(datoteka)
kanvas.create_image(0, 0, image = slika, anchor = "nw")
kanvas.config(scrollregion=kanvas.bbox(ALL))
slsirina = datoteka.size[0]
slvisina = datoteka.size[1]

#Trenutna slika
napis = Label(okno, text="Trenutna slika: %s" % (izbor))
napis.pack()

#radij
radij_izracun = ((slsirina + slvisina) / 4)
radij = float(radij_izracun)
radij_napis = Label(okno, text="Radij (glede na dimenzije slike): %dpx" % (radij), fg="red")
radij_napis.pack()
xpol = slsirina / 2
ypol = slvisina / 2
sredina = (xpol, ypol)

#Pozicija kurzorja (zacetek: 0,0 v oknu)
def koordinate(mesto):
    mesto1 = mesto.widget
    x = mesto1.canvasx(mesto.x) #border
    y = mesto1.cansy(mesto.y)
    pp = (x, y)
    print("-----")
    print("Okno: %d, %d" %(pp[0], pp[1]))

#odmik od sredine v smeri osi x
d = (x - (slsirina/2))
print("d: %d" %(d))
fd = float(d)

#odmik od sredine v smeri osi y
l = (y - (slvisina/2))
print("l: %d" %(l))
fl = float(l)

#izris klika
klik = kanvas.create_oval(x,y,x+1,y+1, fill="red", outline="red")

#pi
pi = math.pi

#dolzina
deljeno_dolzina = fd/radij
arcsin_dolzina = math.asin(deljeno_dolzina)
dolzina = (arcsin_dolzina*180)/pi
```

```
strdolzina = str(dolzina)
repdolzina = strdolzina.replace(".", ",")
#print("Dolzina: %s" %(repdolzina))

#sirina
deljeno_sirina = fl/radij
arcsin_sirina = math.asin(deljeno_sirina)
sirina = (arcsin_sirina*180)/pi
#print("asdasd",sirina)

#izpis
if repdolzina < 0 and sirina < 0:
    repdolzina = repdolzina
    repsirina = sirina*(-1)

elif repdolzina < 0 and sirina > 0:
    repdolzina = repdolzina
    repsirina = sirina*(-1)

elif repdolzina > 0 and sirina > 0:
    repdolzina = repdolzina
    repsirina = sirina*(-1)

elif repdolzina > 0 and sirina < 0:
    repdolzina = repdolzina
    repsirina = sirina*(-1)

strsirina = str(repsirina)
repsirina = strsirina.replace(".", ",")
#print("Sirina: %s" %(repsirina))

print("Dolzina: %s" %(repdolzina))
print("Sirina: %s" %(repsirina))
print("-----")

izp_dolzina.delete(1.0, Tkinter.END)
izp_dolzina.insert(1.0, repdolzina)
izp_dolzina.pack()

izp_sirina.delete(1.0, Tkinter.END)
izp_sirina.insert(1.0, repsirina)
izp_sirina.pack()

#onClick
kanvas.bind("<Button 1>", koordinate)

#prikazi sredisce
m = 0
def izris_sredisca():
    global m, izris, xpol, ypol, oo
    if oo == 1:
        if m == 0:
            izris = kanvas.create_oval(xpol,ypol,xpol+1,ypol+1, fill="red", outline="red")
            m = 1
        elif m == 1:
            izris
            kanvas.delete(izris)
            m = 0
    else:
        import tkMessageBox
        tkMessageBox.showinfo("Opozorilo!", "Ni odprte slike!")

odpri_okno()

#Odpiranje slike
def odpri():
    global oo
```



```
if oo == 0:
    odpri_okno()
else:
    import tkMessageBox
    tkMessageBox.showinfo("Opozorilo!", "Zapri trenutno sliko, nato odpri novo.")

#gumb odpri sliko
gumb = Button(toolbar, text="odpri", width=9, command=odpri)
gumb.pack(padx=2, pady=2, side=LEFT)
#gumb prikazi sredisce
gumb2 = Button(toolbar, text="sredisce", width=9, command=izris_sredisca)
gumb2.pack(padx=2, pady=2, side=LEFT)

#zazeni GUI
okno2.mainloop()
```