

Simon Ülen^{1,2}, Tanja Holc¹

Hitrost gibanja sončevih peg

POVZETEK

V prispevku predstavljamo izračun hitrosti gibanja Sončevih peg, ki predstavlja enostaven in nazoren način določitve hitrosti vrtenja Sonca. Prikazan je način, kako določiti, izpeljati in izračunati količine, ki jih potrebujemo za izračun hitrosti peg. V zaključku prispevka predstavljamo izračun hitrosti izbrane Sončeve pege s podatki, izmerjenimi med 4-tedenskim opazovanjem in fotografiranjem Sonca.

Ključne besede: Sončeve pege, vrtenje Sonca, opazovanje Sonca, hitrost sončevih peg.

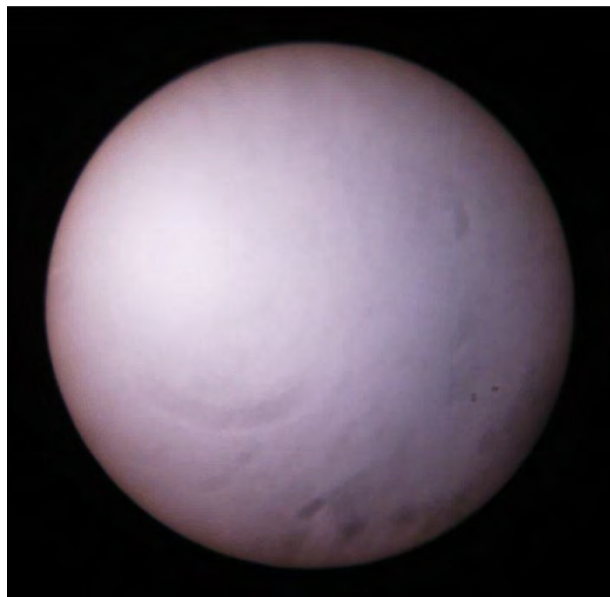
1. Uvod

Izračun hitrosti gibanja sončevih peg je nazoren in enostaven način določitve hitrosti vrtenja Sonca. Ker je Sonce plinasto telo, je njegova rotacija diferencialna, torej imajo območja na Soncu z različnimi heliografskimi širinami različne kotne oziroma obodne hitrosti. Območja na Sončevem ekvatorju se enkrat zavrtijo vsakih 25,05 dni, območja na polih pa vsakih 34,30 dni [1]. Bolj kot je sončeva pega oddaljena od ekvatorja, manjša je njena hitrost.

V prispevku je prikazan izračun hitrosti izbrane sončeve pege, ki leži južno od Sončevega ekvatorja. Primer takšne pege je pega št. 2597, ki je bila vidna konec septembra 2016. **Slika 1** prikazuje Sonce 24. septembra 2016, **Slika 2** pa 27. septembra 2016. Na obeh slikah je vidna pega oz. skupina peg št. 2597 [2].



Slika 1. Sonce 24. septembra 2016.



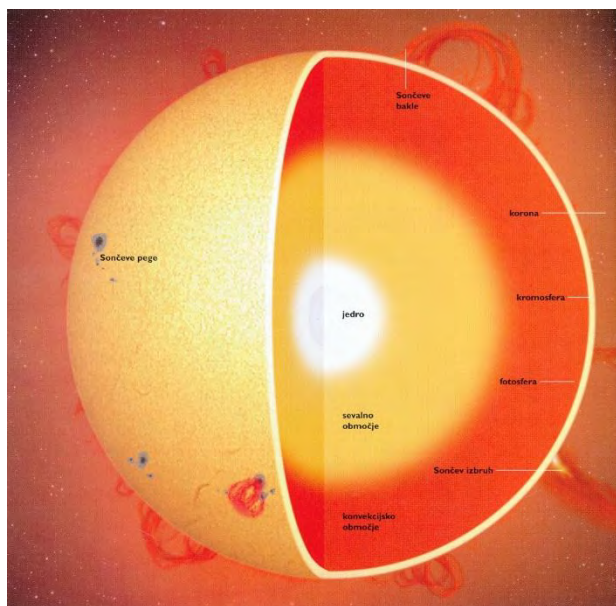
Slika 2. Sonce 27. septembra 2016.

2. Sonce in Sončeve pege

Vidno površje Sonca se imenuje fotosfera in ima temperaturo okoli 6000 K. Plast nad fotosfero se imenuje kromosfera. Temperatura v Sončevi atmosferi z višino narašča in v najbolj zunanem delu atmosfere, koroni, doseže temperaturo do dveh milijonov K. Korona je z Zemlje vidna le ob popolnem Sončevem mrku in tvori prehod v vesolje. Razprostira se več milijonov kilometrov in je vir Sončevega vetra, toka delcev, ki seže za Plutonov tir ter na Zemlji povzroča polarni sij. Na sliki 3 [3] so prikazani deli Sončeve atmosfere: fotosfera, kjer nastajajo pege, kromosfera, kamor se iz območij peg dvigajo protuberance (plinasti valovi) in korona, kamor se razširjajo izbruhi vročih plinov. Čim več je naštetih pojavov, tem večja je aktivnost Sonca.

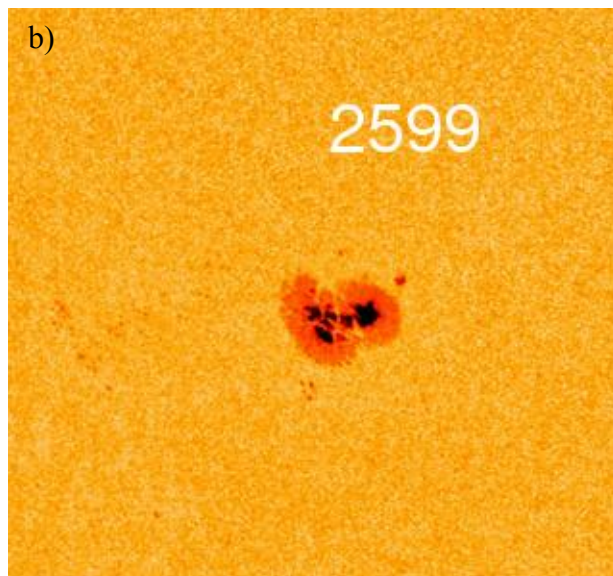
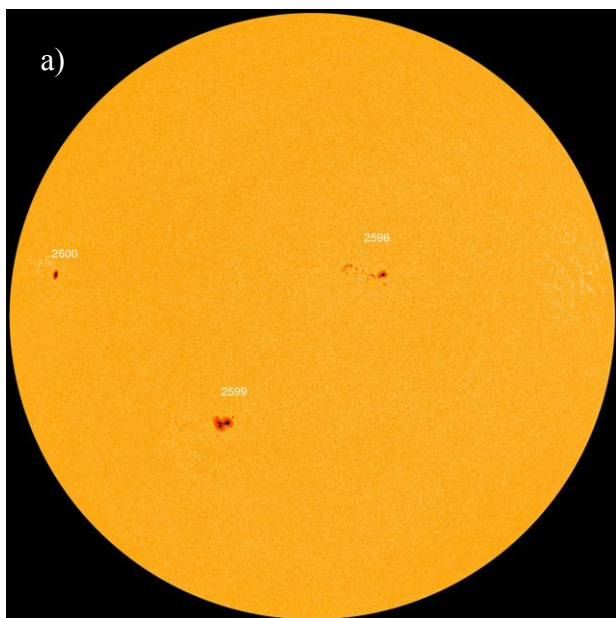
¹ Gimnazija Franca Miklošiča Ljutomer

² Alma Mater Europaea - ECM



Slika 3. Prikaz delov sončeve atmosfere[3].

Sončeve pege so območja na sončevem površju oziroma fotosferi, kjer je temperatura zaradi močnejše magnetne aktivnosti nižja kot drugod, območja pa so videti temnejša v primerjavi z bolj vročim ozadjem. Na podrobnih posnetkih je vidno, da so sončeve pege sestavljene iz več delov (**Slika 4**). Temnejši notranji del se latinsko imenuje umbra (senca), svetlejši zunanji del pa penumbra (polsenca). Pege imajo temperaturo okoli 3500 K do 4500 K. Z opazovanjem navideznega gibanja peg po površini Sonca lahko sklepamo, da se Sonce tako kot Zemlja vrti okoli svoje osi. [4][5]



Slika 4. a) Sončeva pega; b) Povečana sončeva pega [6].

Levo je slika Sonca 8. oktobra 2016, na kateri je med drugimi vidna tudi pega št. 2599. Desno je pega št. 2599 povečana. Na desni sliki sta vidni umbra in penumbra.

3. Opazovanje sončevih peg skozi zgodovino

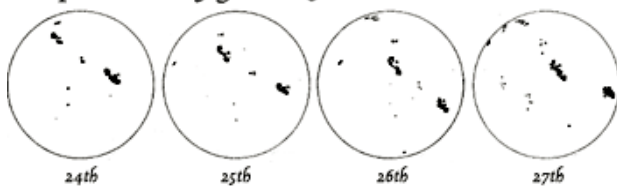
Kitajci naj bi temne pege na Soncu opazili že vsaj v prvem stoletju pr. n. št. [7]. Sončeve pege so skozi teleskop okoli leta 1610 prvič opazovali Galileo Galilei, Thomas Harriot, Johannes Fabricius in Christopher Scheiner [8]. O tem, kdo je bil prvi, se pojavljajo različna mnenja.

Angleški astronom Thomas Harriot je med decembrom 1610 in januarjem 1613 opravil 199 opazovanj sončevih peg skozi teleskop. Iz zbranih podatkov je lahko sklepal o vrtilni dobi Sonca [9].

Sončeve pege sta opazovala tudi oče in sin David in Johannes Fabricius. Leta 1611 jih je Johannes opazil med opazovanjem s teleskopom. Skupaj z očetom sta naslednjih nekaj mesecev sledila pegam in ugotovila, da za potovanje od enega do drugega roba Sonca potrebujejo približno 12 dni. Johannes je izdal prvo knjigo o sončevih pegah, *De Maculis in Sole Observatis, et Apparente earum cum Sole Conversione Narratio* ("Narration on Spots Observed on the Sun and their Apparent Rotation with the Sun") [10].

Poleti leta 1612 se je Galileo Galilei posvetil proučevanju sončevih peg in opravil niz opazovanj, ki jih je objavil v *Istoria e Dimostrazioni Intorno Alle Macchie Solari e Loro Accidenti Rome* (History and Demonstrations Concerning Sunspots and their Properties). Opazovanja so bila opravljena vsak dan ob istem času, zato je iz Galilejevih risb vidno navidezno premikanje peg po Soncu [11].

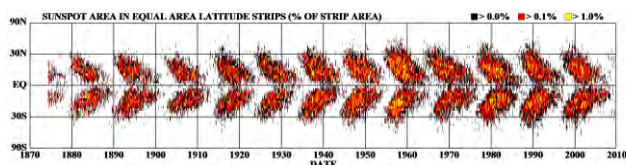
Sunspots drawn by Galileo, June 1612



Slika 5. Galilejeve risbe sončevih peg [12].

Dnevna opazovanja sončevih peg so se začela v observatoriju v Zürichu leta 1749. S pomočjo drugih observatorijev so se leta 1849 začela neprekinjena opazovanja [13].

V začetku 19. stoletja je sončeve pege skoraj vsak dan sistematično opazoval Nемеc Samuel Heinrich Schwabe. Njegova opazovanja so pokazala približno desetleten ritem, v katerem se je število peg na Soncu povečali in spet zmanjšalo. Z nadaljnjim raziskovanjem Sončeve aktivnosti je bila srednja vrednost tega ritma določena na 11,1 let [14]. To je tako imenovan sončev cikel oziroma 11-letni cikel Sončeve aktivnosti, ki ga je mogoče prikazati z metuljevim diagramom sončevih peg.



Slika 6. Metuljev diagram [15].

Na ordinatni osi so nanizane heliografske širine sončevih peg; Sončev ekvator je v sredini diagrama. Razvidno je, da se na začetku cikla pege pogosteje pojavljajo v bližini obeh Sončevih polov oz. v višjih heliografskih širinah in se nato proti koncu cikla nahajajo vedno bližje ekvatorju [16].

4. Izračun hitrosti gibanja sončeve pege

V nadaljevanju je predstavljen način, kako določiti, izpeljati in izračunati količine, ki jih potrebujemo za izračun hitrosti sončeve pege.

Za izračun hitrosti pege potrebujemo dve fotografiji Sonca. Časovni razmik med njima naj bo nekaj dni. Na fotografiji Sonca si moramo zarisati koordinatni sistem, pri katerem so na osi x nanizane heliografske dolžine, na osi y pa heliografske širine. Količine, ki jih potrebujemo pri izračunu hitrosti pege in jih določimo na osnovi pridobljenih fotografij:

- φ – heliografska širina pege
- $r_{(y)}$ – razdalja med pego in osjo vrtenja Sonca v vodoravni smeri (polmer na heliografski širini φ)
- Δy – oddaljenost pege od ekvatorja (osi x) v navpični smeri
- Δx – oddaljenost pege od osi y v vodoravni smeri v položaju 1

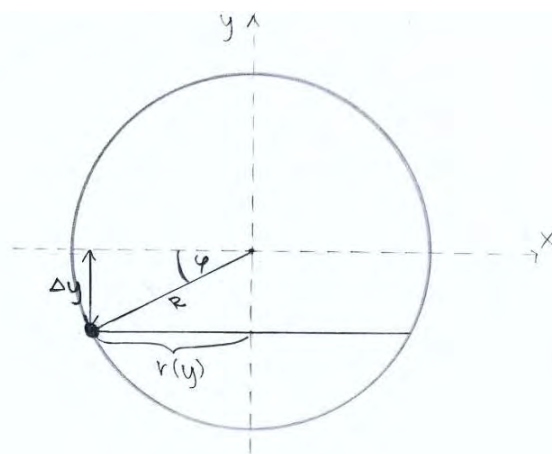
- $\Delta x'$ – oddaljenost pege od osi y v vodoravni smeri v položaju 2
- α – kot med osjo y in pego v položaju 1 (pogled s spodnje strani)
- α' – kot med osjo y in pego v položaju 2 (pogled s spodnje strani)
- $\Delta \alpha$ – razlika med kotoma α in α'
- Δs – pot, ki jo je pega prepotovala med položajem 1 in položajem 2.

4.1 Določitev oziroma izračun omenjenih količin

Položaj 1 je položaj pege na prvi fotografiji, položaj 2 pa položaj pege na drugi fotografiji.

Razdalje Δy , Δx in $\Delta x'$ lahko določimo na različne načine (z različnimi enotami). Zelo natančen način določitve je s pomočjo pikselov oz. slikovnih pik fotografije. To lahko storimo s programom za obdelovanje slik, kot je na primer IrfanView, tako, da določimo število slikovnih pik med pego in osjo y (za določitev Δx ali $\Delta x'$) oziroma pego in osjo x (za določitev Δy). Določimo tudi število slikovnih pik od enega do drugega roba Sonca, kar ponazarja Sončev premer. Iz razmerja med obema številoma pikselov in s poznavanjem premera Sonca lahko določimo Δy , Δx in $\Delta x'$ v kilometrih.

- $r_{(y)}$ in φ

Slika 7. prikaz razdalj $r_{(y)}$ in φ .

Iz Slike 7. lahko razberemo, da je $r_{(y)}$ definiran kot

$$r_{(y)} = R \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

pri čemer je R polmer Sonca oziroma razdalja od položaja pege do središča Sonca.

Prav tako je razvidno, da velja

$$\sin \varphi = \frac{\Delta y}{R}, \quad (2)$$

iz česar sledi

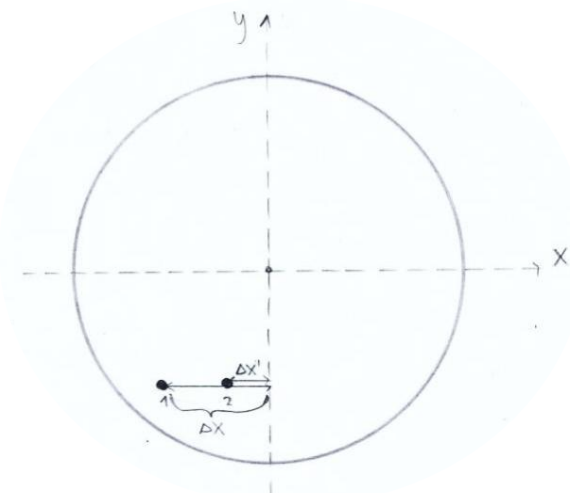
$$\varphi = \sin^{-1}\left(\frac{\Delta y}{R}\right). \quad (3)$$

Iz enačb 1 in 3 lahko izpeljemo enačbo za izračun $r_{(y)}$, in sicer:

$$r_{(y)} = R \cdot \cos(\sin^{-1}(\frac{\Delta y}{R})). \quad (4)$$

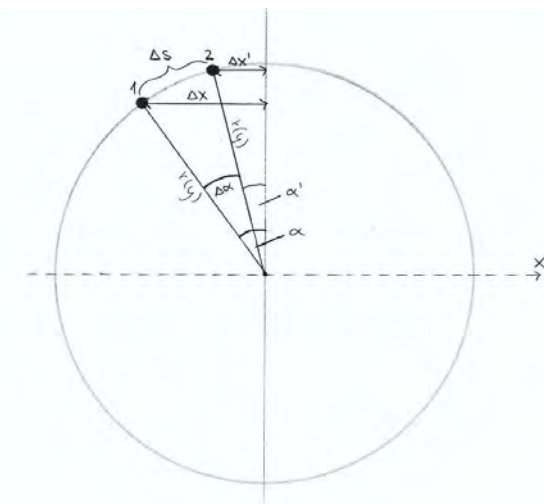
• $\Delta x, \Delta x', \alpha$ in α'

Razdalji Δx in $\Delta x'$ sta definirani kot razdalji od osi y v vodoravni smeri (Slika 8).



Slika 8. Prikaz razdalj Δx in $\Delta x'$.

Najlažje si zvezo med njima ter med kotoma α in α' predstavljamo, če narišemo sliko, ki ponazarja pego v položaju 1 in položaju 2, kot bi jo videli, če bi Sonce opazovali s spodnje strani (Slika 9). Pri pogledu na Sonce s spodnje strani si koordinatni sistem narišemo zgolj za pomoč pri odčitavanju kotov α' in α . Koordinate pege v tem primeru ne predstavljajo njene heliografske dolžine oziroma širine.



Slika 9. Prikaz pogleda na sonce s spodnje strani.

Iz Slike 9, sta razvidni enakosti

$$\sin \alpha = \frac{\Delta x}{r_{(y)}} \quad \text{in} \quad \sin \alpha' = \frac{\Delta x'}{r_{(y)}}. \quad (5a,b)$$

Iz enačb 5a in 5b lahko izpeljemo enačbe za izračun kotov α in α' , in sicer

$$\alpha = \sin^{-1}(\frac{\Delta x}{r_{(y)}}) \quad \text{in} \quad \alpha' = \sin^{-1}(\frac{\Delta x'}{r_{(y)}}). \quad (6a,b)$$

• $\Delta \alpha$ in Δs

Da bomo pegi lahko izračunali hitrost, potrebujemo podatek o poti, ki jo je prepotovala med položajema 1 in 2 in ki jo označimo z Δs (Slika 9). Ker je Sonce kroglja, bomo Δs računali kot dolžino krožnega loka, torej po enačbi

$$l = \frac{\pi r \alpha}{180^\circ}, \quad (7)$$

pri čemer je r v našem primeru $r_{(y)}$, kot α pa $\Delta \alpha$ (Slika 9).

Zgornjo enačbo preoblikujemo in za izračun poti dobimo:

$$\Delta s = \frac{\pi \cdot r_{(y)} \cdot \Delta \alpha}{180^\circ}. \quad (8)$$

Enačbo za $\Delta \alpha$, ki je definiran kot $\alpha - \alpha'$, dobimo iz enačb 6a in 6b:

$$\Delta \alpha = \alpha - \alpha' = \sin^{-1}(\frac{\Delta x}{r_{(y)}}) - \sin^{-1}(\frac{\Delta x'}{r_{(y)}}). \quad (9)$$

Iz enačbe 9 sledi:

$$\Delta s = \frac{\pi \cdot r_{(y)} \cdot (\sin^{-1}(\frac{\Delta x}{r_{(y)}}) - \sin^{-1}(\frac{\Delta x'}{r_{(y)}}))}{180^\circ}. \quad (10)$$

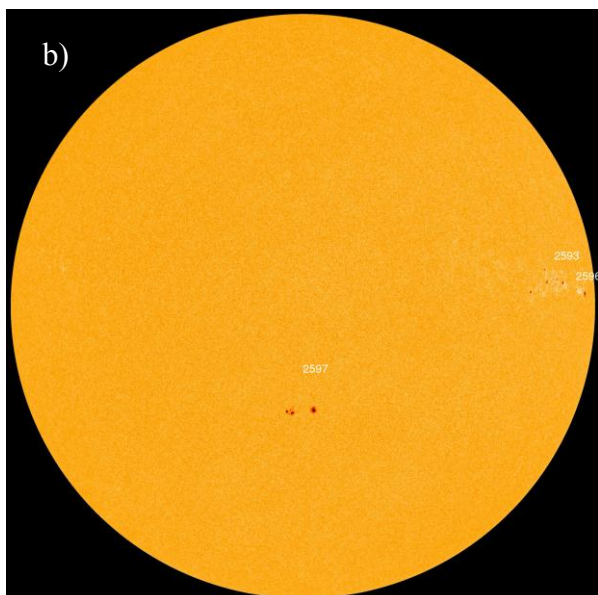
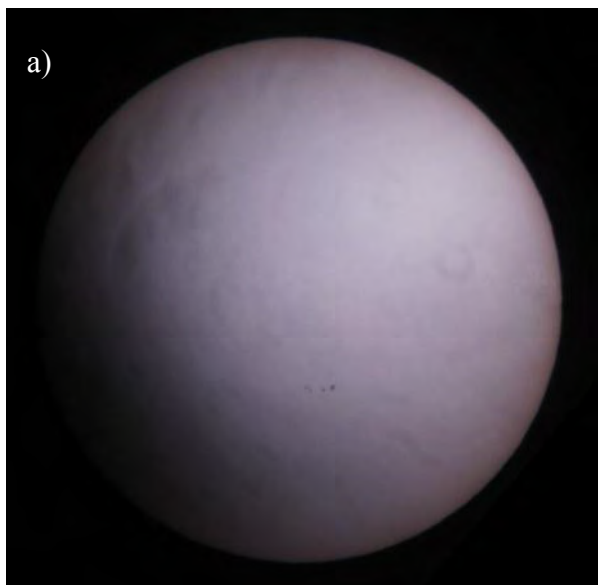
Hitrost sončeve pege izračunamo iz enačbe

$$v_{pega} = \frac{\Delta s}{t}, \quad (11)$$

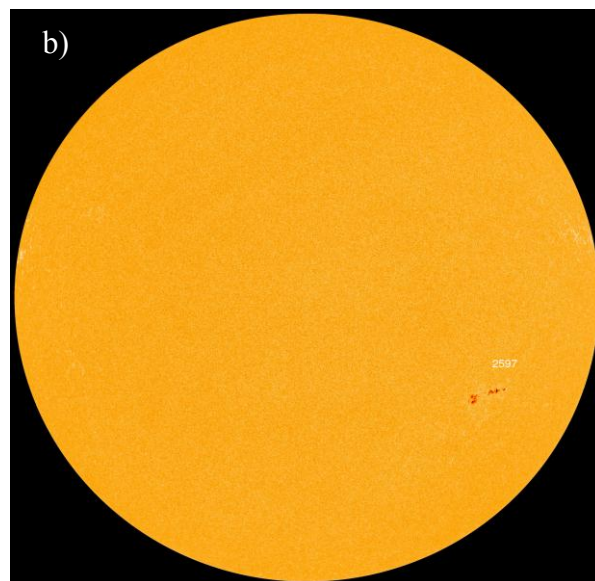
kjer je t časovni interval med posnetjem fotografij 1 in 2, Δs pa izračunamo iz enačbe 10.

5. Izračun hitrosti gibanja izbrane sončeve pege

Na slikah 10a in 10b je prikazano Sonce 24. septembra 2016, na slikah 11a in 11b pa Sonce 27. septembra 2016. Na vseh slikah je vidna skupina peg št. 2597.



Slika 10a, b. Sonce 24. septembra 2016 [17][18]



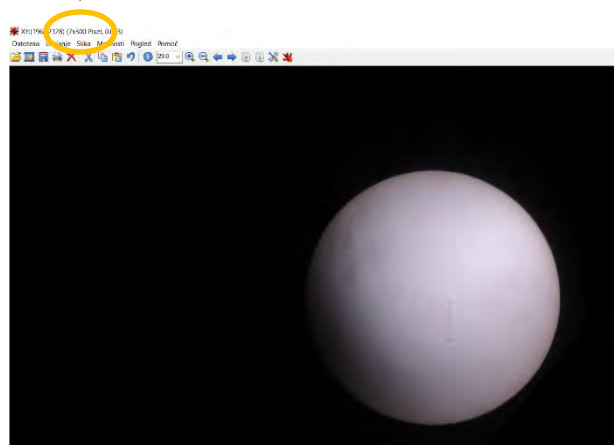
Slika 11a, b. Sonce 27. septembra 2016 [17][18].

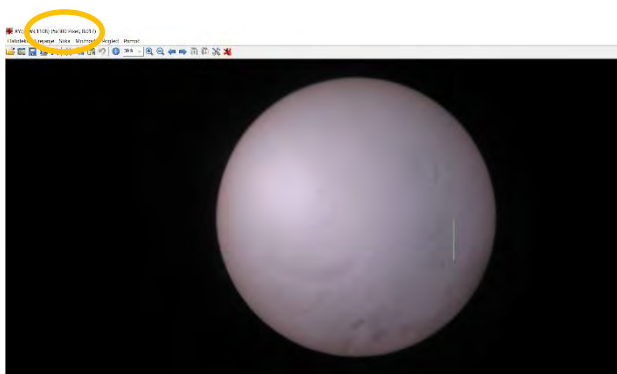
Položaj pege na sliki 10a, b (24. 9. 2016) bo v nadaljevanju omenjen kot položaj 1, položaj pege na sliki 11a, b (27. 9. 2016) pa kot položaj 2.

Preko programa za obdelovanje slik IfranView bomo za pego določili razdalje Δy , Δx in $\Delta x'$, in sicer s pomočjo pikselov oz. slikovnih pik fotografije [px]. Ko v programu označimo določen del fotografije, se zgoraj levo izpišejo dimenzije označenega območja v piksljih. Prvo število pomeni dolžino (koordinato x), drugo pa širino (koordinato y) območja.

5.1 Določitev količin s pikslji

Za določitev Δy določimo število pikselov med pego in namišljeno osjo x , ki je nosilka Sončevega ekvatorja (Slika 12a, b).

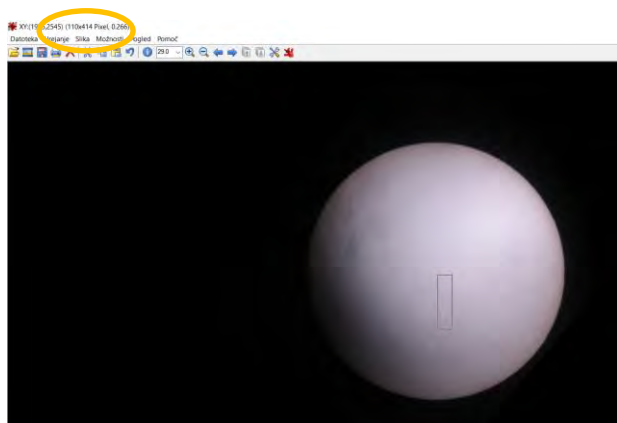




Slika 12 a, b. Prikaz razdalje Δy .

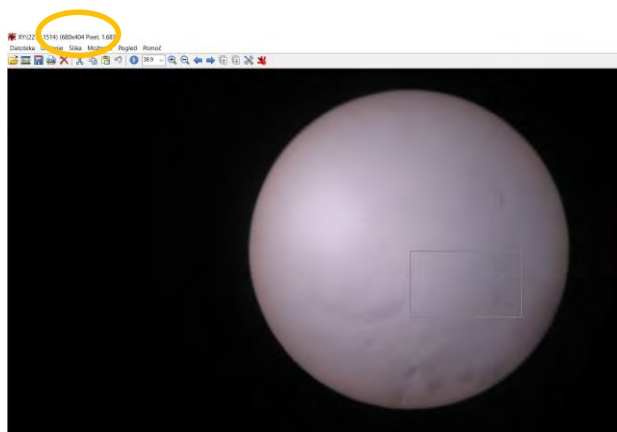
Iz obeh slik je razvidno, da je Δy pege tako v položaju 1 kot tudi v položaju 2 $\Delta y = 300 \text{ px}$.

Za določitev Δx določimo število pikselov med pego v položaju 1 in namišljeno osjo y (Slika 13).



Slika 13. prikaz razdalje Δx .

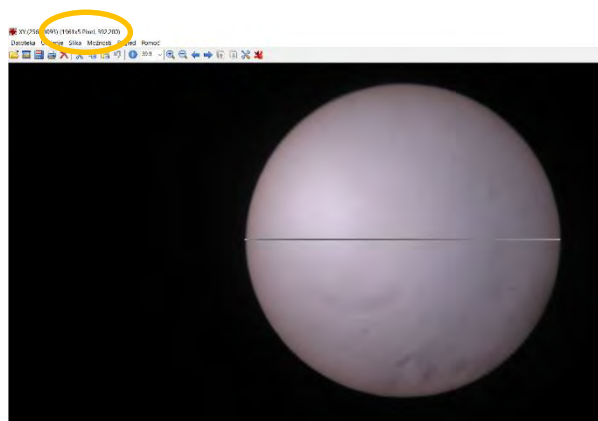
Iz levega zgornjega roba slike lahko odčitamo Δx , in sicer $\Delta x = 110 \text{ px}$. Za določitev $\Delta x'$ je postopek enak kot za Δx , le da vzamemo fotografijo pege v položaju 2 (Slika 14).



Slika 14. prikaz razdalje $\Delta x'$.

Vidimo, da je $\Delta x' = 680 \text{ px}$.

Določimo tudi število slikovnih pik od enega do drugega roba Sonca, kar ponazarja Sončev premer ($2R$), prikazan na sliki 15.



Slika 15. Prikaz sončevega premera.

Vidimo, da je premer Sonca na fotografiji približno $2R = 1960 \text{ px}$. Iz $2R$ lahko dobimo polmer Sonca R , in sicer

$$R = \frac{2R}{2} = 980 \text{ px}.$$

5.2 Določitev količin v kilometrih

Iz razmerja med števili pikselov pri Δy , Δx in $\Delta x'$ in pri R ter s poznavanjem premera Sonca lahko določimo Δy , Δx in $\Delta x'$ v kilometrih. Za polmer Sonca vzamemo $R = 695\,700 \text{ km}$.

Torej velja:

$$\begin{aligned} 980 \text{ px} &\dots\dots\dots 695\,700 \text{ km} \\ 1 \text{ px} &\dots\dots\dots 709,9 \text{ km} \end{aligned}$$

Tako dobimo:

$$\begin{aligned} \Delta y &= 300 \cdot 709,9 \text{ km} = 212.970 \text{ km} \\ \Delta x &= 110 \cdot 709,9 \text{ km} = 78.089 \text{ km} \\ \Delta x' &= 680 \cdot 709,9 \text{ km} = 482.732 \text{ km} \end{aligned}$$

Dobljene podatke vpišemo v tabelo:

Tabela 1.

Datum	Pega	Δy	Δx	$\Delta x'$	$2R$	R
24. in 27. 9. 2016	2597	300 px	110 px	680 px	1960 px	980 px
-	-	212.970 km	78.089 km	482.732 km	1.391.400 km	695.700 km

5.3 Izračun manjkajočih podatkov

Da bo mogoče izračunati hitrost pege, moramo najprej izračunati sledeče podatke: φ , $r_{(y)}$, a , a' , $\Delta\alpha$ in Δs .

- φ

Kot φ oziroma heliografsko širino pege (za primer pege št. 2597 je heliografska širina južna) izračunamo po enačbi, ki smo jo izpeljali prej:

$$\varphi = \sin^{-1}\left(\frac{\Delta y}{R}\right).$$

Vstavimo podatke za Δy in R in dobimo:

$$\varphi = \sin^{-1}\left(\frac{212.970 \text{ km}}{695.700 \text{ km}}\right) = 17,83^\circ.$$

- $r_{(y)}$

Razdaljo med pego in osjo vrtenja Sonca v vodoravni smeri oziroma polmer na heliografski širini φ , ki ga označimo z $r_{(y)}$, izračunamo po enačbi

$$r_{(y)} = R \cdot \cos \varphi .$$

Vstavimo podatke in dobimo

$$r_{(y)} = 695.700 \text{ km} \cdot \cos 17,83^\circ = 662.285 \text{ km} .$$

- α

Kot α , ki je pri pogledu na Sonce s spodnje strani kot med osjo y in pego v položaju 1, dobimo po enačbi

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{\Delta x}{r_{(y)}} \right) ,$$

in sicer

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{78.089 \text{ km}}{662.285 \text{ km}} \right) = 6,8^\circ .$$

- α'

Kot α' , ki je pri pogledu na Sonce s spodnje strani kot med osjo y in pego v položaju 2, izračunamo preko enačbe

$$\alpha' = \sin^{-1} \left(\frac{\Delta x'}{r_{(y)}} \right) .$$

Dobimo

$$\alpha' = \sin^{-1} \left(\frac{482.732 \text{ km}}{662.285 \text{ km}} \right) = 46,8^\circ .$$

- $\Delta\alpha$

Kot $\Delta\alpha$ je razlika kotov α' in α :

$$\alpha = \alpha' - \alpha = 46,8^\circ - 6,8^\circ = 40^\circ .$$

- Δs

Pot, ki jo je pega prepotovala med položajema 1 in 2, izračunamo preko enačbe za krožni lok, in sicer:

$$\Delta s = \frac{\pi \cdot r_{(y)} \cdot \Delta\alpha}{180^\circ} = \frac{\pi \cdot 662.285 \text{ km} \cdot 40^\circ}{180^\circ} = 462.362 \text{ km} .$$

Δs lahko izračunamo tudi brez poprejšnjega računanja kota $\Delta\alpha$:

$$\Delta s = \frac{\pi \cdot r_{(y)} \cdot (\alpha' - \alpha)}{180^\circ} = \frac{\pi \cdot r_{(y)} \cdot (\sin^{-1} \left(\frac{\Delta x'}{r_{(y)}} \right) - \sin^{-1} \left(\frac{\Delta x}{r_{(y)}} \right))}{180^\circ} = \frac{\pi \cdot 662.285 \text{ km} \cdot (\sin^{-1} \left(\frac{482.732 \text{ km}}{662.285 \text{ km}} \right) - \sin^{-1} \left(\frac{78.089 \text{ km}}{662.285 \text{ km}} \right))}{180^\circ} = 462.615 \text{ km} .$$

Odstopanje se pojavi zaradi zaokroževanja tekom postopka računanja $\Delta\alpha$.

Vse podatke zapišemo v tabelo:

Tabela 2.

φ	$r_{(y)}$	α	α'	$\Delta\alpha$	Δs
17,83°	662.285 km	6,8°	46,8°	40°	462.615

5.4. Izračun hitrosti pege št. 2597 in določitev vrtilne dobe Sonca

Hitrost pege izračunamo po enačbi za enakomerno gibanje, $v = \frac{s}{t}$, kjer je $s = \Delta s$ in $t = 3 \text{ dni} = 72 \text{ h}$ (razlika v času med posnetjem 1. in 2. fotografije, 24. in 27. 9. 2016).

Tako dobimo

$$v = \frac{s}{t} = \frac{462.615 \text{ km}}{72 \text{ h}} = 6425 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1,78 \frac{\text{km}}{\text{s}} .$$

Iz podatka o hitrosti pege lahko izračunamo, v kolikih dneh se bo Sonce (oziroma del Sonca s severno ali južno heliografsko širino 17,83°) zavrtelo okoli svoje osi. Pega bi v tem primeru opravila pot

$$s = 2\pi r = 2\pi \cdot r_{(y)} = 2\pi \cdot 662.285 \text{ km} = 4.161.259 \text{ km} ,$$

kar ustreza obsegu Sonca na severni oz. južni heliografski širini 17,83°.

Hitrost pege bi bila $6425 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, torej bi se Sonce za en obrat potrebovalo

$$t = \frac{s}{v} = \frac{4.161.259 \text{ km}}{6425 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 647,7 \text{ h} \approx 27 \text{ dni} .$$

Pri zgoraj izračunani vrtilni dobi Sonca (27 dni) nismo upoštevali, da se Zemlja giblje okoli Sonca. Dobili smo sinodsko vrtilno dobo Sonca, računano iz Zemlje, ki se razlikuje od siderske vrtilne dobe, ki se računa glede na oddaljene zvezde.

6. Zaključek

Hitrost navideznega gibanja posamezne sončeve pege zaradi vrtenja Sonca je odvisna od njene lege oziroma heliografske širine in se lahko izračuna na več načinov. Hitrost Sončeve pege št. 2597 smo izračunali na enostaven način, pri čemer smo uporabili dve fotografiji Sonca s časovnim razmikom 3 dni, posneti iz Murske Sobote. Z izračunano hitrostjo te pege, ki je bila vidna ob koncu septembra 2016, južno od Sončevega ekvatorja, smo lahko ocenili tudi sinodsko vrtilno dobo Sonca na tej heliografski širini, in sicer na 27 dni.

Viri

1. Differential rotation of the Sun. https://en.wikipedia.org/wiki/Differential_rotation#Differential_rotation_of_the_Sun (2016-10-08).
2. Avtor slik 1 in 2: Bojan Jandrašič (2016).
3. AGUILAR, David A. Planeti, zvezde in galaksije: ilustrirana enciklopedija našega vesolja. Ljubljana: Rokus Klett, 2008 (str. 34).
4. Povzeto po: Sončeve pege. http://fizika.dssl.si/Galileo/indexe648.html?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=68 (2016-11-04).
5. Povzeto po: EMMERICH, M., Melchert, S. Astronomija: Čudovito vesolje, opazovanje planetov, zvezd in galaksij. Kranj: Narava, 2006 (str. 31).

6. Spaceweather Archive. <http://spaceweather.com/archive.php?view=1&day=08&month=10&year=2016>, (2016-11-05).
7. Sunspots. <http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspots.html> (2016-11-14).
8. Sunspots and the Solar Max. <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/SolarMax/> (2016-11-14).
9. Thomas Harriot. <http://www-gap.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Harriot.html> (2016-11-04).
10. David (1564-1617) and Johannes (1587-1616) Fabricius. <http://galileo.rice.edu/sci/fabricius.html> (2016-11-04).
11. Galileo's Sunspot Drawings. http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspot_drawings.html (2016-11-14).
12. Vir slike: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/SolarMax/>, (2016-11-14).
13. Sunspots and the Solar Max. <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/SolarMax/> (2016-11-15).
14. Povzeto po: EMMERICH, M., Melchert, S. *Astronomija: Čudovito vesolje, opazovanje planetov, zvezd in galaksij*. Kranj: Narava, 2006 (str. 31).
15. Vir slike: <http://www.universetoday.com/76385/breaking-news-the-sun-worked-175-years-ago/>, dostop 2016-11-03).
16. Povzeto po: EMMERICH, M., Melchert, S. *Astronomija: Čudovito vesolje, opazovanje planetov, zvezd in galaksij*. Kranj: Narava, 2006 (str. 30).
17. Avtor slik 10a, 11a: Bojan Jandrašič (2016).
18. Vir slik 10b, 11b: <http://spaceweather.com/archive.php> (2016-11-05).