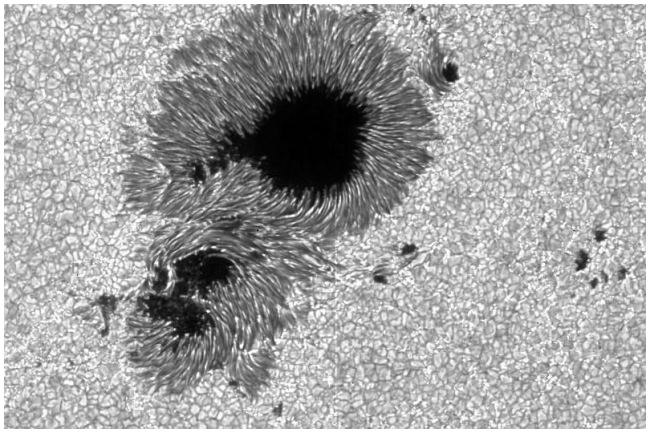
Plamy słoneczne nie tylko na zdjęciach

Szymon Drywa
I Liceum Ogólnokształcące z Oddziałami Dwujęzycznymiw Kartuzach im. Hieronima Derdowskiego

1. Plamy słoneczne – wstęp teoretyczny

Na powierzchni gwiazd można dostrzec różne procesy, a jednym z nich jest efekt występowania plam słonecznych. Plamy słoneczne to struktury przybierające kształt kolisty, w których można wyróżnić dwa obszary – umbrę i penumbrę (zwane również cieniem i półcieniem). Charakteryzują się one temperaturą o około 1300°C niższą od otaczającej je plazmy, a wskutek kontrastu z bardzo jasną fotosferą wydają się nadzwyczaj ciemne. Plamy słoneczne pojawiają się, a następnie stopniowo zanikają. Cykl trwania ich „życia" to od zaledwie jednego dnia do nawet kilku miesięcy. W ciągu tego czasu niektóre plamy osiągają ogromne rozmiary, nawet kilkanaście razy większe od średnicy Ziemi.



Rys. 1. Umbra i penumbra ukazane na powierzchni słonecznej [1]

1.1. Aktywność słoneczna

Ilość plam słonecznych jest zmienna w czasie, ale ta zmienność jest periodyczna i dlatego można mówić o cyklu słonecznym, trwającym około 11 lat. Do opisania aktywności słonecznej wykorzystuje się tzw. liczbę Wolfa. Wielkość tę oblicza się w oparciu o równanie (1):

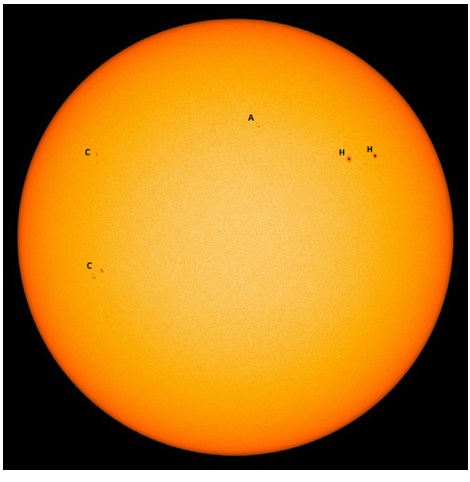
$$R = k(10 \cdot g + p), \tag{1}$$

gdzie:
R – liczba Wolfa (średnia aktywność słoneczna);

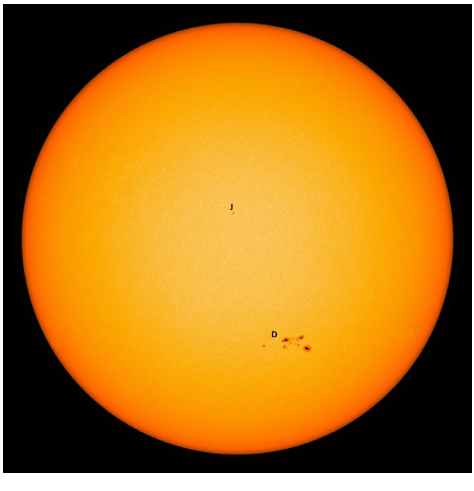
k – statystyczny współczynnik korygujący (dzięki korekcie można uwzględniać warunki atmosferyczne, a także rodzaj wykorzystanego teleskopu);
g – widzialna liczba grup plam (obszary plam słonecznych);
p – widzialna liczba ognisk plam (pojedyncze ogniska i pory).

Cykl słoneczny charakteryzuje się takimi zjawiskami jak minimum oraz maksimum słoneczne – stany te to odpowiednio okres niskiej aktywności i względnie wysokiej aktywności słonecznej. Różnią się one intensywnością występowania plam słonecznych oraz innych zjawisk obserwowanych w fotosferze Słońca, takich jak pochodnie i protuberancje.

Aby określić, w jakim momencie cyklu słonecznego aktualnie znajduje się Słońce, potrzebne jest wyznaczenie liczby Wolfa dla tego okresu czasu. Wymaga to pogrupowania i klasyfikacji skupisk plam słonecznych do poszczególnych typów. W tym celu zastosowałem klasyfikację z Zurychu, którą zamieściłem w tabeli 1.



Rys. 2. Klasyfikacja grup plam 1 marca 2022



Rys. 3. Klasyfikacja grup plam 31 sierpnia 2022

Tabela 1. Klasyfikacja grup plam słonecznych (sporządzono na podstawie [2])

Typ	Opis	Ewolucja
A	Jednobiegunowe. Por lub mała grupa porów bez półcienia	Pojedynczy por lub więcej porów pojawiających się bardzo blisko siebie, w dowolnym miejscu na powierzchni Słońca między 5° a 40° szerokości heliograficznej
B	Dwubiegunowe. Większa grupa porów bez półcienia, zwykle rozciągnięta na kierunku wschód-zachód	Jeden lub więcej porów pojawia się na wschód lub zachód od poprzedniej grupy (układ dwubiegunowy). Liczba porów wzrasta w rejonie miejsca, gdzie pojawił się pierwszy i drugi por
C	Dwubiegunowe. Plama z półcieniem i z grupą porów	Niektóre z porów na krańcach grupy inicjują powstanie półcienia. Najbardziej na zachód położony por często staje się plamą (plamą główną)
D	Dwubiegunowe. Dwie lub więcej plam z porami pomiędzy nimi. Rozpiętość grupy to mniej niż 10° heliograficznych	Jedna lub więcej plam powstaje na krańcu przeciwległym do tego, na którym powstała pierwsza. Pomiędzy plamami powstają nowe pory; pory mogą powstawać także w obrębie plam
E	Dwubiegunowe. Grupy plam i pośrednich porów. Rozpiętość grupy między 10º a 15º heliograficznych	W strefie pośredniej tworzą się plamy, a rozpiętość grupy rośnie. Na krańcach grupy mogą powstawać nowe plamy. Rozpiętość przynajmniej 10°. Na tej samej szerokości, lecz na przeciwnej półkuli, może pojawić się nowy układ
F	Dwubiegunowe. Grupa plam i pośrednich porów. Plamy rozległe i złożone. Rozpiętość grupy przekracza 15º heliograficznych	Grupa nadal rozrasta się w sposób nieregularny. Pojawiają się projekcje porów i jasne mostki. Plamy są nieregularne i gwałtownie zmieniają kształty. Dwubiegunowość zanika i pojawia się wielobiegunowość. To punkt szczytowy rozwoju. Rozpiętość grupy wynosi przynajmniej 15°
G	Dwubiegunowe. Rozkład grupy – plamy krańcowe bez porów pośrednich Rozpiętość grupy poniżej 10° heliograficznych	Zaczyna się rozkład grupy. Znikają pory i plamy pośrednie, plamy krańcowe zaokrąglają się i powraca dwubiegunowość. Rozpiętość grupy około 10º
H	Jednobiegunowe. Plama z półcieniem o rozpiętości ponad 2,5º heliograficznych	Znikają pory i plamy na jednym z krańców, zanika dwubiegunowość; pozostaje jedna lub więcej plam z porami lub bez, skupionych w jednym miejscu. Rozpiętość grupy ponad 2,5°
J	Jednobiegunowe. Plama z półcieniem o rozpiętości poniżej 2,5º heliograficznych	Jedna lub dwie plamy, zwykle bez porów w pobliżu, o rozpiętości poniżej 2,5°

1.2. Magnetyzm plam słonecznych

Amerykański astronom C.A. Young zauważył w 1892, że niektóre linie fal widmowych plam ulegają rozszczepieniu. Dopiero 16 lat później G.E. Hale zasuge-

rował, że przyczyną rozszczepienia linii widmowych fal elektromagnetycznych jest pole magnetyczne plam. Sugestia Hala została potwierdzona eksperymentalnie przez P. Zeemana (obecnie nazywa się to efektem Zeemana). Dzięki tym odkryciom wiadomo, że natężenie pola magnetycznego w plamach słonecznych jest nawet kilkaset razy większe niż na obszarach pozbawionych plam.

Plamy słoneczne najczęściej pojawiają się w parach, które są dwubiegunowe. W wyniku zmiany biegunowości plam z północnej na południową – i odwrotnie – cykl zmienności magnetycznej jest dwa razy dłuższy od cyklu słonecznego i trwa 22 lata.

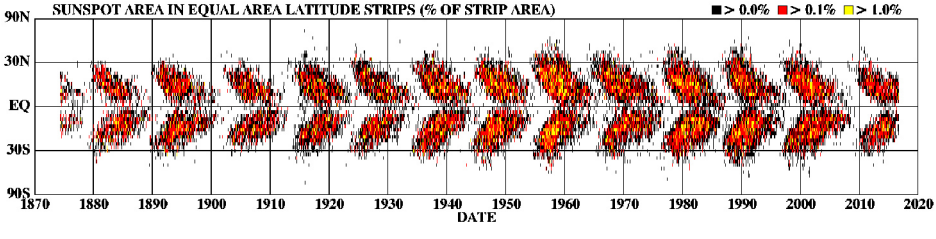
Plamy słoneczne są doskonałym narzędziem do pomiaru aktywności słonecznej, dzięki nim można opisać zmiany fotosfery oraz korony słonecznej na przestrzeni miesięcy, lat, dekad, a nawet setek lat (badanie przyrostów słojów drewna). W wyniku obserwacji rodzimej gwiazdy jesteśmy w stanie przeprowadzać różnorakie badania i analizy procesów zachodzących w gwiazdach oraz budować modele fizyczne gwiazd.

Dzięki tym obserwacjom można opracować procedury ochrony np. satelitów okrążających Ziemię i Słońce, gdyż podczas maksimum słonecznego satelity są narażone na burze słoneczne, które mogą doprowadzić do ich uszkodzenia. Burze słoneczne wpływają także na magnetosferę Ziemi - w konsekwencji pojawiają się burze geomagnetyczne.

W artykule przedstawiono wyniki obserwacji zmian aktywności słonecznej – przeanalizowano zmiany ilości plam i ich położenia metodą analizy dokumentacji fotograficznej tarczy Słońca, obserwowanego od początku marca do końca sierpnia 2022 roku.

1.3. Zmiany położenia plam słonecznych

Na podstawie obserwacji ruchu plam słonecznych można stwierdzić, że poszczególne fragmenty powierzchni słońca poruszają się z różną prędkością. Ponadto podczas trwania cyklu słonecznego plamy zmieniają współrzędne szerokości heliograficznej. Na początku cyklu plamy pojawiają się na szerokościach heliograficznych 36°, następnie plamy dążą do równika gwiazdy – określa to prawo Spörera. Maksimum słoneczne przypada na okres, kiedy plamy znajdują się na szerokości 16°, a minimum na szerokościach 7°. Następnie cały cykl się powtarza.



Rys. 4. Wykres punktowy ukazujący rozmieszczenie plam słonecznych między 1870 a 2020 rokiem, w zależności od szerokości heliograficznej [3]

2. **Metodyka badawcza**

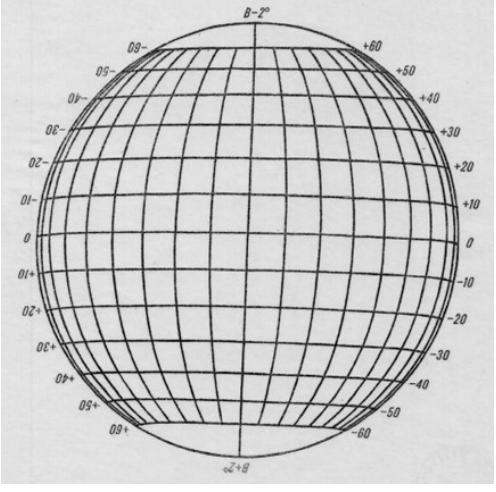
Obserwacje zostały wykonane w okresie 6 miesięcy (od marca do sierpnia 2022 roku) za pomocą teleskopu słonecznego LUNT LS60T H zintegrowanego z teleskopem Sky-Watcher (apertura 10 cali) na montażu paralaktycznym. Rejestratorem obrazu była kamera Atik 460EX Color. Dzięki takiej konfiguracji zapewniłem powtarzalną orientację rejestrowanego obrazu we współrzędnych równikowych. Na prowadzenie obserwacji istotny wpływ miały warunki atmosferyczne. Do analizy wykorzystałem zarejestrowane obrazy. Luki związane z zachmurzeniem uzupełniłem ze źródła zewnętrznego, które wskazuję w opisie rysunku 6. Obserwacje były prowadzone w oparciu o sprzęt do obserwacji astronomicznych zamontowany w kopule obserwacyjnej I Liceum Ogólnokształcącego w Kartuzach. Obserwacja była możliwa zdalnie w czasie dni wolnych od nauki w szkole za pomocą programu TeamViewer i panelu sterującego kopułą i sprzężonym z nim teleskopem. Rejestracja fotograficzna tarczy słonecznej była planowana zawsze w tym samym czasie strefowym – godzina 12^{00}. Różnice w czasie obserwacji (1h) były konsekwencją warunków pogodowych.

Na rysunku 5 przedstawiono fotografię teleskopu wykorzystanego do przeprowadzenia obserwacji.

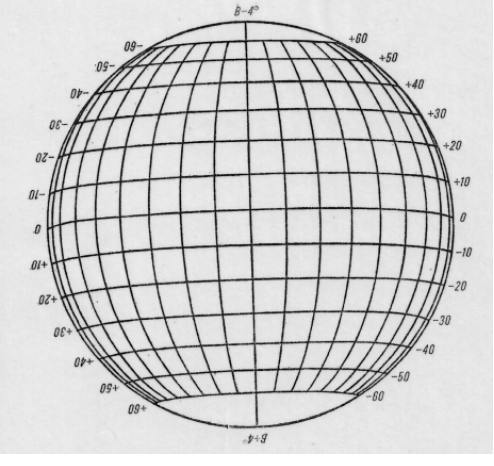
Rys. 5. Teleskop wykorzystany do przeprowadzenia obserwacji

W pracy *Badanie ruchu obrotowego Słońca z wykorzystaniem położenia plam słonecznych* absolwent I Liceum w Kartuzach, Damian Trybull [1], udowodnił, że Słońce obraca się wokół własnej osi, oraz że oś obrotu Słońca jest nachylona względem płaszczyzny ekliptyki i zmienia kierunek orientacji w układzie współrzędnych równikowych. W wyniku ruchu obrotowego słońca plamy słoneczne przemieszczają się ze wschodu na zachód. Podczas tej wędrówki plamy zakreślają łuki, które różnią się kształtem dla poszczególnych miesięcy np. w marcu łuk drogi pokonanej przez plamę jest zwrócony wypukłością do bieguna północnego Słońca, a w sierpniu odwrotnie – wypukłością do bieguna południowego. Dla-

tego, aby poprawnie zmierzyć zmiany położenia plam słonecznych wraz z czasem, zastosowałem specjalne siatki heliograficzne, inne dla każdego z badanych miesięcy. Przykładowe prezentuję na rysunkach 6 i 7. Na ich podstawie przygotowałem szablon w wersji elektronicznej, a następnie w oparciu o program graficzny Adobe Photoshop nakładałem siatkę heliograficzną na fotografie tarczy słonecznej.



Rys. 6. Siatka heliograficzna na marzec [4]



Rys. 7. Siatka heliograficzna na sierpień [4]

3. **Wyniki obserwacji i dyskusja**

Dzięki zdjęciom z okresu 6 miesięcy możliwe było stworzenie odpowiednich wykresów potrzebnych do określenia aktywności słonecznej. Przykładowe tabele z danymi uzyskanymi na podstawie analizy fotografii dla marca i sierpnia zawarte są w tabelach 2, 3, 4, 5.

Tabela 2. Skatalogowane grupy plan słonecznych dla marca 2022 r.

Miesiąc	Marzec																														
Dzień	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Typ	C	C	A	E	B	C	C	E	E	E	H	H	H	H	H	A	B	B	B	B	B	C	E	F	F	E	H	D	D	C	H
	C	C	D	A	E	E	E	B	B	A	A	F	F	B	B	H	H	H	B	A	D	C	C	C	C	C	E	E	E	C	H
	A	A	B	A	A	B	B	D	C	B	F	A	B	F	F	A	B	B	A	C	C		A			C	C	E	F	G	D
	H	H	H	D	A	A	B	B	B	E	A	H	H	H	H	C	C	B	A	A							B	B	B	C	G
	H	H	H	C	D	D	C	C	B	C	H	C				D	B	H	B								J	B	J	J	C
				H	B	A	B	H	H	H	A						D		H									J	J	E	G
				H	B	B		B			D																	C	B	J	E

Tabela 3. Skatalogowane grupy plam słonecznych dla sierpnia 2022 r.

Miesiąc	Sierpień																														
Dzień	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Typ	A	H	H	D	D	H	H	H	H	H	H	J	D	D	A	B	J	J	J	A	D	J	H	C	A	D	D	A	D	D	D
	D	D	D	H	H	H	D	A	B	H	H	J	H	D	D	B	A	C	B	A	J	D	D	H	A	J	J	D	C	C	J
						J	H	B	H	A	H	H	C	D	D	C	B	A	C	A	A	J	D	D	D	C	C	A	H		
						H	H	H	H	H	C	D	D	D	D	D	D	C	A	J	A	J		D	H	D	D	C			
						D	B	A	C	C	H	D	H	H	H	D	C	H	C	A	A	H		D	C	H	H	E			
						C	D	H	H	H		H	H		C	B	D	D	H	H	H			J	D			H			
						D	H	H				C	B			C	J		D	C					D						
							H	J				C				D															
								C				H				H															
																B															

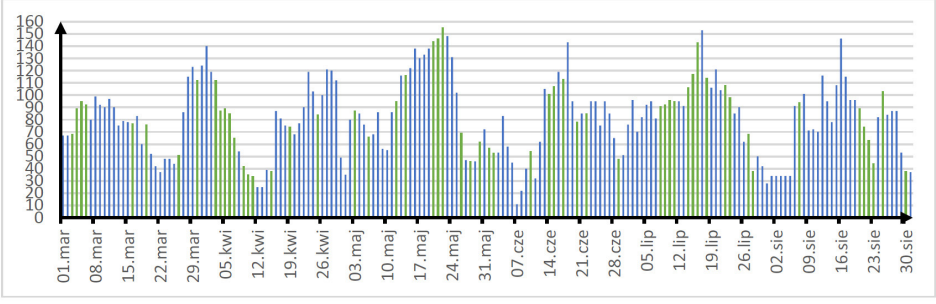
Tabela 4. Zliczone widzialne grupy plam – g i widzialnych ognisk plam – p dla marca 2022 r.

Miesiąc	Marzec																														
dzień	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
g	5	5	5	7	7	7	6	7	6	6	7	5	4	4	4	5	6	5	6	4	3	2	3	2	2	3	5	7	7	7	7
p	17	17	18	19	25	22	20	29	32	30	27	40	35	39	38	27	23	10	16	12	12	17	18	28	24	21	36	45	53	42	54

Tabela 5. Zliczone widzialne grupy plam – g i widzialnych ognisk plam – p dla sierpnia 2022 r.

Miesiąc	Sierpień																														
dzień	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
g	2	2	2	2	2	7	8	9	6	6	5	9	7	5	6	10	7	6	7	7	6	5	3	6	7	5	5	6	3	2	2
p	14	14	14	14	14	21	14	11	11	12	20	26	25	28	48	46	45	36	26	19	14	13	14	22	33	34	37	27	23	18	17

Tabele 2 i 3 zawierają dane dotyczące pogrupowania skupisk plam do poszczególnych grup. Natomiast tabele 4 i 5 zawierają dane dotyczące ilości widzialnych grup plam oraz liczbę ognisk plam. Po analizie i interpretacji danych zawartych w tabelach możliwe było stworzenie wykresu aktywności słonecznej przedstawionego na rysunku 8.



Rys. 8. Średnia aktywność słoneczna w poszczególnych dniach

Obszary zaznaczone na wykresie kolumnowym odcieniem zielonym (3-6.03; 16.03; 19.03; 26.03; 30.03; 3-7.04; 9-11.04; 15.04; 19.04; 25.04; 3.05; 6.05; 12.05; 14.05; 20-22.05; 26.05; 28.05; 30.05; 1-2.06; 10.06; 14-15.06; 17.06; 20.06; 22.06; 29.06; 8-11.07; 14-16.07; 18.07; 23-24.07; 27-28.07; 7.08; 20-23.08; 25.08; 30.08) to dni, w których obserwacja Słońca była utrudniona z przyczyny zachmurzonego nieba. Dane uzupełniające zostały wykorzystane z strony [6].

Otrzymane wcześniej zdjęcia posłużyły również do obliczenia zmian rozmieszczenia grup plam słonecznych wraz z czasem. Aby wyznaczyć położenie plamy, na każde zdjęcie Słońca nałożyłem siatkę heliograficzną, co pozwoliło określić położenie plam i grup plam, z uwzględnieniem miesiąca, w którym była prowadzona obserwacja. Zebrane dane są przedstawione w tabelach 6 i 7. W tabelach 6 i 7 znak minus przed liczbą oznacza położenie plamy na półkuli południowej Słońca.

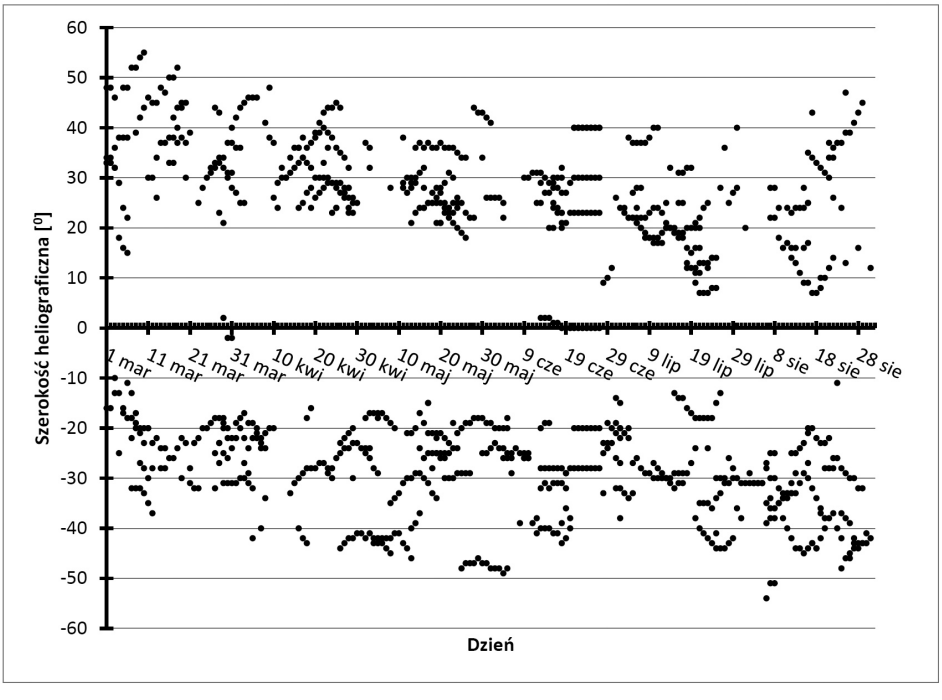
Tabela 6. Położenie grup plam słonecznych w marcu 2022 r.

Miesiąc	Marzec																													
Dzień	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Szerokość heliograficzna	-16	-16	36	-25	48	48	52	39	42	44	46	30	34	37	37	33	33	-24	-30	37	-28	-23	25	28	30	32	-25	-27	-20	-26	40
	33	33	32	18	24	22	-22	52	54	55	30	45	45	48	47	38	-26	37	44	45	-31	-32	-22	-20	-20	31	-18	-23	-25	-22	-24
	48	48	32	-13	16	15	-18	-20	-20	-20	-20	-28	26	-24	-24	-26	38	52	38	30	39		-32			-19	-32	-23	-31	-31	-22
	33	33	46	38	-17	-18	-32	-32	-32	-33	-20	-23	-22	-28	-28	50	50	40	-22	-23							33	34	34	-20	-31
	34	34	-13	29	38	38	-18	-17	-27	-28	-35	-37					42	44	45								32	33	32	37	37
			-10	29	-16	-11	-13	-19	-21	-23	-30																44	-18	-18	31	31
																												43	-19	30	28
																												23	2	-2	-2
																													21		

Tabela 7. Położenie grup plam słonecznych w sierpniu 2022 r.

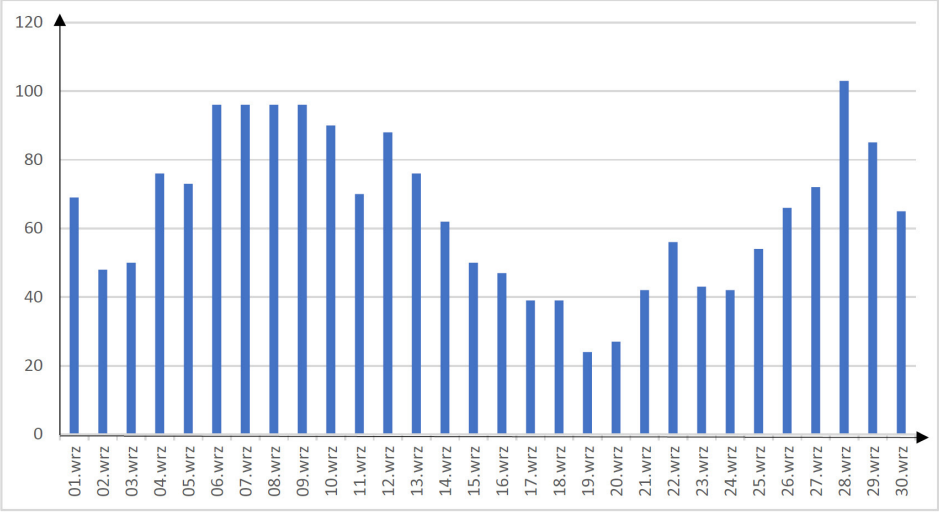
Miesiąc	Sierpień																													
Dzień	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Szerokość heliograficzna	20	-29	-31	-31	-31	-28	28	28	18	16	17	23	24	24	24	35	34	33	32	31	37	36	37	37	39	39	41	43	45	-43	12
	-31	-31	-31	-31	-31	-35	22	22	-32	-33	-33	16	16	11	16	25	43	7	10	10	34	34	-26	24	13	-30	-30	-32	-43	-41	-42
						-54	-30	-30	-35	-34	-34	14	13	-24	9	25	7	-22	8	-23	30	14	-40	-28	-29	-39	-42	-43	-43		
						-39	-34	-36	-35	-34	-33	-25	-25	-31	28	9	-20	-34	-23	-28	12	26	-11	-37	-38	-45	-44	-44	-32		
						-27	-36	-25	24	-38	-40	-42	-33	-44	-45	17	-32	-44	-36	-38	-22	-26		-42	-46	-46	-43	16			
							-25	-38			24	-33	-29		-23	-20	-43	-44	-37	-40	-28	-37		-48	47						
							-38	-51				-33	-44		-29	-30	-43		-42		-38	-28									
							-51					-31				-21															
																-27															
																-44															

Dzięki tabelom pokazującym położenie grup plam słonecznych mogłem wykonać diagram Maundera, zwany również wykresem motylkowym, pokazany na rysunku 9.

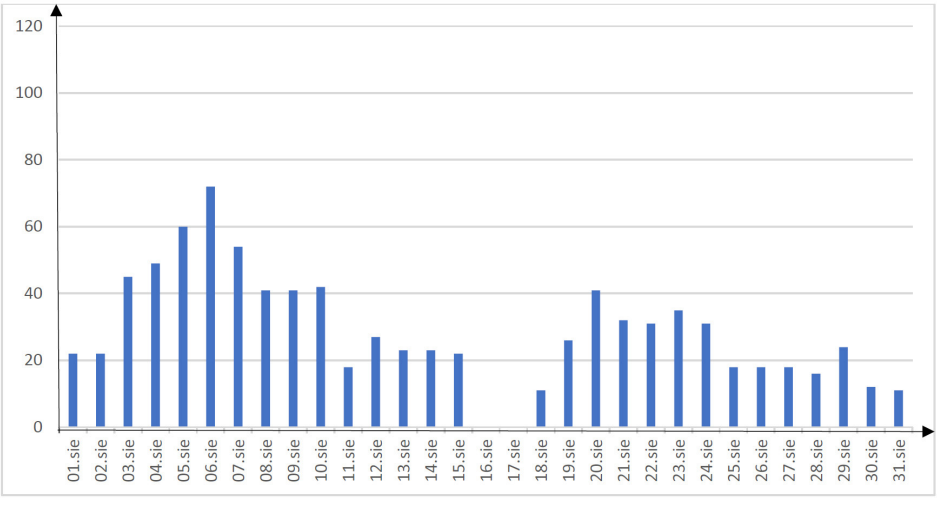


Rys. 9. Rozmieszczenie grup plam słonecznych

Absolwent I Liceum Ogólnokształcącego w Kartuzach Jakub Auguściak w swojej pracy pt. *Badanie aktywności Słońca, wyznaczenie rozmiarów plam słonecznych i protuberancji* [5] zawarł między innymi obliczenia aktywności słonecznej. Obserwacje prowadził w roku 2014 i 2015, a wyniki jego badań przedstawione są na rysunkach 10 i 11.



Rys. 10. Średnia aktywność słoneczna zarejestrowana we wrześniu 2014 r. [4]



Rys. 11. Średnia aktywność słoneczna zarejestrowana w sierpniu 2015 r. [4]

Wnioski

Z analizy wykresów przedstawionych na rysunkach 10 i 11 wynika, że aktywność słoneczna ma tendencję malejącą. Liczba Wolfa przyjmuje większe wartości we wrześniu 2014 roku niż w sierpniu 2015 roku. Również na rysunku 11 widać dni, w których wyznaczona liczba Wolfa przyjęła wartość 0, co oznacza, że podczas tego okresu nie zaobserwowano plam słonecznych. Te fakty świadczą o tym, że w okresie 2014-2015 Słońce zbliżało się do minimum słonecznego, co Jakub Auguściak zawarł w swojej pracy. Natomiast wykres przedstawiający

aktywność słoneczną dla okresu od marca do sierpnia 2022 (rysunek 8) pokazuje wartości dwukrotnie większe niż przedstawione na rysunkach 10-11. W ciągu całego badanego przeze mnie okresu nie wystąpił dzień bez plam słonecznych. Świadczy to o wysokiej aktywności słonecznej z tendencją rosnącą, dlatego z całą pewnością można stwierdzić, że w okresie od marca do sierpnia 2022 Słońce dąży do maksimum aktywności. Diagram Maundera (przedstawiony na rysunku 9) pozwala określić etap aktywności słonecznej, w jakim znajduje się Słońce. Większość plam pojawia się w okolicach 30°N i 30°S – jest to zgodne z prawem Spörera. Ich ilość utrzymuje się na wysokim średnim poziomie, a liczba Wolfa waha się w przedziale od 70 do 90, średnie wartości dla marca i sierpnia to ponad 76, a dla czerwca ponad 73.

Dzięki temu możliwe jest określenie tendencji kierunku zmian położenia plam słonecznych w ciągu trwania cyklu słonecznego. Gdy porównano dane obserwacyjne uzyskane przez Jakuba Auguściaka z 2014 i 2015 roku z moimi obserwacjami z 2022 roku, stwierdzono, że Słońce jest na etapie wzrostu aktywności. Wynika to z obecnego położenia plam słonecznych w okolicach 30°N i 30°S, co zgodnie z prawem Spörera oznacza dążenie Słońca do maksimum aktywności. W kolejnych miesiącach liczba Wolfa będzie systematycznie wzrastać, pojawi się coraz więcej plam oraz grup plam słonecznych. Wzrost tych parametrów jest widoczny także w obserwacjach miedzy marcem i sierpniem wykonanych w niniejszej pracy. Na Słońcu coraz częściej będzie można zaobserwować zjawiska takie jak pochodnie słoneczne, protuberancje czy koronalne wyrzuty materii.

Dzięki prowadzeniu obserwacji Słońca wiadomo coraz więcej o procesach zachodzących w atmosferach gwiazdowych, a tym samym o otaczającym ludzi Wszechświecie. Nawet najprostsze obserwacje są źródłem wiedzy i umiejętności, które można wykorzystać podczas prowadzenia obserwacji i badań innych zjawisk. Dzięki temu jest możliwe budowanie modeli matematycznych pozwalających na badanie tych procesów i zjawisk poprzez modyfikowanie warunków początkowych. W ten sposób można weryfikować ewentualne koncepcje teoretyczne próbujące opisać zjawiska zachodząca w atmosferach gwiazd i wskazać na przyczyny tych procesów.

Literatura

[1] https://www.nasa.gov/mission_pages/hinode/solar_022.html, data dostępu: 17.10.2022.
[2] https://solarscience.msfc.nasa.gov/images/bfly.gif, data dostępu: 17.10.2022,
[3] http://hep.fuw.edu.pl/u/zarnecki/gloria/web/experiments/wolf/solar-activity-pl.pdf, data dostępu: 17.10.2022.
[4] *Obserwacje i pomiary astronomiczne* P.G. Kulikowski, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1976.
[5] Jakub Auguściak, *Badanie aktywności Słońca, wyznaczenie rozmiarów plam słonecznych i protuberancji,* 2016, I Liceum Ogólnokształcące im. Hieronima Derdowskiego w Kartuzach.
[6] https://www.spaceweatherlive.com/pl/aktywnosc-sloneczna.html, data dostępu: 17.10.2022.
[7] Damian Trybull, *Badanie ruchu obrotowego Słońca z wykorzystaniem położenia plam słonecznych*, 2016, I Liceum Ogólnokształcące im. Hieronima Derdowskiego w Kartuzach.

[8] Działania edukacyjne Obliczanie aktywności słonecznej. Liczba Wolfa. Tryb dostępu: http://hep.fuw.edu.pl/u/zarnecki/gloria/web/experiments/wolf/solar-activitypl.pdf, data dostępu: 17.10.2022.
[9] Encyklopedia PWN, *Liczba Wolfa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, tryb dostępu: https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/Wolfa-liczba;3997661.html, data dostępu: 17.10.2022.
[10] Eugeniusz Rybka, *Astronomia ogólna*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe 1983.
[11] Jakub Auguściak, *Badanie aktywności Słońca, wyznaczenie rozmiarów plam słonecznych i protuberancji*, 2016, I Liceum Ogólnokształcące im. Hieronima Derdowskiego w Kartuzach.
[12] Nasa.gov, tryb dostępu: https://www.nasa.gov/mission_pages/hinode/solar_022.html, data dostępu: 17.10.2022.
[13] P.G. Kulikowski, *Poradnik Miłośnika Astronomii*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe 1976.
[14] SpaceWeatherLive.com, tryb dostępu: https://www.spaceweatherlive.com/pl/aktywnosc--sloneczna.html, data dostępu: 17.10.2022.
[15] Wikipedia Wolna encyklopedia, *Plama słoneczna,* tryb dostępu: https://pl.wikipedia.org/wiki/Plama_s%C5%82oneczna, data dostępu: 17.10.2022.