

JAKUB MAŁECKI, BARBARA WOJNICZ, ANNA DURKIEWICZ

WPLYW CAŁKOWITEGO ZAĆMIENIA SŁOŃCA NA WARTOŚCI WYBRANYCH ELEMENTÓW METEOROLOGICZNYCH W MIEJSCOWOŚCI SIDE W TURCJI W DNIU 29 MARCA 2006 R.

ZARYS TREŚCI

Podstawą opracowania były pomiary przeprowadzone w czasie całkowitego zaćmienia Słońca w Turcji 29 marca 2006 r. W pracy starano się określić wpływ zjawiska na wartości wybranych elementów meteorologicznych. Przeanalizowano przebieg temperatury, wilgotności względnej powietrza, promieniowania całkowitego, a także siły wiatru i zachmurzenia. Obserwacje z 29 III 2006 r. porównane zostały również z obserwacjami obrączkowego zaćmienia Słońca z 3 X 2005 r. w Hiszpanii.

WSTĘP

Zaćmieniem Słońca nazywa się zjawisko astronomiczne polegające na częściowym lub całkowitym przysłonięciu przez tarczę Księżyca tarczy Słońca. Wyróżnić można następujące rodzaje zaćmień:

1. Zaćmienia częściowe

Zaćmienie częściowe ma miejsce wówczas, gdy Księżyc zakrywa dla obserwatora jedynie pewną część tarczy Słońca. Obserwator znajduje się w strefie półcienia rzucanego przez satelitę. Jasność nieba w trakcie trwania tego rodzaju zaćmienia nie zmienia się wyraźnie, jednak podczas bardzo głębokiej fazy (rzędu 90% i więcej) niebo ściemnia się, można odnotować także pewien spadek temperatury. Zaćmienie częściowe jest stosunkowo często widoczne z jednego, konkretnego miejsca na kuli ziemskiej. Dla przykładu, z terenów Polski można było je obserwować w latach 1999, 2003, 2005 i 2006.

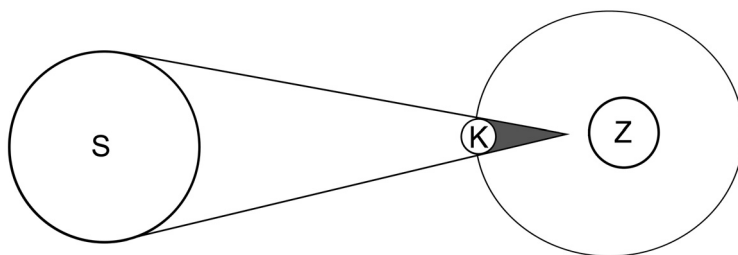


Rys. 1. Częściowe zaćmienie Słońca. Fot. J. Małecki

Fig. 1. Partial solar eclipse. Phot. by J. Małecki

2. Zaćmienia centralne

Zaćmienia centralne zachodzą wówczas, gdy obserwator, Księżyc i Słońce tworzą dokładnie linię prostą, a środek tarczy Księżyca przesuwają się na tyle blisko środka tarczy Słońca, że albo mieści się w niej w całości, albo całkowicie ją zakrywa.



Rys. 2. Schemat powstawania obrączkowego zaćmienia Słońca. Mimośród orbity Księżyca powoduje, że znajduje się on zbyt daleko od Ziemi, aby mogło zaistnieć zaćmienie całkowite
S – Słońce, K – Księżyc, Z – Ziemia

Fig. 2. A scheme showing origin of annular solar eclipse. Eccentricity of Moon's orbit is a cause of a fact that it lies too far from Earth for a total solar eclipse to occur
S – Sun, K – Moon, Z – Earth



Rys. 3. Obrączkowe zaćmienie Słońca sfotografowane 3 X 2005 r. w Hiszpanii. Zza ciemnej tarczy Księżyca wystaje nie zasłonięta część słonecznej fotosfery.
Fot. J. Małecki

Fig. 3. Annular solar eclipse photographed on 3th October 2005 in Spain. From behind dark lunar disc comes out the uncovered part of solar photosphere.
Phot. by J. Małecki

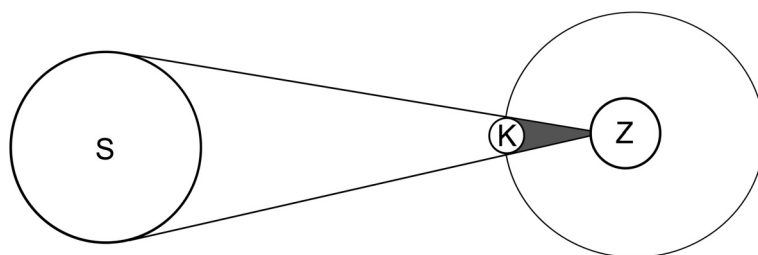
Ziemia i Księżyc są wyjątkowymi ciałami w skali Układu Słonecznego, m.in. dlatego, że ziemski satelita ma na niebie niemal identyczne rozmiary jak gwiazda, którą Ziemia obiega. Wynika to z faktu, że ok. 400 razy mniejszy od

Słońca Księżyc znajduje się ok. 400 razy bliżej Ziemi niż Słońce. Jednak odległość Księżyca od Ziemi podlega wahaniom, a co za tym idzie – zmienia się obserwowana średnica tarczy satelity. Mimośród jego orbity (wynoszący 0,0549) sprawia,

że zmienia on swą odległość od Ziemi w zakresie od ok. 356 tys. km (ma wówczas na niebie średnicę odpowiadającą kątowni $33'30''$ łuku) do ok. 407 tys. km (średnica $29'21''$ łuku) (RYBKA 1970). W związku z tym wyróżnia się dwa rodzaje zaćmień centralnych:

a) Zaćmienie obrączkowe

O zaćmieniu obrączkowym mówi się wtedy, gdy centralnie przesłaniający Słońce Księżyc znajduje się zbyt daleko od Ziemi (ma za małą średnicę kątową), aby całkowicie zakryć większą tarczę

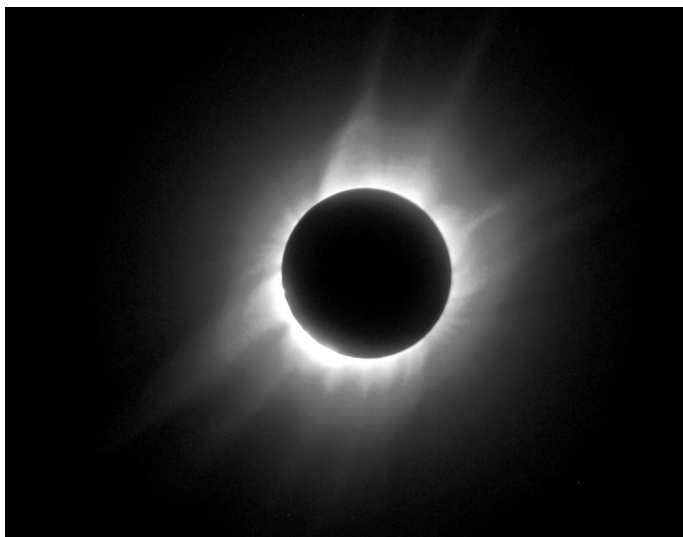


Rys. 4. Schemat powstawania całkowitego zaćmienia Słońca. Stożek cienia dotyka powierzchnię Ziemi

S – Słońce, K – Księżyc, Z – Ziemia

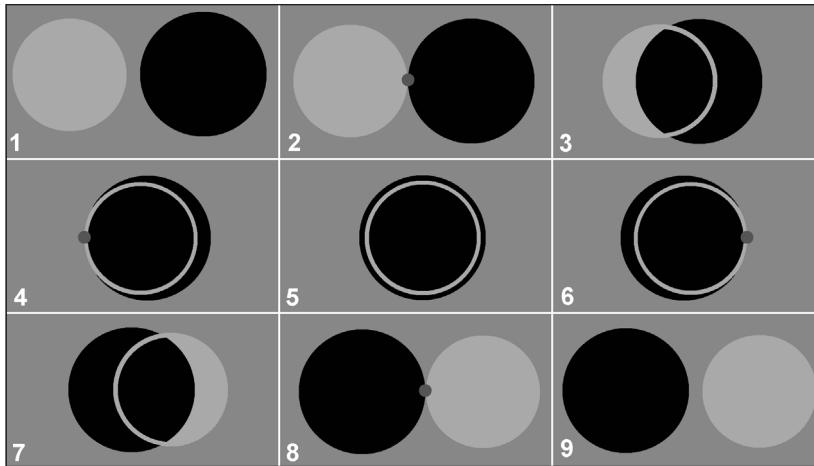
Fig. 4. A scheme showing origin of total solar eclipse. The end of cone of Moon's shadow touches the surface of the Earth

S – Sun, K – Moon, Z – Earth



Rys. 5. Całkowite zaćmienie Słońca sfotografowane 29 III 2006 r. w Turcji. Widoczna korona słoneczna. Fot. J. Małecki

Fig. 5. Total solar eclipse photographed on 29th March 2006 in Turkey. Solar corona is visible. Phot. by J. Małecki



Rys. 6. Przebieg całkowitego zaćmienia Słońca. Jasne koło przedstawia Słońce, czarne – Księżyc, małe szare koła – miejsca zetknięcia tarcz obu ciał

1 – przed zjawiskiem, 2 – pierwszy kontakt, początek zaćmienia częściowego, 3 – faza częściowa, 4 – drugi kontakt, początek zaćmienia całkowitego, 5 – maksimum, 6 – trzeci kontakt, koniec zaćmienia całkowitego, 7 – faza częściowa, 8 – czwarty kontakt, koniec zaćmienia częściowego, 9 – po zjawisku

Fig. 6. Progress of a total solar eclipse. Bright circle indicates the Sun, black – the Moon, small gray circles – spots where both discs contact

1 – before phenomenon, 2 – first contact, the beginning of partial phase, 3 – partial phase, 4 – second contact, the beginning of total eclipse, 5 – maximum, 6 – third contact, the end of total eclipse, 7 – partial phase, 8 – fourth contact, the end of partial phase, 9 – after the phenomenon

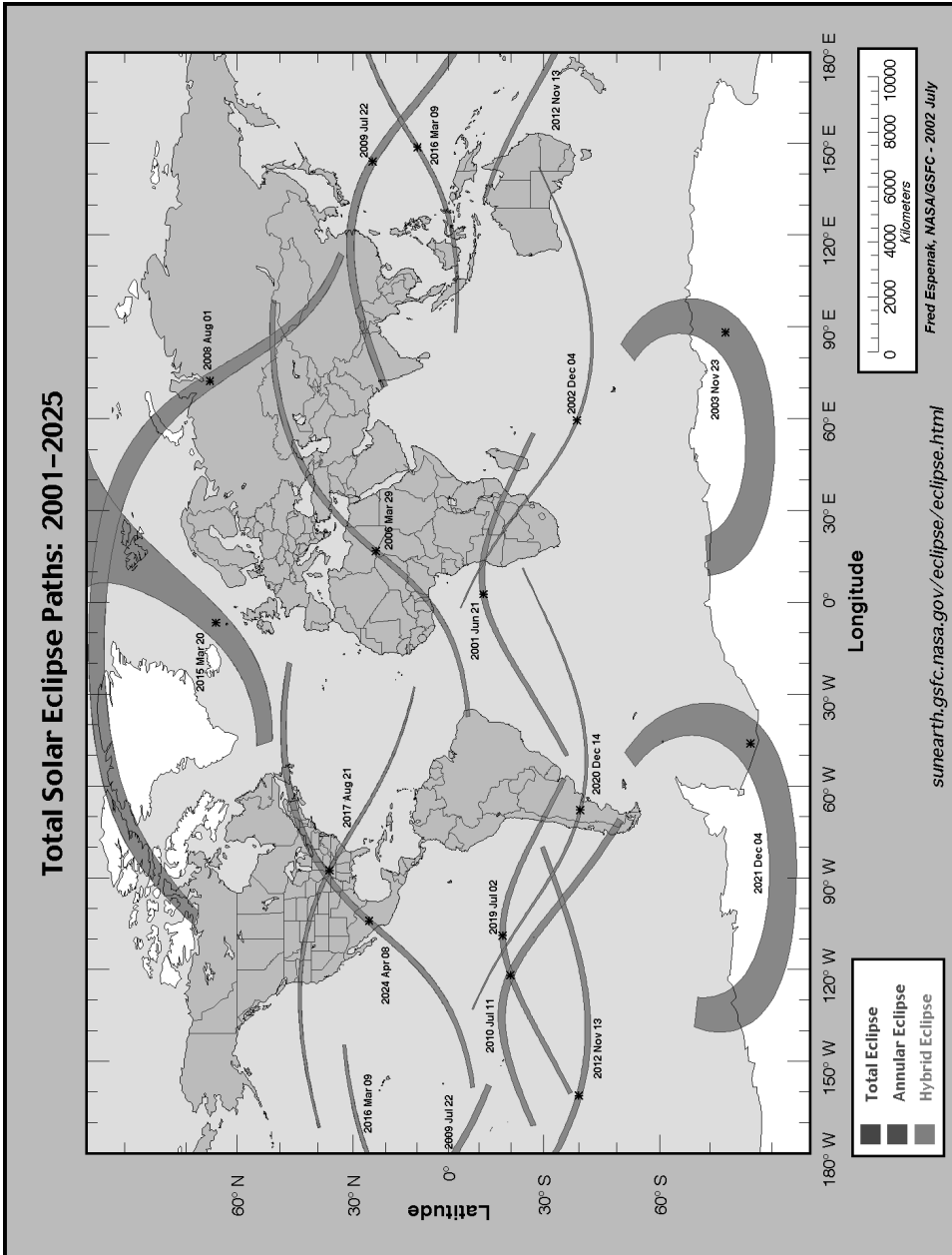
Słońca. Innymi słowy, stożek cienia rzucanego przez Księżyc nie dotyka powierzchni Ziemi, a dookoła ciemnej dla obserwatora tarczy Księżyca widoczna jest wąska obrączka nie zasłoniętej części tarczy słonecznej. Jest to zjawisko bardzo rzadkie dla konkretnego punktu na powierzchni Ziemi. Przykładowo, najbliższe zaćmienie obrączkowe w Polsce nastąpi w 2075 r.

b) Zaćmienie całkowite

Koniecznym warunkiem zaistnienia zaćmienia całkowitego jest odpowiednio duża średnica kątowna tarczy Księżyca. Wówczas stożek cienia satelity dotyka powierzchni Ziemi. Obszar cienia na powierzchni Ziemi jest stosunkowo wąski i waha się z reguły od kilkudziesięciu do kilkuset kilometrów. Zaćmienie całkowite jest jeszcze radsze niż obrącz-

kowe. W Polsce ostatnie takie zjawisko miało miejsce w roku 1954, najbliższe zaś nastąpi w roku 2135.

Mimo że na konkretnym obszarze zaćmienia całkowite występują średnio raz na kilkaset lat, to obserwowane są praktycznie od zawsze i mają dobrze wyznaczony przebieg (rys. 6). Rozpoczynają się pierwszym kontaktem, czyli momentem zewnętrznego zetknięcia tarcz Słońca i Księżyca, który porusza się dla obserwatora z zachodu na wschód. Pierwszy kontakt jest początkiem fazy częściowej, która trwa średnio ok. godziny. Zaćmienie całkowite rozpoczyna się z chwilą drugiego kontaktu, kiedy zachodnie brzegi tarcz Księżyca i Słońca stykają się wewnętrznie. Wówczas obserwować można krótkotrwałe zjawisko tzw. pierścienia z diamentem (ang. *diamond ring effect*), kiedy ostatnie promienie przedostają się zza brzegu satelity.



Rys. 7. Całkowite zaćmienia Słońca w latach 2001–2025

Źródło: <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/>

Fig. 7. Total solar eclipses in period of 2001–2025

Source: <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/>

W momencie nadejścia maksimum zjawiska zapada zmrok. Najjaśniejsze gwiazdy i planety stają się widoczne. Z czarnej tarczy Księżyca przez kilka sekund prześwituje jasna, różowa chromosfera (warstwa atmosfery słonecznej położona nad fotosferą) oraz wielkie masy wyrzucanego z powierzchni Słońca gazu – protuberancje. Z gęstniejącego mroku wyłania się rozległa srebrzysta aureola, zwana koroną. Nad całym horyzontem unosi się czerwonawa zorza, będąca świecą atmosferą, znajdującą się poza strefą cienia. Koniec zaćmienia wieńczy trzeci kontakt i powtórny widok „pierścienia z diamentem”. Nastaje jasność i ponowna faza częściowa zjawiska, która kończy się czwartym kontaktem. Bez wątplenia zaćmienie całkowite należy do najpiękniejszych zjawisk przyrody. Wywołuje ono bowiem bardzo silne wrażenie na obserwujących je widzach.

Jak już wspomniano, zaćmienia całkowite są zjawiskami rzadkimi dla konkretnych miejsc na Ziemi. Niestety, obszar całej Europy (jako kontynentu o stosunkowo niewielkiej powierzchni) rzadko jest przez nie odwiedzany. Ostatnie zaćmienie całkowite obserwowano tutaj w roku 1999, m.in. w Wielkiej Brytanii, Francji, Niemczech i na Węgrzech. Następne tego typu zjawisko w rejonie Europy nastąpi w marcu 2015 r. Pas całkowitości przebiegać jednak będzie przez Morze Norweskie, Wyspy Owcze i Svalbard. Ewentualne obserwacje byłyby zatem utrudnione: zarówno ze względu na wystąpienie w trudno dostępnych terenach, jak i na niepewną pogodę nad tymi obszarami. Zaćmienie korzystniejsze do obserwacji z terenu Europy nastąpi dopiero w sierpniu 2026 r. i przejdzie pasem ciągnącym się od Grenlandii po Półwysep Iberyjski i archipelag Balearów (HARRINGTON 1999). Zaćmienie z 29 marca 2006 r. było zatem jedyną okazją w ciągu dwóch najbliższych dekad, aby tanim kosztem dokonać pomia-

rów wybranych elementów meteorologicznych podczas tak niecodziennego zjawiska. Całkowite zaćmienia Słońca na świecie w latach 2001–2025 przedstawia rys. 7.

METODY BADAŃ

Pas zaćmienia całkowitego 29 marca 2006 r. rozpoczął się na wschodnim wybrzeżu Brazylii. Następnie przeciął środkową część Oceanu Atlantyckiego i kilka krajów afrykańskich: Ghanę, Togo, Benin, Nigerię, Niger, północno-zachodni kraniec Czadu, Libię oraz północno-zachodni kraniec Egiptu. Następnie cień Księżyca przemieścił się przez wschodnią część Morza Śródziemnego, by przez Zatokę Antalyi wkroczyć na terytorium Turcji i dalej, przez Morze Czarne, do Gruzji i Rosji. Pas całkowitości przeciął Kazachstan, a po jego opuszczeniu ponownie przemieszczał się nad Rosją. Zaćmienie skończyło się na niewielkim skrawku terytorium Mongolii. Maksymalna szerokość pasa wyniosła 183,5 km, a maksymalna długość trwania zjawiska – 4 minuty i 6,7 sekundy w południowej Libii (ESPENAK, ANDERSON 2004).

Na miejsce obserwacji wybrano południową Turcję, a dokładniej tzw. Riwierę Turecką położoną nad Morzem Śródziemnym. Ze wszystkich miejsc objętych pasem całkowitości był to obszar umiejscowiony najbliżej Polski i jednocześnie bardzo dogodny pod względem pogody (ESPENAK, ANDERSON 2004), poziomowi rozwoju bazy turystycznej oraz dostępności komunikacyjnej. Po zapoznaniu się ze szczegółową mapą przebiegu pasa zaćmienia stwierdzono, że jego środek (w którym zaćmienie trwa dłużej niż na brzegach pasa) przechodzi przez znane kurorty Side (Selimiye) i Manavgat, położone na wybrzeżu Turcji, niemal dokładnie pomiędzy miastami Antalya i Alanya. Lokacja ta została

FIGURE 1: ORTHOGRAPHIC PROJECTION MAP OF THE ECLIPSE PATH

Total Solar Eclipse of 2006 Mar 29

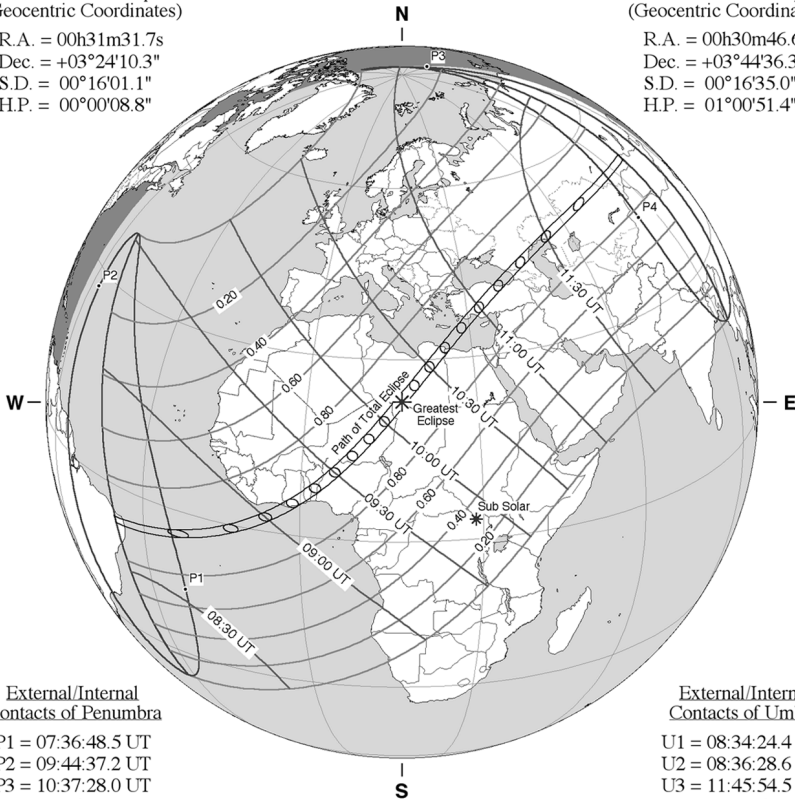
Geocentric Conjunction = 10:33:17.4 UT J.D. = 2453823.939784
 Greatest Eclipse = 10:11:17.7 UT J.D. = 2453823.924510
 Eclipse Magnitude = 1.0515 Gamma = 0.3843
 Saros Series = 139 Member = 29 of 71

Sun at Greatest Eclipse
 (Geocentric Coordinates)

R.A. = 00h31m31.7s
 Dec. = +03°24'10.3"
 S.D. = 00°16'01.1"
 H.P. = 00°00'08.8"

Moon at Greatest Eclipse
 (Geocentric Coordinates)

R.A. = 00h30m46.6s
 Dec. = +03°44'36.3"
 S.D. = 00°16'35.0"
 H.P. = 01°00'51.4"



External/Internal
 Contacts of Penumbra

P1 = 07:36:48.5 UT
 P2 = 09:44:37.2 UT
 P3 = 10:37:28.0 UT
 P4 = 12:45:40.6 UT

External/Internal
 Contacts of Umbra

U1 = 08:34:24.4 UT
 U2 = 08:36:28.6 UT
 U3 = 11:45:54.5 UT
 U4 = 11:47:56.4 UT

Local Circumstances at Greatest Eclipse

Lat. = 23°09.1'N Sun Alt. = 67.3°
 Long. = 016°44.9'E Sun Azm. = 148.6°
 Path Width = 183.5 km Duration = 04m06.7s

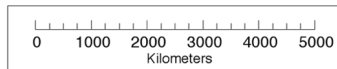
Ephemeris & Constants

Eph. = DE200/LE200
 ΔT = 64.9 s
 k1 = 0.2725076
 k2 = 0.2722810
 Δb = 0.0" Δl = 0.0"

Geocentric Libration
 (Optical + Physical)

l = 2.18°
 b = -0.52°
 c = -21.71°

Brown Lun. No. = 1030



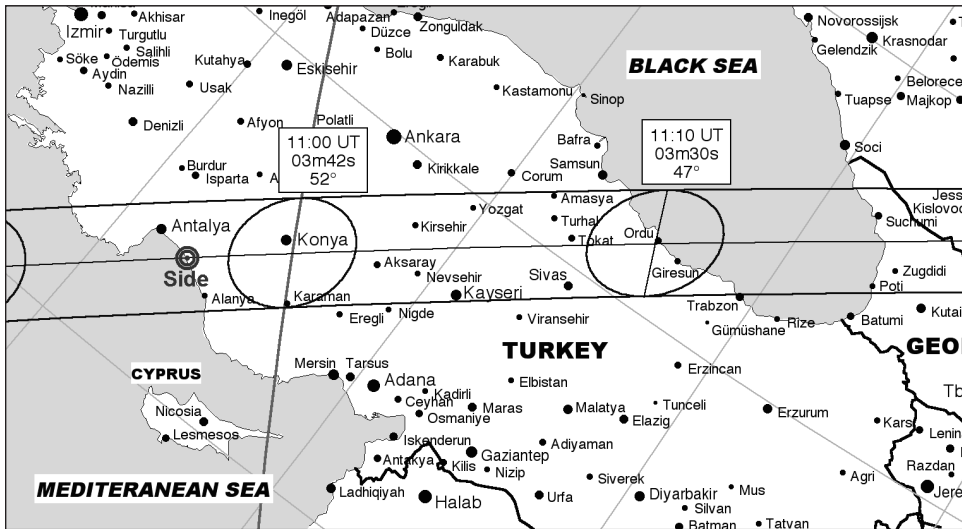
NASA 2006 Eclipse Bulletin (F. Espenak & J. Anderson)

Rys. 8. Przebieg całkowitego zaćmienia Słońca 29 III 2006 r.

Źródło: <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/>

Fig. 8. The path of total solar eclipse of 29th March 2006

Source: <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/>



Rys. 9. Przebieg zaćmienia 29 III 2006 r. w Turcji. Położenie stanowiska obserwacyjnego zaznaczono małym okręgiem (Side)

Źródło: <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/>

Fig. 9. The path of eclipse of 29th March 2006 in Turkey. The location of observing site is marked by a small circle (Side)

Source: <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/>

wybrana jako miejsce obserwacji, a jej usytuowanie przedstawia rys. 9. Maksimum zaćmienia miało tu nastąpić na wysokości ok. 54° nad horyzontem, w czasie od ok. 10:55:45 do 10:58:30 czasu uniwersalnego. Miało zatem trwać 3 minuty i 45 sekund.

Dokładne położenie stanowiska wyznaczone zostało za pomocą odbiornika GPS i określone jako $36^\circ 47' 11,0''$ N i $31^\circ 22' 45,4''$ E, o wysokości bezwzględnej ok. 27 m n.p.m. Obserwacje prowadzone były w dniach 28 i 29 III 2006 r., w godzinach od ok. 7:20 do ok. 14:00 UT (10:20–17:00 czasu lokalnego).

Celem pomiarów było zbadanie wpływu zaćmienia Słońca na wartości wybranych elementów meteorologicznych. Zmierzonymi parametrami były temperatura i wilgotność powietrza na wysokości 150 cm oraz promieniowanie całkowite, subiektywnie obserwowano na-

tomiał zachmurzenie oraz siłę wiatru. Nadejście nad dany obszar półcienia Księżycy oznaczało ograniczenie dopływu promieniowania słonecznego, natomiast nadejście cienia – całkowite jego odcięcie. W konsekwencji spodziewane było zanotowanie nieokreślonego spadku temperatury powietrza i promieniowania całkowitego, a także wzrostu wilgotności względnej powietrza (GONZALEZ 1997; VERMA i in. 1980). Zachowanie wiatru oraz chmur było trudne do przewidzenia.

Temperatura mierzona była tradycyjnym termometrem stacyjnym, natomiast wilgotność termohigrometrem elektronicznym. Dokonywano trzech niezależnych pomiarów, których uśrednienie dawało wypadkową wartość aktualną wilgotności względnej powietrza. Promieniowanie całkowite rejestrowane było za pomocą pyranometru sprzężonego z galwanometrem. Przyrząd został przed wy-

jazdem dokładnie skalibrowany w Zakładzie Klimatologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza. Pyranometr usytuowany został w taki sposób, iż nie obejmował ok. 30% powierzchni nieba, jednak odcięty został od wpływów zewnętrznych mogących negatywnie wpłynąć na odczyty, przez co zapewnione zostały stałe, niezmiennie warunki pomiarów. Siła wiatru oceniana była subiektywnie w skali Beauforta na podstawie oznak na lądzie i morzu. Zachmurzenie natomiast oceniano w ósmych częściach nieba.

OBSERWACJE TEMPERATURY POWIETRZA

Pierwszych pomiarów w dniu wystąpienia zaćmienia dokonano o godz. 7:24 UT, gdy Słońce było już 43° nad horyzontem (wschód Słońca nastąpił o 3:46 UT). Odczytano wówczas temperaturę $20,3^\circ\text{C}$. Pogoda była bezchmurna i bezwietrzna. Najwyższą temperaturę powietrza przed początkiem zaćmienia częściowego ($T_{\max 1}$) zmierzono o godzinie 9:20 UT. Wynosiła ona $22,1^\circ\text{C}$, a wysokość Słońca 57° nad horyzontem. Pierwszy kontakt nastąpił ok. godz. 9:39 UT. Po chwili temperatura zaczęła konsekwentnie spadać i osiągała pełne wartości w następujących momentach czasu uniwersalnego (tab. 1):

Tabela 1. Momenty osiągnięcia pełnych wartości temperatury przed fazą maksymalną całkowitego zaćmienia Słońca 29 III 2006 r. w Side
Table 1. Moments of reaching full values of temperature before the maximum phase of eclipse of 29th March 2006 in Side, Turkey

Temperatura [°C]	Moment UT
22,0	9:30
21,0	10:15
20,0	10:25
19,0	10:41
18,0	10:57 (maksimum)

Podczas fazy maksymalnej zanotowano temperaturę $18,0^\circ\text{C}$. Po jej zakończeniu i ponownym wyłonieniu się tarczy Słońca zza Księżyca o 10:58 UT temperatura nieznacznie, ale wciąż spadała, osiągając minimum dopiero 12 minut później, wynoszące $T_{\min}=17,8^\circ\text{C}$. Następnie zaczęła stopniowo rosnąć, aby o 12:22 UT osiągnąć dobowe maksimum ($T_{\max 2} = 22,3^\circ\text{C}$). Pełne wartości temperatury osiągała w następujących momentach czasu uniwersalnego (tab. 2):

Tabela 2. Momenty osiągnięcia pełnych wartości temperatury po fazie maksymalnej całkowitego zaćmienia Słońca 29 III 2006 r.

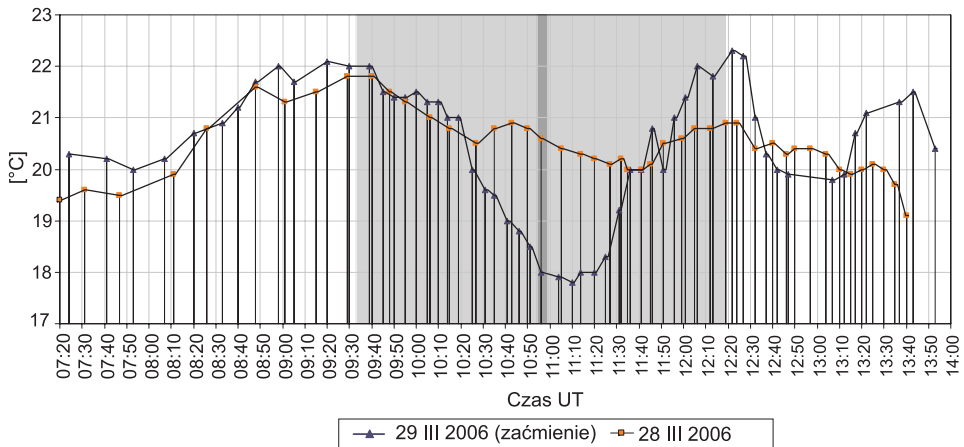
Table 2. Moments of reaching full values of temperature after the maximum phase of eclipse of 29th March 2006 in Side, Turkey

Temperatura [°C]	Moment (UT)
18,0	11:14
19,0	11:30
20,0	11:37
21,0	11:56
22,0	12:07

Spadek temperatury powietrza spowodowany zaćmieniem wyniósł $T_{\max 1} - T_{\min} = 4,3^\circ\text{C}$, a jej skok po zaćmieniu $T_{\max 2} - T_{\min} = 4,5^\circ\text{C}$. Minimum przypadło z dwunastominutowym opóźnieniem. Przebieg temperatury w dniach 29 i 28 marca 2006 r. przedstawia rys. 10.

OBSERWACJE PROMIENIOWANIA CAŁKOWITEGO

Na początku pomiarów, o godzinie 7:24 UT, promieniowanie całkowite wynosiło 750 W/m^2 i rosło jednostajnie w miarę zwiększania się wysokości Słońca nad horyzontem. Maksimum przypadło na ostatni pomiar przed początkiem częściowej fazy zaćmienia, czyli o godzinie 9:30 UT (997 W/m^2). Pierwszy kontakt, będący początkiem stopniowego ogra-



Rys. 10. Wykres przebiegu temperatury w dniach 29 i 28 marca 2006 r. w Side w Turcji. Jasnoszare pole oznacza zaćmienie częściowe, ciemnoszary pionowy pas – całkowite

Fig. 10. Diagram showing progress of temperature on 29th and 28th March 2006 in Side, Turkey. Light-gray area indicates partial eclipse, dark-gray strip – moment of total eclipse

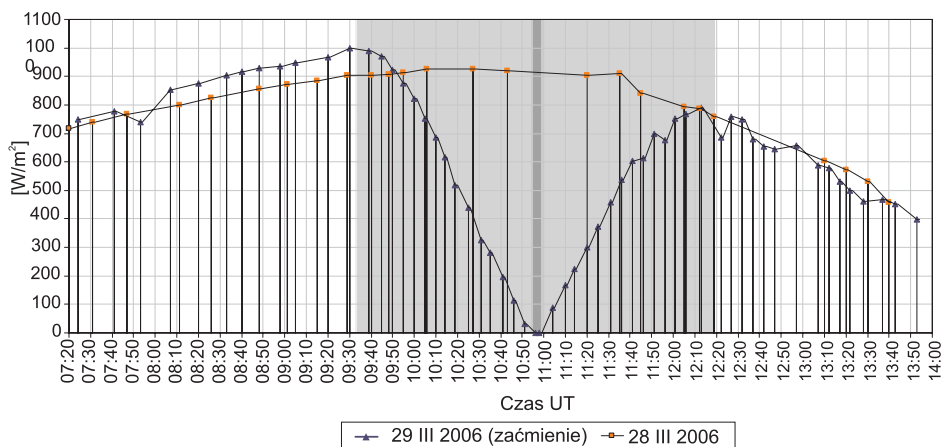
niczania dopływu promieniowania do powierzchni, nastąpił ok. 9:39 UT. Pomiar wówczas dokonany pokazał, że promieniowanie dochodzące z minimalnie tylko zasłoniętej tarczy Słońca jest niższe od poprzedniego odczytu o 7 W/m^2 i wynosi 990 W/m^2 . W czasie trwania fazy częściowej zaćmienia promieniowanie jednostajnie spadało. Od momentu, gdy faza zaćmienia częściowego wynosiła ok. 90%, jasność nieba gwałtownie malała, a światło słoneczne wydawało się bardzo blade. Słońce jako źródło światła było jedynie wąskim łukiem, dlatego obserwować można było ciekawe zjawiska optyczne i wyostrenie cieni rzucanych przez przedmioty. W momencie nastania maksimum zapadł zmrok, a pyranometr pokazał wartość 0. Wyraźnie widoczna była planeta Wenus. Po fazie całkowitej promieniowanie zaczęło jednostajnie rosnać w miarę odsłaniania coraz większej części tarczy Słońca. Malejąca już wysokość Słońca nad horyzontem oraz sporadycznie przesłaniające słoneczną tarczę wysokie chmury

sprawiły, że maksimum promieniowania całkowitego po fazie maksymalnej zjawiska wyniosło jedynie 790 W/m^2 o godzinie 12:13 UT. Następnie znów jednostajnie spadało, by w momencie zakończenia pomiarów, o 13:53 UT, wynieść 397 W/m^2 .

Reasumując, całkowite zaćmienie Słońca spowodowało w Side spadek promieniowania całkowitego o niemal 1000 W/m^2 w ciągu zaledwie godziny i 17 minut (średni spadek ok. $13 \text{ W/m}^2/\text{min}$). W czasie maksimum zjawiska promieniowanie utrzymywało się na poziomie 0 W/m^2 , po czym odnotowano wzrost wartości promieniowania o blisko 800 W/m^2 w ciągu godziny i 14 minut. Przebieg promieniowania przedstawia rys. 11.

OBSERWACJE WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ POWIETRZA

Względna wilgotność powietrza aż do pierwszego kontaktu (ok. 9:39 UT) zmieniła się w dość chaotyczny sposób. Mi-



Rys. 11. Wykres przebiegu promieniowania całkowitego w dniach 29 i 28 marca 2006 r. w Side w Turcji. Jasnoszare pole oznacza zaćmienie częściowe, ciemnoszary pionowy pas – całkowite

Fig. 11. Diagram showing progress of global solar radiation on 29th and 28th March 2006 in Side, Turkey. Light-gray area indicates partial eclipse, dark-gray strip – moment of total eclipse

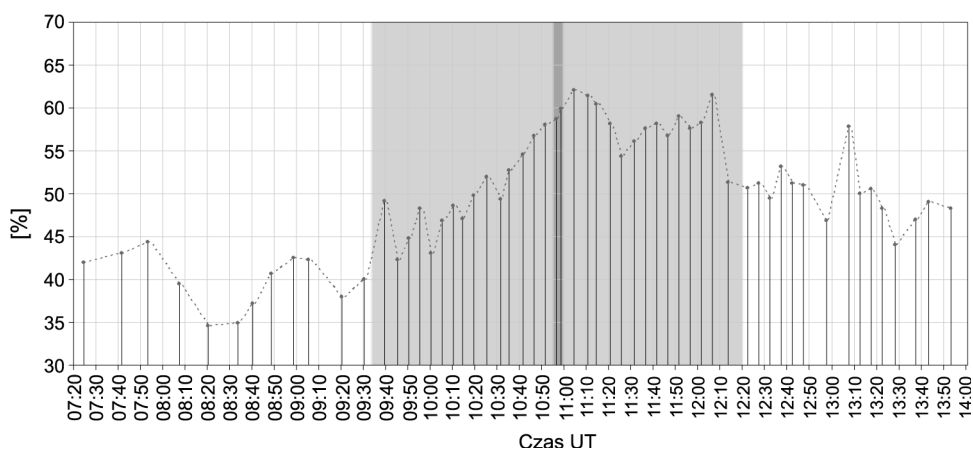
nimum wypadło o 8:20 UT i wyniosło 34,6%. Temperatura powietrza na tej samej wysokości (150 cm) wynosiła wówczas 20,7°C. W czasie zaćmienia częściowego i przy spadającej temperaturze wilgotność zaczęła rosnać. W trakcie trwania fazy całkowitej wynosiła 59,9% przy temperaturze 18,0°C. Dwie najwyższe wartości wilgotności pokryły się w czasie z dwiema najniższymi wartościami temperatury powietrza: o godzinie 11:04 (62,1% i 17,9°C) oraz 11:11 UT (61,5% i 17,8°C). Następnie wilgotność zaczęła generalnie spadać, choć z pewnymi wahaniami zarówno w stronę wyższych, jak i niższych wartości. Amplituda wilgotności względnej powietrza w dniu zaćmienia wyniosła 27,5%. Przebieg wilgotności ilustruje rys. 12.

OBSERWACJE WIATRU I ZACHMURZENIA

Zachowanie wiatru oraz chmur w trakcie zaćmienia było największą niewiadomą. Wcześniejsze tego typu badania

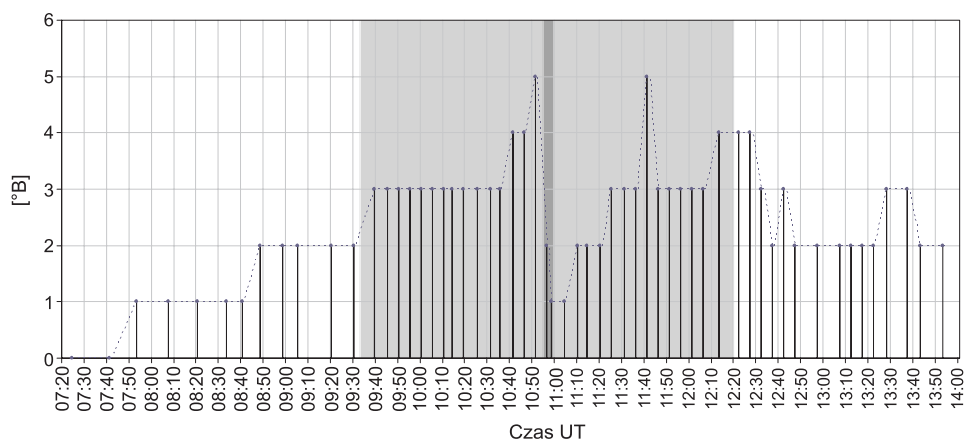
wskazywały na możliwość całkowitego ustania wiatru w momencie kulminacji zaćmienia Słońca i nastania mroku. Nie jest to regułą, ale faktem dosyć często wspomnianym przez obserwatorów zaćmień. Dzień, w którym miało wystąpić zjawisko, od samego początku był bezchmurny i bezwietrzny (0° w skali Beauforta). Lekkie powiewy wiatru dało się odczuć ok. pół godziny po rozpoczęciu pomiarów. Z czasem jednak wiatr nabierał prędkości. W momencie rozpoczęcia fazy częściowej osiągnął 3°B, natomiast tuż przed maksimum dochodził w porывach nawet do 5°B. Gdy nastął zmrok, wiatr ucichł: najpierw do 2°B, a później do 1°B. Po fazie maksymalnej jeszcze przez ok. 10 minut utrzymywał się na tym niskim poziomie, by następnie stopniowo znów przybierać na sile. Generalnie po fazie maksymalnej wiatr utrzymywał się na poziomie 2-3°B, a w porывach dochodził do 4 i 5°B. Wahania siły wiatru w czasie zaćmienia przedstawia rys. 13.

Zauważono też zmianę kierunku ruchu powietrza. Do godziny ok. 11:30 UT wiatr wiał znad morza, tj. z południo-



Rys. 12. Wykres przebiegu wilgotności względnej powietrza podczas całkowitego zaćmienia Słońca w Side w Turcji. Jasnoszare pole oznacza zaćmienie częściowe, ciemnoszary pionowy pas – całkowite

Fig. 12. Diagram showing progress of relative humidity on 29th March 2006 in Side in Turkey. Light-gray area indicates partial eclipse, dark-gray strip – moment of total eclipse



Rys. 13. Wykres przebiegu prędkości wiatru podczas całkowitego zaćmienia Słońca w Side w Turcji. Jasnoszare pole oznacza zaćmienie częściowe, ciemnoszary pionowy pas – całkowite

Fig. 13. Diagram showing progress of wind speed on 29th March 2006 in Side in Turkey. Light-gray area indicates partial eclipse, dark-gray strip – moment of total eclipse

wego zachodu. Później jednak zmienił kierunek i wiał z południowego wschodu, równoległe do linii brzegowej. Nie musiało to być jednak związane z bezpośrednim oddziaływaniem cienia Księżyca, lecz równie dobrze z cyrkulacją bryzową. Inną ciekawą obserwacją był

rozwój chmur piętra wysokiego w trakcie zaćmienia. Wysokie zachmurzenie zaczęło rosnać ok. godziny 10:00 UT, aby ok. 12:00 UT ustabilizować się na poziomie 3/8.

Podsumowując: po bezwietrznym początku dnia wiatr systematycznie zwiąk-

szał prędkość, osiągając w porywach 5°B tuż przed maksimum zaćmienia, by w jego trakcie osłabnąć do 1°B , natomiast po jego zakończeniu ponownie wzrosnąć, osiągając momentami $4\text{--}5^{\circ}\text{B}$. Zachmurzenie wzrosło od zera do $3/8$ w godzinach od 10:00 (nieдолго po początku pierwszej fazy częściowej) do 12:00 UT (nieдолго przed końcem drugiej fazy częściowej).

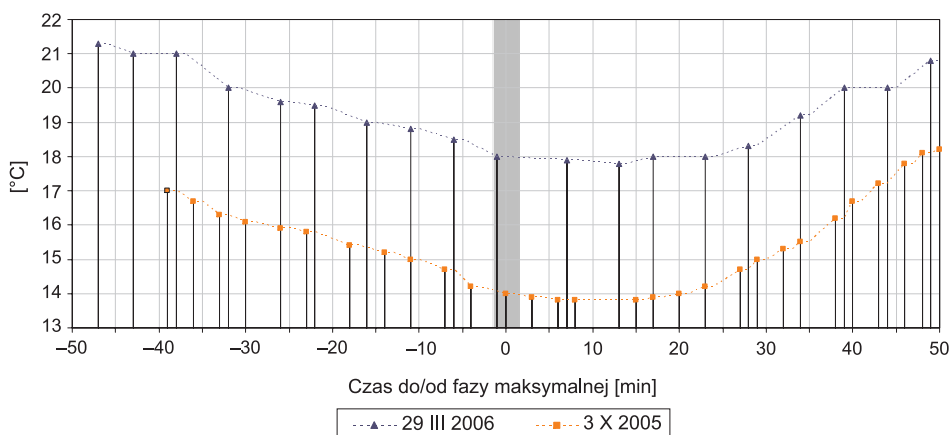
PORÓWNANIE ZAĆMIEN Z 29 III 2006 I 3 X 2005

3 października 2005 r. zaistniała możliwość obserwacji obrączkowego zaćmienia Słońca w Toledo w Hiszpanii, mieście położonym ok. 100 km na południowy zachód od Madrytu. Przy bezchmurnej pogodzie dokonano tam pomiarów temperatury i promieniowania całkowitego. Rys. 14 i 15 stanowią porównanie wyników obserwacji zaćmień z Hiszpanii i Turcji.

Na rys. 14 wyraźnie widać, iż moment minimum temperatury w przypadku obu zaćmień przesunięty jest

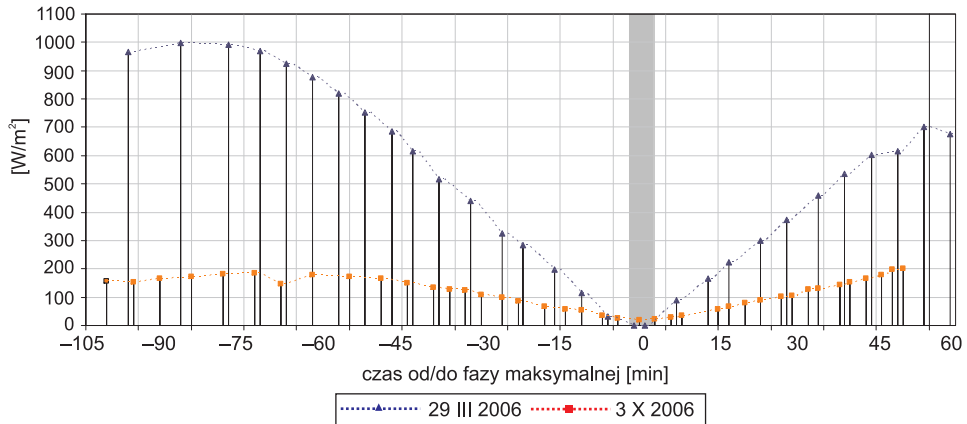
w stosunku do maksimum zjawiska o kilkanaście minut. Pomimo że zaćmienie z 3 X 2005 r. było obrączkowym (fotografia na rys. 3) i nie cała tarcza słoneczna została zakryta, spadek temperatury był podobny do zaćmienia całkowitego w Turcji i wyniósł ok. $4,5^{\circ}\text{C}$. Subiektywne wrażenie chłodu było jednak spotęgowane co najmniej dwukrotnie, niezbędne było ubranie dodatkowej odzieży w trakcie maksimum zjawiska. Warto też zauważyć zaskakująco równoległy przebieg krzywych temperatur dla obu zaćmień.

Rys. 15 przedstawia natomiast porównanie przebiegu promieniowania całkowitego. Niższe wartości promieniowania podczas zaćmienia z 2005 r. spowodowane są faktem, iż zaćmienie częściowe rozpoczęło się rankiem (7:41 UT, wysokość Słońca 16°), a maksimum zjawiska wystąpiło przed południem, ok. godziny 8:58 UT (10:58 czasu lokalnego), na wysokości zaledwie 29° nad horyzontem (rys. 16). Maksymalna wartość promieniowania przed zaćmieniem nie była zbyt wysoka i wyniosła



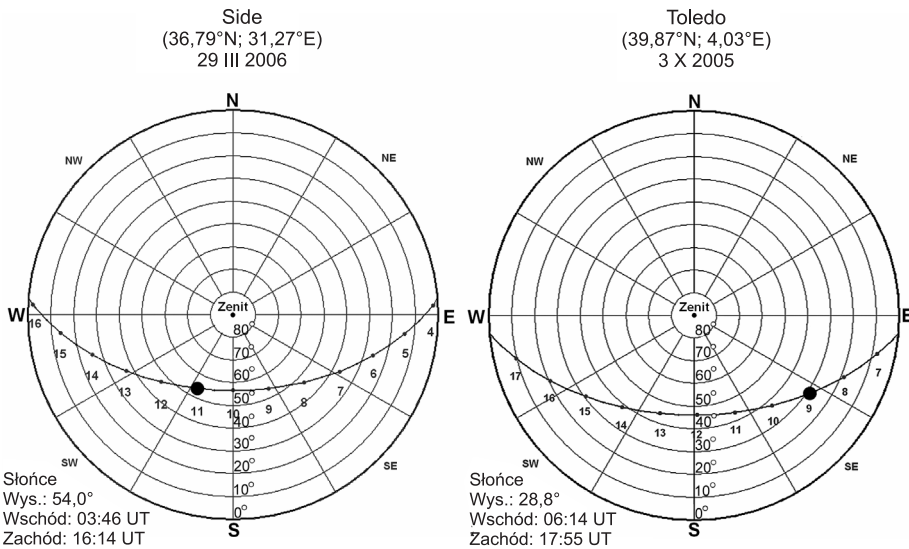
Rys. 14. Wykres przebiegu temperatury powietrza w czasie zaćmień 29 III 2006 r. (Side) i 3 X 2005 r. (Toledo)

Fig. 14. Diagram showing progress of temperature during eclipses of 29th March 2006 (Side) and 3th October 2005 (Toledo)



Rys. 15. Wykres przebiegu promieniowania całkowitego w czasie zaćmień 29 III 2006 r. (Side) i 3 X 2005 r. (Toledo)

Fig. 15. Diagram showing progress of global solar radiation during eclipses of 29th March 2006 (Side) and 3th October 2005 (Toledo)



Rys. 16. Dzienny ruch Słońca na sferze niebieskiej w dniach 29 III 2006 r. w Side i 3 X 2005 r. w Toledo. Czarne kółka oznaczają maksimum zaćmień. Momenty podane w czasie UT)

Fig. 16. Daily motion of the Sun on 29th March 2006 (Side) and 3th October 2005 (Toledo). Black circles indicate moments of maximum phase of eclipses. Moments given in UT

186 W/m^2 . Minimalna natomiast zmierzona została w czasie maksymalnego zaćmienia i wyniosła 20 W/m^2 (kilka procent fotosfery Słońca pozostało wi-

docznej). W odróżnieniu od całkowitego zaćmienia Słońca w czasie maksimum nie zapadł zmrok, obserwować można było jednak silne pociemnienie nieba.

PODSUMOWANIE

Zaćmienie Słońca 29 marca 2006 r. było ostatnim w ciągu dwóch najbliższych dekad zaćmieniem całkowitym wygodnym do obserwowania przez Europejczyków. Pas zaćmienia przechodził m.in. przez Turcję, gdzie dokonano pomiarów głównych elementów meteorologicznych. Były to temperatura i wilgotność powietrza na wysokości 150 cm oraz promieniowanie całkowite. Przeprowadzono też obserwacje zachmurzenia oraz prędkości wiatru. Pogoda w dniu zaćmienia była bardzo dobra.

Zaćmienie Słońca spowodowało w miejscu obserwacji (Side) dramatyczną zmianę oświetlenia oraz ilości docierającego promieniowania, które w ciągu 77 minut zmalało z ok. 1000 W/m^2 do 0. Na skutek tego temperatura powietrza spadła o $4,3^\circ\text{C}$ ($T_{\text{max}1} = 22,1^\circ\text{C}$; $T_{\text{min}} = 17,8^\circ\text{C}$), by po zaćmieniu wzrosnąć o $4,5^\circ\text{C}$ ($T_{\text{max}2} = 22,3^\circ\text{C}$). Minimum temperatury przypadło z dwunastominutowym opóźnieniem w stosunku do końca fazy całkowitej zjawiska. Podobne przesunięcie momentu minimum temperatury zanotowano 3 października 2005 r. podczas zaćmienia obrączkowego w Hiszpanii. Zmiana ilości docierającego promieniowania pociągnęła za sobą również zmianę wilgotności względnej powietrza, która wyraźnie rosła w miarę zbliżania się do maksymalnej fazy zaćmienia Słońca i osiągnęła maksimum w czasie minimum temperatury, wynoszące 62,1% przy amplitudzie 27,5%. Lokalne zmiany ciśnienia mogły być przyczyną stopniowego wzrostu prędkości wiatru, a także jej spadku w czasie całkowitości (z 5°B do 1°B) oraz ponownego wzrostu po maksimum zaćmienia. Zmiana kierunku wiatru może

być tłumaczona zarówno jako skutek oddziaływania cienia Księżycy, jak i normalną cyrkulacją bryzową. Zachmurzenie zaczęło rosnąć krótko po początku zaćmienia częściowego. Niedługo przed końcem schodzenia tarczy Księżycy z tarczy Słońca ustabilizowało się na poziomie 3/8. Dominowały chmury piętra wysokiego.

Mimo że na każde zaćmienie całkowite wyrusza wiele ekspedycji naukowych, zachodzi potrzeba monitorowania jego przebiegu w różnych punktach rozsianych w pasie całkowitości. W każdym bowiem miejscu wpływ cienia Księżycy na lokalne warunki atmosferyczne jest inny. Aby dobrze poznać zależności między zatrzymaniem dopływu promieniowania do pewnej części powierzchni Ziemi a efektami, jakie ono niesie, warto rozpatrzyć możliwość zbadania tego problemu przy kolejnych nadarżających się okazjach.

LITERATURA

- ESPENAK F., ANDERSON J., 2004: Total Solar Eclipse of 2006 March 29. NASA eclipse bulletin, Greenbelt, Maryland.
- GONZALEZ G., 1997: Ground-Level Humidity, Pressure and Temperature Measurements during the October 24, 1995 Total Solar Eclipse. Indian Institute of Astrophysics, KOB Series, 13, 151–154. <http://prints.iiap.res.in/bitstream/2248/254/1/GONZALEZ.pdf>
- HARRINGTON P.S., 1999: Zaćmienie! Poradnik obserwatora. Prószyński i S-ka, Warszawa.
- RYBKA E., 1970: *Astronomia ogólna*. PWN, Warszawa.
- VERMA V.P., CHANDRASEKHARAN C.K., CHATTERJEE K., KULSHRESHTHA S.M., DAS S.K., 1980: Meteorological Experiments During the Total Solar Eclipse of February 16, 1980. *Astronomical Society of India, BASI*, 8, 4, 153–158. <http://prints.iiap.res.in/bitstream/2248/302/1/VERMA.pdf>

THE IMPACT OF A TOTAL SOLAR ECLIPSE ON THE CHOSEN METEOROLOGICAL ELEMENTS IN SIDE, TURKEY, ON 29TH MARCH 2006

Summary

The eclipse of 29th March 2006 was the last total eclipse in two nearest decades which was easy to be observed by europeans. The path of totality crossed Turkey, where main meteorological elements were measured. Those were: air temperature at 150 cm, relative humidity at 150 cm and global solar radiation. Also observations of cloudiness and wind speed were made. The weather conditions during the eclipse were very good.

The solar eclipse caused in the observing site (Side) a dramatic change in illumination and amount of reaching radiation. In period of 77 minutes global solar radiation dropped from nearly 1000 W/m^2 to 0. As a result of it temperature drop was 4.3°C ($T_{\text{max}1} = 22.1^\circ\text{C}$; $T_{\text{min}} = 17.8^\circ\text{C}$). After the maximum phase the temperature rised at 4.5°C ($T_{\text{max}2} = 22.3^\circ\text{C}$). The mini-

mum of air temperature occurred with a dozen minutes delay, a similar shift was observed on 3rd October 2005 during annular solar eclipse in Spain. A radiation drop also caused a change in relative humidity, which reached maximum (62.1%) when temperature touched the lowest measured value. Daily amplitude of relative humidity was 27.5%. Local variations of air pressure could be a cause of gradual rise of wind speed and also its drop during a total phase of eclipse. Change of wind direction may be explained by influence of Moon's shadow but also as an effect of regular breeze circulation. Cloudiness begun to increase just after the beginning of the first partial phase and soon before the end of the second partial phase it became stable at level of 3/8. High level clouds dominated.