

Władysław Góral\*

ASPEKTY GEOINFORMATYCZNE I ASTRONOMICZNE  
PREHISTORYCZNYCH KOPCÓW KRAKOWSKICH  
I KOPCA KRAKA W KRAKUSZOWICACH\*\*

---

## 1. Wprowadzenie

Położenie dwu prehistorycznych kopców krakowskich: kopca Krakusa (KR) i kopca Wandy (KW) wraz z kopcem Kraka (KK) w Krakuszowicach (rys. 1) wyznacza – interesujące z punktu widzenia astronomicznego – trzy kierunki. Zagadnienie staje się jeszcze bardziej interesujące, jeżeli do ww. kopców dołączymy punkt znajdujący się w pobliżu centrum Wzgórza Wawelskiego, reprezentowanego w naszych rozważaniach przez współrzędne wieży Zygmuntowskiej (WZ) (tab. 1) oraz punkt położony na Wzgórzu św. Bronisławy w pobliżu kopca Kościuszki (KO). Zarówno Wzgórze Wawelskie jak i miejsca, na których zbudowano kopce, były dogodnie zarówno do celów obserwacyjno-sygnalizacyjnych, jak i do obserwacji nieba, w szczególności obserwacji wschodów i zachodów Słońca oraz Księżycy. Boki trójkąta wyznaczone przez te kopce – według podań związanych z legendarnym założycielem Krakowa – są zorientowane zgodnie z dwoma szczególnymi liniami wschodu Słońca i jedną linią wschodu Księżycy.

Kierunek zgodny z orientacją kopca Wandy względem kopca Krakusa w rzeczywistości wyznacza dla Krakowa dwie daty wschodów Słońca, zaś kierunek odwrotny (kopiec Wandy – kopiec Krakusa) – dwie daty jego zachodów. Daty te dzielą w przybliżeniu rok na cztery równe części i można je skojarzyć z datami najważniejszych świąt celtyckich. Ponadto daty te wypadają w połowie czterech pór roku o początku określonym przez: wiosenne

---

\* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Zakład Geodezji i Kartografii

\*\* Praca zrealizowana w ramach badań statutowych nr 11.11.150.478 prowadzonych w Zakładzie Geodezji i Kartografii na Wydziale GGiIŚ AGH

zrównanie dnia z nocą (ok. 21 III), przesilenie letnie Słońca (ok. 22 VI), jesienne zrównanie dnia z nocą (ok. 23 IX) i przesilenie zimowe (ok. 22 XII). Tak wyznaczone daty dzielą rok na osiem w przybliżeniu równych części.



Rys. 1. Kopiec Kraka w Krakuszowicach, widok od strony północnej  
(fot. W. Góral)

Tabela 1. Współrzędne geodezyjne wybranych punktów

| Oznac.<br>punktu | $\varphi$<br>[°'"] | $\lambda$<br>[°'"] | $h$ (H)<br>[m] | Nazwa punktu                          |
|------------------|--------------------|--------------------|----------------|---------------------------------------|
| KKRA(KR)         | 50 02 17           | 19 57 30           | 309,2 (269,4)  | Kopiec Krakusa                        |
| KKOS(KO)         | 50 03 18           | 19 53 36           | 366,3 (326,3)  | Kopiec Kościuszki                     |
| KPIL(PI)         | 50 03 36           | 19 50 50           | 423,1 (383,0)  | Kopiec Piłsudskiego                   |
| KWAN(KW)         | 50 04 13           | 20 04 05           | 277,9 (238,5)  | Kopiec Wandy                          |
| WZYG(ZY)         | 50 03 17           | 19 56 06           | 332,6 (292,8)  | Wieża Zygmuntońska na Wawelu          |
| KKWK(KK)         | 49 57 01           | 20 14 39           | –              | Kopiec Kraka w Krakuszowicach         |
| W297             | 49 58 31           | 20 09 26           | 336,1 (297,0)  | Punkt triangulacyjny SZCZ             |
| KGRU             | 50 01 25           | 20 12 03           | –              | Kopiec Grunwaldzki<br>w Niepołomicach |

Na orientację astronomiczną kierunku KR–KW oraz Wzgórze Wawelskie – kopiec Kościuszki zwrócił uwagę prof. Janusz Kotlarczyk z AGH. Ponadto Profesor zauważył, że para kopców znajdujących się w Sólcy i Komarowicach na południe od Przemyśla wyznacza kierunek wschodu Słońca ok. 1 listopada. Data ta jest skojarzona z początkiem nowego roku celtyckiego (świętem Samhain) [1, 2]. W opinii Profesora orientacja kopców: Krakusa i Wandy oraz w Sólcy i Komarowicach, jest ściśle związana z kalendarzem celtyckim. Wschód Słońca widziany z kopca Krakusa nad kopcem Wandy (ok. 1 maja) przypada w czasie święta celtyckiego Beltane.

## 2. Położenie kopców krakowskich oraz wybranych punktów odniesienia

Z inicjatywy i pod kierownictwem autora zostały wykonane w latach 1991–1995 na punktach geodezyjnych znajdujących się na wszystkich kopcach krakowskich precyzyjne pomiary za pomocą GPS. Na podstawie tych pomiarów wyznaczono współrzędne geodezyjne kopców. Ponadto w związku z pracą dyplomową wykonaną w Zakładzie Geodezji Kartografii wyznaczono współrzędne kilku wież kościołów krakowskich [3]. Dane te umożliwiły obliczenie odległości oraz azymutów geodezyjnych między wybranymi parami punktów. Wyznaczone współrzędne geodezyjne trzech kopców mają obecnie wartość historyczną. Jeszcze w latach 90. XX w. na wszystkich czterech kopcach krakowskich znajdowały się znaki geodezyjne wchodzące w skład państwowej sieci triangulacyjnej. W wyniku katastrofalnych opadów deszczy w latach 1996–97 kopce Kościuszki i Piłsudskiego uległy poważnemu zniszczeniu. W trakcie ich odbudowy z kolei uległy zniszczeniu znaki geodezyjne. Również znak geodezyjny na kopcu Wandy został zniszczony. Szczególnie ważne miejsce w geodezji krakowskiej zajmuje punkt triangulacyjny znajdujący się na kopcu Krakusa. Za pomocą niego zdefiniowano lokalny krakowski układ geodezyjny. W tabeli 1 podano współrzędne geodezyjne (geograficzne) czterech kopców krakowskich oraz wybranych punktów odniesienia w układzie EUREF89 na elipsoidzie WGS84. Do opracowania włączono również kopiec Kraka w Krakuszowicach oraz kopiec Grunwaldzki w Niepołomicach. W tabeli 1 przez  $h$  oznaczono wysokość elipsoidalną, zaś przez  $H$  wysokość danego punktu nad geoidą (poziomem morza). Odstęp geoidy (undulacja geoidy) nad elipsoidą odniesienia wynosi na obszarze Krakowa ok. 40 m. Obliczenia wykonano na elipsoidzie GRS80 (WGS84). Na podstawie współrzędnych geodezyjnych punktów podanych w tabeli 1, w wyniku rozwiązania tzw. odwrotnego zadania geodezyjnego, obliczono odległości między wybranymi punktami  $s$  oraz ich azymuty: tam ( $A_{Z_{1-2}}$ ) i z powrotem ( $A_{Z_{2-1}}$ ). Ponieważ są to azymuty linii geodezyjnej na elipsoidzie, więc ich różnica odbiega nieco od wartości  $180^\circ$ . Wyniki obliczeń podano w tabeli 2. Współrzędne geodezyjne: szerokość geodezyjną  $\varphi$  i długość geodezyjną  $\lambda$ , zaokrąglono do sekund kątowych. Poszerzona lista współrzędnych oraz azymutów kierunków z nimi związanych znajduje się w opracowaniu [6].

**Tabela 2.** Dаты oraz wartości azymutów wschodów i zachodów Słońca dla wybranych kierunków na obszarze Krakowa

| Lp. | Kierunek  | Dług.  | $A_{Z_{1-2}}$ | $A_{Z_{2-1}}$ | $\delta$ | Daty wschodu Słońca |         | Daty zachodu Słońca |         |
|-----|-----------|--------|---------------|---------------|----------|---------------------|---------|---------------------|---------|
|     |           | s [m]  | [° ' '']      | [° ' '']      | [° ' ''] |                     |         |                     |         |
| 1   | KKRA-KKOS | 5015   | 291 57 56     | 111 54 57     | -13 53   | 11 II               | 30 X    | 27 IV               | 15 VIII |
| 2   | KKRA-KPIL | 8335   | 287 05 31     | 107 0 24      | -10 50   | 20 II               | 21 X    | 18 IV               | 24 VIII |
| 3   | KKRA-KWAN | 8629   | 65 29 38      | 245 34 41     | 15 28    | 2 V                 | 10 VIII | 6 II                | 4 XI    |
| 4   | KKRA-WZYG | 2492   | 317 57 27     | 137 56 23     | 28 31    | -                   | -       | -                   | -       |
| 5   | KKRA-KKWK | 22703  | 115 21 00     | 295 34 08     | -16 01   | 4 II                | 6 XI    | 5 V                 | 9 VIII  |
| 6   | KKRA-SZCZ | 15 881 | 116 06 30     | -             | -        | -                   | -       | -                   | -       |
| 7   | KKRA-KGRU | 17440  | 95 14 36      | 275 25 45     | -3 22    | 12 III              | 1 X     | 29 III              | 14 IX   |
| 8   | KKOS-KWAN | 12618  | 82 11 31      | 262 19 33     | 5 01     | 2 IV                | 9 IX    | 7 III               | 5 X     |
| 9   | KKOS-WZYG | 2981   | 90 25 24      | 270 27 19     | -0 01    | 20 III              | 22 IX   | 20 III              | 22 IX   |
| 10  | KPIL-KWAN | 15860  | 85 49 51      | 266 00 01     | 2 41     | 27 III              | 15 IX   | 13 III              | 29 IX   |
| 11  | KWAN-KKWK | 18366  | 136 29 00     | 316 37 06     | -27 47   | -                   | -       | -                   | -       |
| 12  | KWAN-KGRU | 10830  | 118 36 58     | 298 43 04     | -17 56   | 29 I                | 13 XI   | 11 V                | 1 VIII  |

### 3. Wschody (zachody) Słońca i Księżycy na kierunkach związanych z kopcem Krakusa

Interwał czasu między dwoma kolejnymi przejściami Słońca przez punkt równonocy wiosennej definiuje długość roku zwrotnikowego. Obserwowany roczny ruch Słońca na sferze niebieskiej w płaszczyźnie ekliptyki jest ruchem pozornym, jest on odzwierciedleniem ruchu postępowego Ziemi wokół Słońca. Dla obserwatora znajdującego się na powierzchni Ziemi – z wyjątkiem obszarów polarnych – roczny ruch Słońca manifestuje się zmianami azymutu jego wschodu i zachodu w sektorze określonym przez szerokość geograficzną (geodezyjną)  $\varphi$  miejsca obserwacji oraz aktualną wartość nachylenia średniego położenia ekliptyki  $\varepsilon$  względem równika niebieskiego. Do kierunków wyróżnionych przez roczny ruch Słońca należy – określony w płaszczyźnie horyzontu – kierunek jego wschodu (E) i zachodu (W) (rys. 3) w pierwszy dzień wiosny (jesieni) astronomicznej. W momencie równonocy Słońce znajduje się w płaszczyźnie równika niebieskiego i jego deklinacja  $\delta = 0^\circ$ .

Przy czym w momencie równonocy wiosennej jego długość ekliptykalna  $\lambda = 0^\circ$ , zaś w pierwszy dzień równonocy jesiennej  $\lambda = 180^\circ$ . Kolejnymi dwoma wyróżnionymi momentami dla obserwatora na powierzchni Ziemi są momenty: przesilenia letniego, gdy  $\delta = \varepsilon$ ,  $\lambda = 90^\circ$  i przesilenia zimowego gdy  $\delta = -\varepsilon$ ,  $\lambda = 270^\circ$ . W momencie przesilenia letniego rozpoczyna się lato na półkuli północnej i moment ten odwzorowuje się w płaszczyźnie hory-

zontu maksymalnym zbliżeniem punktu wschodu i zachodu Słońca do kierunku bieguna północnego (N). Azymut wschodu Słońca – liczony od północy – osiąga wartość minimalną ( $S_L$ , rys. 3), zaś jego zachód ma miejsce w punkcie  $S_L'$  o maksymalnej wartości azymutu. W momencie przesilenia zimowego azymut wschodu Słońca osiąga wartość maksymalną ( $S_Z$ , rys. 3), zaś azymut jego zachodu osiąga wartość minimalną ( $S_Z'$ , rys. 3). Te cztery momenty dzielą rok zwrotnikowy na cztery części i są początkami czterech pór roku. Wyróżnione kierunki wschodu i zachodu Słońca były znane ludziom z epoki neolitu i zostały wyraźnie zakodowane w budowlach megalitycznych.

Również z obserwowanym ruchem Księżyca na sferze niebieskiej daje się wyróżnić w płaszczyźnie horyzontu cztery kierunki. Cykliczność faz Księżyca o okresie ok. 28,5 doby pozwoliła zdefiniować ludom pierwotnym podstawową jednostkę czasu – miesiąc księżycowy, który trwał 28 lub 29 dni. Z kolei średnie nachylenie płaszczyzny orbity Księżyca względem płaszczyzny ekliptyki, wynoszące  $i = 5^\circ 8' 43''$ , oraz ruch precesyjny linii węzłów o okresie 18,61 roku, istotnie komplikują opis obserwowanych kierunków jego wschodu i zachodu. Ponieważ deklinacja Księżyca  $\delta_K$  zmienia się w okresie 18,61 roku w zakresie od  $-(\varepsilon + i)$  do  $\varepsilon + i$  oraz w zakresie: od  $-\varepsilon + i$  do  $\varepsilon - i$ , zatem w okresie tym, dla obserwatora w szerokościach średnich, wschody Księżyca zmieniają się od sektora maksymalnego określonego przez kąt  $KK_1K_2$  (rys. 3) do sektora minimalnego określonego przez kąt  $KK_3K_4$ . Również w budowlach megalitycznych (np. Stonehenge) wyróżnione są kierunki określające maksymalny północny kierunek wschodu Księżyca  $KK_1$  i maksymalny południowy kierunek jego wschodu  $KK_2$  (rys. 3).

Wyznaczone wartości współrzędnych geodezyjnych kopców krakowskich i punktów odniesienia (tab. 1), oraz azymutów kierunków przez nie określonych (tab. 2) umożliwiły obliczenie dat wschodów i zachodów Słońca dla wybranych linii. Wpierw obliczono dla Krakowa zakres, w jakim zmienia się azymut wschodu i zachodu Słońca oraz Księżyca. Azymut wschodu Słońca – odniesiony do środka tarczy słonecznej – obliczamy ze wzoru

$$\cos A = (\sin \delta - \sin \varphi \sin h) / \cos \varphi \quad (1)$$

Powyższy wzór wyprowadza się ze wzoru kosinusowego trygonometrii sferycznej na podstawie zależności w trójkącie paralaktycznym. W szczególnym przypadku, gdy ciało niebieskie znajduje się w płaszczyźnie horyzontu, jego wysokość horyzontalna  $h = 0^\circ$ , wówczas powyższy wzór upraszcza się do postaci

$$\cos A = \sin \delta / \cos \varphi \quad (2)$$

Znając azymut danej linii wyznaczonej przez dwa punkty oraz przyjmując do obliczeń wartość  $\varphi = 50^\circ$ , obliczono zgodnie ze wzorem (2) deklinację  $\delta$ , jaką miałoby Słońce w dniu jego wschodu na danym azymucie. Z kolei znając deklinację Słońca, na kierunku danej linii wyznaczono za pomocą RA [5] obie daty jego wschodu i zachodu w 2005 r. Na rysunku 2 widać zachód Słońca na tle kopca Kościuszki obserwowany w dniu 27 kwietnia 2006 r. – jak wynika z tabeli 2 (poz. 1) – podobne zjawisko wystąpi 15 sierpnia. W tabeli 2 podano wartości deklinacji tylko dla tych kierunków, w których Słońce i Księżyc mogą znajdować

się w płaszczyźnie horyzontu Krakowa. Przy dobrej widoczności z kopca Wandy można zobaczyć za pomocą lornetki kopiec Krakusa. Należy go szukać na horyzoncie w sektorze ograniczonym z lewej strony przez chłodnie kominowe, a z prawej przez kominy EC Łęg. W rzeczywistości kopiec Wandy nie jest widoczny z kopca Krakusa, gdyż jego bryłę przesłaniają drzewa, a jego wierzchołek zlewa się na horyzoncie z drzewami oraz zabudowaniami huty.



Rys. 2. Zachód Słońca na tle kopca Kościuszki widziany z kopca Krakusa w dniu 27 kwietnia 2006 r. (fot. W. Góral)

Deklinację Słońca  $\delta$  możemy również wyznaczyć poprzez jego długość ekliptykalną  $\lambda$ , liczoną w płaszczyźnie ekliptyki, począwszy od punktu równonocy wiosennej, za pomocą wzoru  $\sin \delta = \sin \epsilon \sin \lambda$ . Więc zgodnie z (2) wzór na azymut wschodu Słońca wyraża się w postaci

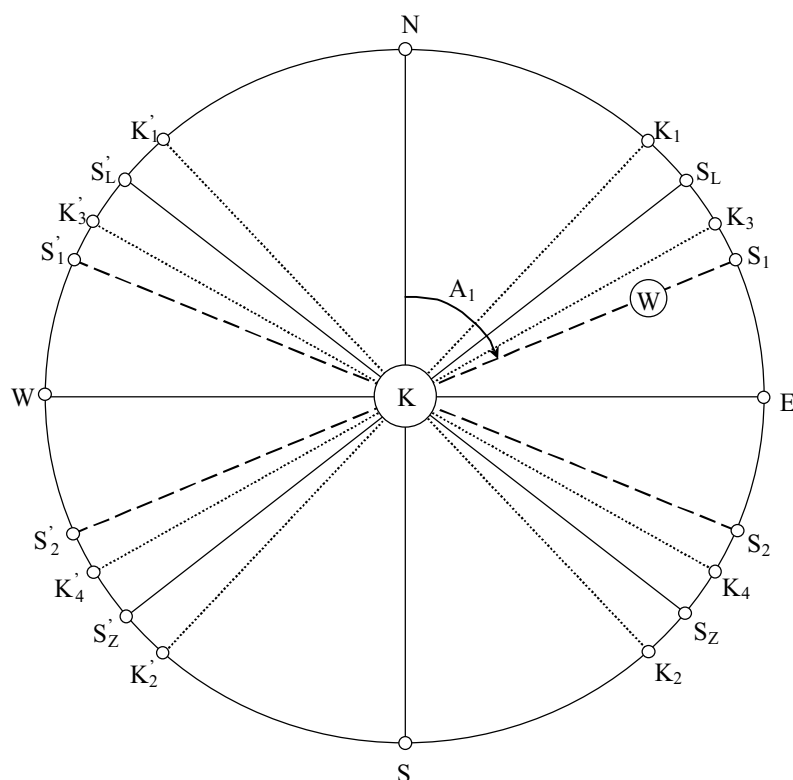
$$\cos A = \sin \epsilon \sin \lambda / \cos \varphi \quad (3)$$

gdzie przez  $\varphi$  oznaczono szerokość geograficzną (geodezyjną) miejsca obserwacji.

Przy przyjęciu tej samej wartości deklinacji dla momentu zachodu co dla momentu wschodu punkt zachodu będzie zwierciadlanym odbiciem punktu wschodu względem osi KN (rys. 3), zatem azymut zachodu Słońca wyrazi się wzorem  $A_Z = 360^\circ - A$ .

Wzór ten jest słuszny przy założeniu, że w momencie wschodu (zachodu) odległość zenitalna Słońca  $z = 90^\circ$ , co odpowiada wysokości horyzontalnej  $0^\circ$ . Jednak na skutek refrakcji atmosferycznej, zgodnie z modelem standardowym, wysokość horyzontalna wschodzącego Słońca (środką tarczy) będzie wynosiła ok.  $35'$ . Jest to wartość nieco większa niż

średnica kątowa tarczy Słońca (Księżyc), której wartość wynosi ok.  $32'$ . W pierwszy dzień wiosny (jesieni) astronomicznej Słońce przechodzi przez równik niebieski i jego deklinacja  $\delta = 0^\circ$ , więc zgodnie ze wzorami (2) oraz (3) azymut geodezyjny wschodu Słońca wynosi  $90^\circ$ , zaś azymut zachodu wynosi  $270^\circ$ . W momencie równonocy wiosennej (jesiennej) wschód Słońca ma miejsce dokładnie na wschodzie w punkcie E, zaś zachód Słońca następuje dokładnie na zachodzie w punkcie W horyzontu (rys. 3).



Rys. 3. Szkic wybranych kierunków wschodu i zachodu Słońca i Księżyc, widzianych na horyzoncie z kopca Krakusa

Z kolei w dniu przesilenia letniego deklinacja Słońca osiąga swoją wartość maksymalną równą wartości nachylenia płaszczyzny ekliptyki do płaszczyzny równika  $\epsilon$  i zgodnie z [5] na epokę 2005.5 wartość ta wynosi  $\epsilon = 23^\circ 26' 19''$ , więc dla  $\delta = \epsilon$  otrzymujemy  $A_L = 51^\circ 46'$ . Ponieważ punkt zachodu jest symetryczny względem południka miejscowego wyznaczonego przez linię NS (rys. 3), więc azymut zachodu Słońca  $A'_L$  wyrazi się wzorem

$$A'_L = 360^\circ - A_L = 308^\circ 14' \quad (4)$$



Podobnie w pierwszy dzień zimy astronomicznej, gdy deklinacja Słońca osiąga wartość minimalną  $\delta = -\varepsilon$ , azymut wschodu  $A_Z$  zgodnie z rysunkiem 3 wyrazi się wzorem

$$A_Z = 180^\circ - A_L = 128^\circ 14' \quad (5)$$

zaś azymut zachodu Słońca  $A'_Z$  dany jest wzorem

$$A'_Z = A_L + 180^\circ = 231^\circ 46' \quad (6)$$

Podane wyżej wartości azymutu wschodu i zachodu Słońca są wartościami skrajnymi. Zgodnie z rysunkiem 3, wschody Słońca będziemy obserwowali w sektorze na łuku horyzontu  $S_L E S_Z$ . Azymut wschodu Słońca  $A$  w ciągu roku będzie się zmieniał w zakresie:  $A_L \leq A \leq A_Z$ , zaś azymut zachodu Słońca  $A'_Z$  w zakresie:  $A'_Z \leq A_Z \leq A'_L$ . Przy czym wewnątrz łuku  $S_L E S_Z$  Słońce będzie wschodziło dwukrotnie: raz podczas jego ruchu od punktu  $S_Z$  do punktu  $S_L$  (w okresie zima – wiosna) oraz po raz drugi podczas ruchu od punktu  $S_L$  do  $S_Z$  (w okresie lato – jesień). Tak więc na linii K–W– $S_1$  (rys. 3), wyznaczonej przez kopiec Krakusa i kopiec Wandy będziemy dwukrotnie obserwowali wschód Słońca, co ma miejsce na początku maja i sierpnia (tab. 2). W tych samych dniach zachód Słońca będziemy obserwowali z kopca Krakusa na kierunku  $KS_1'$ . Zwrot odwrotny powyższej linii wyznacza kierunek  $KS_2$  (rys. 3), tj. kierunek wschodu Słońca obserwowany z kopca Krakusa w okresie jesienno-zimowym. Podobnie z kopca Wandy na tle kopca Krakusa w kierunku  $S_2'$  będziemy dwukrotnie obserwowali zachód Słońca, co ma miejsce na początku listopada i początku lutego. W tych dniach wschód Słońca będziemy obserwowali z kopca Krakusa na kierunku  $KS_2$ . Z linią  $KS_1$  (K–W) jest sprzężona linia  $KS_2$  (rys. 3).

Ponieważ w rozważanym przypadku azymut wschodu Słońca jest znany, gdyż jest on równy azymutowi kierunku wyznaczonego przez linię KR–KW i zgodnie z tabelą 2 (poz. 3) wartość tego azymutu na kierunku K–W– $S_1$  wynosi (rys. 3)  $A_5 = 65^\circ 30'$ . Wobec tego, w dniu tym zachód Słońca widziany z kopca Krakusa będzie miał miejsce na kierunku  $KS_1'$  o azymucie

$$A'_1 = 360^\circ - A_1 = 294^\circ 30' \quad (7)$$

Zwrot przeciwny powyższego kierunku, tj.  $KS_2$ , wyznacza azymut wschodu Słońca o wartości

$$A_2 = 180^\circ - A_1 = 114^\circ 30' \quad (8)$$

co ma miejsce na początku listopada i lutego. Z kolei w dniach tych zachód Słońca widziany z kopca Krakusa zachodzi na linii  $KS_2'$  o azymucie

$$A'_2 = 180^\circ + A_1 = 245^\circ 30' \quad (9)$$

Tak więc zgodnie ze wzorami (6)–(8) wystarczy określić azymut wschodu lub zachodu jednego z czterech kierunków wychodzących z danego punktu (np. z kopca Krakusa),



a azymuty pozostałych trzech kierunków będą jednoznacznie wyznaczone. Między punktami wschodu i zachodu ciał niebieskich zachodzi bowiem zwierciadlana symetria względem południka miejscowego (linia NS, rys. 3). Ponadto punkty wschodu i zachodu Słońca w okresie wiosenno-letnim mają swoje zwierciadlane odbicie względem osi EW (rys. 3) w okresie jesienno-zimowym. W układzie prostokątnym określonym przez osie: KE i KN punkty wschodu Słońca i innych ciał niebieskich znajdują się po wschodniej stronie horyzontu – w ćwiartce pierwszej i drugiej, zaś punkty zachodu znajdują się w ćwiartce trzeciej i czwartej po stronie zachodniej.

Można założyć, że orientacja kierunku KR-WA dostosowana jest do daty wschodu Słońca przypadającej na środek okresu między początkiem wiosny astronomicznej ( $\lambda = 0^\circ$ ) i początkiem lata astronomicznego ( $\lambda = 90^\circ$ ). W momencie tym długość ekliptykalna Słońca wynosi  $\lambda = 45^\circ$  i zgodnie ze wzorem (3) otrzymujemy wartość modelową dla azymutu kierunku KW równą  $A_{1m} = 64^\circ 03'$ . Tę samą wartość azymutu uzyskujemy dla  $\lambda = 135^\circ$  (środek lata astronomicznego). Podobnie dla kierunku sprzężonego do kierunku  $KS_1$ , tj. kierunku  $KS_2$  (rys. 3) otrzymujemy  $A_{2m} = 115^\circ 57'$ , gdyż wówczas długość ekliptykalna Słońca wynosi  $\lambda = 225^\circ$  (środek jesieni astronomicznej). Tę samą wartość azymutu uzyskujemy dla  $\lambda = 315^\circ$  (środek zimy astronomicznej). W wyniku uzyskujemy cztery momenty (daty), które wraz z momentami (datami) określającymi momenty równonocy wiosennej i jesiennej oraz przesilenia letniego i zimowego dzielą rok zwrotnikowy (kalendarzowy) na osiem części. Porównując rzeczywistą wartość azymutu kierunku KW (tab. 2, poz. 3) z wartością  $A_{1m} = 64^\circ 03'$ , obliczamy poprawkę  $-1^\circ 27'$ . Zaś porównując wartość azymutu wyznaczonego przez kopiec Krakusa i kopiec Kraka (tab. 2, poz. 5) z wartością modelową  $A_{2m} = 115^\circ 57'$ , otrzymujemy poprawkę o wartości  $0^\circ 36'$ . Biorąc pod uwagę, że datom wschodu Słońca na kierunku  $KS_2$  odpowiadają daty zachodu Słońca na kierunku  $KS_2'$ , obserwowane z kopca Wandy na tle kopca Krakusa (lub z kopca Krakusa w kierunku  $KS_2'$ ), zauważamy, że również uzyskamy cztery daty przypadające na połowę poszczególnych pór roku.

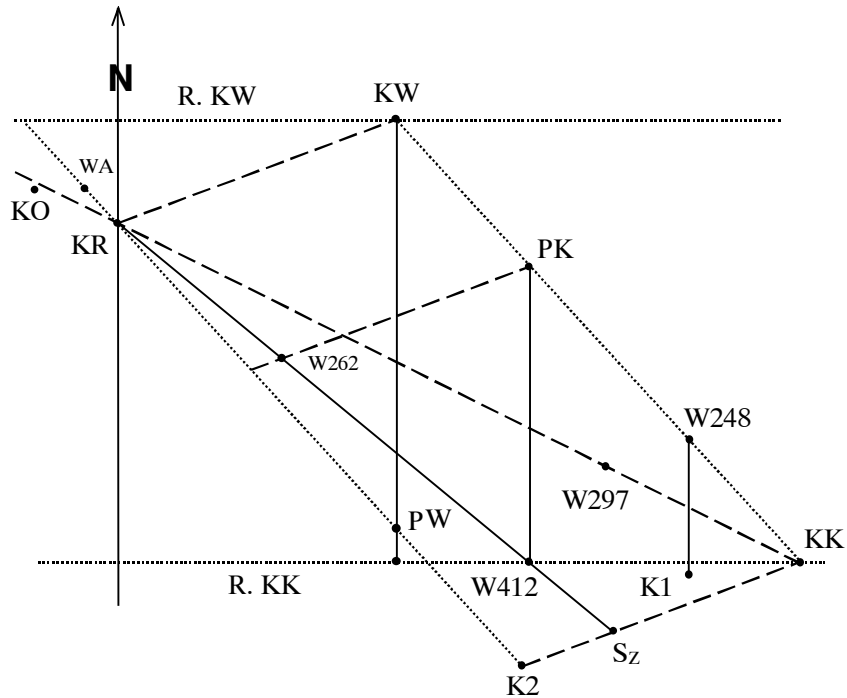
Przy dokładniejszych obliczeniach należy uwzględnić zmianę wartości średniego nachylenia płaszczyzny ekliptyki  $\epsilon$  do płaszczyzny równika, która aktualnie powoli – zgodnie ze wzorem [5, s. 168] – zmniejsza się z prędkością  $7'46''$  na 1000 lat.

#### 4. Jak zaprojektowano lokalizację kopca Kraka w Krakuszowicach?

Kopiec Kraka znajduje się w Krakuszowicach w powiecie wielickim w gminie Gdów. Zarówno nazwa miejscowości, jak i kopca sugerują jego silne związki z Krakowem. Według legendy jest to mogiła syna Krakusa; w źródłach internetowych kopiec ten występuje pod różnymi nazwami: Krakusa Młodszeo, Krakusa II, Kroka, a na ostatnich mapach jest on oznaczany jako kopiec Kraka [7]. Kopiec znajduje się na zboczu łagodnego wzgórza, kilkaset metrów od jego wierzchołka. Ponadto jest on przepołowiony dość głębokim przekopem w kierunku wschód – zachód i jest porośnięty drzewami (rys. 1). Wokół kopca znajduje się pole orne. Z kopca, a latem z jego podstawy, roztacza się piękna panorama w kierunku południowo-wschodnim na rozległą dolinę Raby oraz Beskid Wyspowy. Z porówna-

nia wartości azymutu kierunku linii wyznaczonej przez kopce Krakusa i Kraka (tab. 2, poz. 5) z wartością azymutu kierunku  $KS_2$  (8), wynika, że te wartości praktycznie się pokrywają, gdyż ich różnica nie przekracza jednego stopnia. Powyższy wynik był zaskakujący dla autora. Tym bardziej, że kopiec Kraka znajduje się w odległości 22,7 km od kopca Krakusa i jest z niego niewidoczny. Również z kopca Wandy jest on niewidoczny. Nasuwa się pytanie, w jaki sposób budowniczy kopca Kraka wytyczyli w terenie przebieg linii prostej łączącej go z kopcem Krakusa oraz z kopcem Wandy. Analizując za pomocą mapy przebieg linii KR–KK, widzimy, że w odległości ok. 6,7 km przebiega ona po stronie północnej w odległości ok. 1,3 km od wzniesienia Kaim o wysokości 262 m (W262, rys. 4) i dalej w odległości 16,1 km przebiega ona w pobliżu punktu triangulacyjnego oznaczonego W297 (tab. 1, poz. 7) w miejscowości Szczygłów (rys. 4). Wtyczenie punktu leżącego na linii KR–KK w pobliżu W297 jest ułatwione, jeżeli w tym celu skorzystamy z faktu, że linia  $KS_1'$  przechodzi nieco na prawo od obecnego kopca Kościuszki (rys. 4). Dyskusja przebiegu tej linii w terenie jest przedstawiona w opracowaniu [6]. Również linia KW–KK przebiega w poprzek płaskiej Niziny Nadwiślańskiej i dopiero w odległości ok. 13,0 km przechodzi przez wzniesienie W248 na południe od miejscowości Zagórze. Bezpośrednia obserwacja horyzontu z tego punktu wykazuje, że jedynymi przeszkodami uniemożliwiającymi obecnie bezpośrednią widoczność kopca Wandy są drzewa wokół tego kopca. Wydaje się, że budowniczowie kopca Kraka byli w stanie w oparciu o obserwacje kierunku do Słońca, gdy znajdowało się ono w azymucie kopca, tę linię wytyczyć w terenie. Nałożenie pęku charakterystycznych kierunków astronomicznych (rys. 3) na – bogatą w treść geoinformacyjną – mapę z punktem centralnym na kopcu Krakusa odsłania nowe horyzonty badawcze. Linia WA–KR–K2 jest równoległa do jednoznacznie określonej linii KW–KK. Linia ta na kierunku KR–K2 wyznacza najbardziej na południe wysunięty punkt wschodu Księżyca. Zaś kierunek KR–WA przecina Wzniesienie Wawelskie i wyznacza z kolei najbardziej na północ wysunięty kierunek zachodu Księżyca w cyklu o długości 18,61 roku. Stąd można wysunąć hipotezę, że kopiec Krakusa zlokalizowano na linii wyznaczającej punkt wschodu Księżyca o maksymalnej wartości azymutu z punktu widzenia obserwatora znajdującego się w pobliżu środka Wzniesienia Wawelskiego. Jednak szczególnie istotną rolę w dalszych rozważaniach odgrywa linia o azymucie  $KS_Z$  (rys. 3), określona przez wschód Słońca w dniu przesilenia zimowego. Linia ta przechodzi w pobliżu wzniesienia Kaim (W262, rys. 4) i w odległości ok. 15 km w pobliżu wzniesienia o wysokości 412 m (W412, rys. 4) znajdującego się na północ od miejscowości Sułów. Linia ta przebiega na lewo o  $7,6^\circ$  od masztu TV Chorągiewca na wysokości horyzontalnej ok.  $0^\circ 30'$ . Okazuje się, że równoleżnik przechodzący przez kopiec Kraka (R KK) przecina się z linią  $KS_Z$  również w pobliżu punktu W412. Ponadto południk przechodzący przez W412 przecina linię KW–KK w punkcie PK (rys. 4). Zaskakujące okazało się to, że długość linii W412–PK jest równa odległości między kopcem Krakusa a kopcem Wandy (linia KR–KW, rys. 4). Warto również zauważyć, że punkt PK znajduje się na obszarze przysiółka Pod Kopcem leżącym przy drodze łączącej Węgrzce Wielkie z miejscowością Grabie. Również pobliska żwirownia nosi nazwę „Pod Kopcem”. Na pytanie autora o pochodzenie tej nazwy miejscowa ludność nie potrafiła udzielić odpowiedzi. Warto zauważyć, że południk punktu W248 przechodzi przez wzniesienie (K1, rys. 4), na którym znajduje się kurhan. Wzniesienie to znajduje się na wschód od miejscowości Jawczyce. Linia

WA–KR–PW przecina horyzont na wysokości kątowej ok. pół stopnia, w odległości kątowej ok.  $4,5^{\circ}$  na prawo od masztu telewizyjnego i dalej przecina się z linią K2–KK, równoległą do linii KR–KW, w punkcie K2 (rys. 4) na obszarze miejscowości Hucisko, gdzie zlokalizowane są katakumby Lipowskich.



Rys. 4. Szkic rozmieszczenia kopców prehistorycznych i charakterystycznych kierunków astronomicznych odniesionych do kopca Krakusa

Ponadto linia ta przecina się z południkiem kopca Wandy – przebiegającym przez centrum Wieliczki – w punkcie PW. Długość linii KR–PW jest w przybliżeniu równa długości linii KW–PW. Na rysunku 4 widać, że linia KR–KK jest przekątną równoległoboku zaczepionego na kopcu Krakusa i określonego przez przecinające się dwie charakterystyczne linie astronomiczne. Można zauważyć, że położenie zarówno kopców, jak i kurhanów jest wyznaczone przez przecięcie się co najmniej dwu charakterystycznych kierunków astronomicznych. Połączenie charakterystycznych kierunków wschodu Słońca i Księżycy z naturalnymi wzniesieniami, niekiedy zaznaczone kopcami czy kurhanami, pozwoliło skonstruować „hipotetyczną sieć triangulacyjną”, w której wybrane boki spełniają twierdzenie Taleasa oraz Pitagorasa (rys. 4). Postawione w tytule pytanie na temat metody lokalizacji kopca Kraka za pomocą dostępnych obserwacji astronomicznych pozostaje nadal otwarte. Problematyka ta – zdaniem autora – wymaga dalszych pomiarów i sprawdzenia warunków widzialności kopca Kraka na wielu punktach w terenie w rejonie Wieliczki.

## 5. Wnioski końcowe

Nalożenie warstwy charakterystycznych kierunków astronomicznych związanych z kierunkami wschodu i zachodu Słońca oraz Księżyca na warstwę geoinformatyczną w postaci mapy umożliwiło skojarzenie tych kierunków z obiektami morfologicznymi na powierzchni Ziemi. Uzyskane wyniki poszerzają istotnie pole dyskusji na temat orientacji prehistorycznych kopców krakowskich. Utworzona w wyniku przeprowadzonych badań konstrukcja geometryczna w postaci rysunku 4, sugeruje, że przy wytyczaniu położenia kopca Kraka w Krakuszowicach istotną rolę mógł odegrać równoleżnik tego kopca.

Usytuowanie zaś kopców Krakusa, Wandy oraz kopca Kraka w Krakuszowicach świadczy nie tylko o dużej wiedzy astronomicznej ale również o wysokich umiejętnościach mierniczych prehistorycznych budowniczych tych kopców. Autor wyraża opinię, że za pomocą wyników precyzyjnych pomiarów geodezyjnych oraz języka geometrii i astronomii udało się rozszyfrować część tajemnic związanych z prehistorycznymi kopcami krakowskimi. Funkcja tych kopców wydaje wieloraka. Są one nadal niezniszczalnym kalendarzem, opartym na rocznym pozornym ruchu Słońca i Księżyca na sferze niebieskiej. Konstrukcja kopca Krakusa świadczy o dużym doświadczeniu budowniczych oraz sprawnej organizacji, pisze prof. J. Kotlarczyk [1].

*Autor składa serdeczne podziękowanie dr. inż. B. Skorupie za pomoc w przygotowaniu ilustracji.*

## Literatura

- [1] Kotlarczyk J.: *Kopiec Krakusa – kopiec zagadek i rozczarowań*. Z Otchłani Wieków, z. 1, 1979, 52–62
- [2] Kotlarczyk J.: *Celtyckie święta i kopce małopolskie*. Z Otchłani Wieków, z. 2, 1979, 142–149
- [3] Janeczek A., Skorupa B.: *Wyznaczenie współrzędnych wybranych niedostępnych punktów na obszarze Krakowa w oparciu o pomiary kątowe i GPS*. Praca dyplomowa niepublikowana, wykonana pod kierownictwem autora, 1995
- [4] Góral W., Zdunek R.: *Poligon geodynamiczny w rejonie Krakowa i Wieliczki*. Rocznik AGH Geodezja, t. 4. z. 1, 1998, 13–19
- [5] *Rocznik Astronomiczny na 2005 r.* Warszawa, Wydawnictwo IGIK 2005
- [6] Góral W.: *Położenie kopców krakowskich i punktów kierunkowych, wschody Słońca*. Artykuł złożony do druku w Zeszytach Naukowych AE w Krakowie, 2006
- [7] *Mapa turystyczna „Okolice Krakowa” w skali 1 : 50 000*. Wyd. IV, Compas 2005