Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 18, 2008
ISBN 978-83-61576-08-2

PRÓBA ZROZUMIENIA IDEI KONSTRUKCJI TABLICY ASTRONOMICZNEJ M. KOPERNIKA NA OLSZTYŃSKIM ZAMKU Z POMOCĄ POMIARÓW FOTOGRAMETRYCZNYCH

AN ATTEMPT AT UNDERSTANDING THE CONCEPT OF NICHOLAS COPERNICUS' ASTRONOMICAL TABLE, HOUSED IN THE OLSZTYN CASTLE, USING PHOTOGRAMMETRIC MEASUREMENTS

Jerzy Miałdun

Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: Kopernik, tablica astronomiczna, fotogrametria, równonoc, zegar słoneczny refleksyjny

STRESZCZENIE: Na wewnętrznej ścianie krużganka olsztyńskiego zamku znajduje się niezwykła pamiątka po Mikołaju Koperniku. Jest to tablica o szerokości 7.2 m i wysokości 1.45 m uznawana za jedyny zachowany instrument badawczy, wykonany przez samego astronoma. W ciągu wieków znaczne fragmenty tablicy zostały zniszczone podczas robót budowlanych. W XIX w. podjęto nieprofesjonalną próbę odtworzenia brakujących fragmentów. Pod koniec lat 50 ub. wieku zespół konserwatorów z warszawskich Pracowni Konserwacji Zabytków usunął wszystkie przemalowania i uzupełnienia, które nie miały szesnastowiecznej metryki. Po przeszło 50 latach od tamtej pory nagromadziło się wiele pytań o funkcję jaką miała pełnić ta tablica na zamku. Czy na pewno był to instrument astronomiczny? Powołany jesienią 2006 r. zespół badawczy miał za zadanie wykonanie dokładnej inwentaryzacji fotogrametrycznej i konserwatorskiej oraz wstępnej interpretacji uzyskanych danych. W pierwszej kolejności wykonano barwny fotoplan tablicy. Pomiary oparto o punkty GPS zastabilizowane na dziedzińcu zamku. Zadanie to wykonali pracownicy Katedry Geodezji Satelitarnej i Nawigacji UWM. Współrzędne tych punktów oraz punktów na tablicy przeliczono do sferycznego układu współrzędnych geograficznych. Następnie wyznaczono azymut płaszczyzny tablicy względem południka miejscowego (przechodzącego przez środek tablicy). Wg badaczy zajmujących się w przeszłości tą tablicą, rysunek na jej powierzchni jest swoistym słonecznym zegarem refleksyjnym. Snując swe przypuszczenia nie określali precyzyjnie położenia zwierciadła względem tablicy. Rozwiązanie tego problemu znajduje się w tej pracy. Mimo nikłych i niepewnych danych wyznaczono położenie zwierciadła z dość dobrą dokładnością. Potwierdzeniem słuszności przyjętego toku badań, jest trwający ciągle eksperyment pomiarowy prowadzony na replice tablicy. Badania konserwatorskie wsparte były wykonaniem i interpretacją zdjęć w podczerwieni oraz luminescencji w ultrafiolecie. Potwierdziły one istnienie wielu przemalowań i zniszczeń na powierzchni tablicy. Analizy barwników, podłoża i tynku potwierdziły, że najstarsze warstwy pochodzą z XVI wieku. Wynikiem precyzyjnych pomiarów fotogrametrycznych rysunku na tablicy jest zbudowanie jej matematycznego modelu. Model ten niestety dość poważnie odstaje w niektórych partiach od rzeczywistości. Oparty jest on na obliczeniach astronomicznych. Żadne XVI-wieczne źródła pisane nie wspominają o tablicy i sam Kopernik nie pisze o niej ani słowem. Stąd wykreowany model jest tylko prawdopodobnym obrazem pierwotnego stanu przyrządu. Czy rzeczywiście był to instrument pomiarowy astronoma? W świetle dotychczasowych badań był to raczej kalendarz astronomiczny i jednocześnie zegar słoneczny i mógł być wykonany przez Kopernika.

1. WSTĘP

Mikołaj Kopernik po studiach w Krakowie i we Włoszech osiadł na stałe na Warmii i spędził na niej blisko 40 lat życia. Od 1516 r. do 1521 r. sprawował urząd administratora dóbr wspólnych kapituły warmińskiej z siedzibą na olsztyńskim zamku. Obowiązki te jednak nie oderwały go od astronomii. Właśnie na olsztyńskim zamku spisał pierwszą księgę *De revolutionibus*... Tu także zachował się widomy i jedyny w swoim rodzaju ślad pobytu Kopernika w Olsztynie – tablica doświadczalna wykonana w 1517 r.

Kopernik zaraz po przyjeździe przystąpił do budowy tablicy (Sikorski, 1993). Badania konserwatorskie wykazały, że sporządzono ją na dwóch warstwach tynku. Należy rozumieć, że warstwą pierwszą był tynk krużganku, a warstwa druga została położona specjalnie na życzenie Kopernika. Prace nad rysunkiem tablicy Kopernik rozpoczął już 25 stycznia 1517 r. obserwując drogę odbicia Słońca na ścianie.

Badania T. Przypkowskiego ustaliły ponad wszelką wątpliwość, że wykres powstał przez rzutowanie na ścianę światła słonecznego odbitego w zwierciadle. Zwierciadło było umieszczone na murku wypełniającym arkady, czyli na parapecie – jak wyraża się Przypkowski. Nie wskazał on nie tylko miejsca, ale nawet konkretnej arkady, w której byłoby ono umieszczone. W badaniach prowadzonych w 1955 r. brał również udział poznański astronom prof. F. Koebcke. Niestety w późniejszych publikacjach nie zamieszczono żadnych wyników pomiarów, obliczeń lub analiz.

Krużganek, w którym znajduje się tablica był wielokrotnie przebudowywany. Użytkownicy zamku obchodzili się z tablicą w sposób bezceremonialny, lecz nie zdołali jej zniszczyć bez reszty (Sikorski, 1993). Zamalowano ją wapnem oraz rozczłonkowano ustawionymi poprzecznie ściankami działowymi. Odsłonięcie i utrwalenia tego, co pozostało zawdzięczamy umiejętnościom konserwatorów dzieł sztuki pod kierownictwem prof. B. Marconiego, którzy w latach 1956-1957 podjęli się badań ratunkowych tablicy.

Jesienią 2006 r. z inspiracji Dyrektora Muzeum Warmii i Mazur w Olsztynie stworzono wielodyscyplinarną grupę badawczą. Celem przyświecającym badaniom jest inwentaryzacja i ocena stanu zachowania tego zabytku oraz rozstrzygnięcie tego, jaką funkcję pełniła ta tablica w instrumentarium Kopernika.

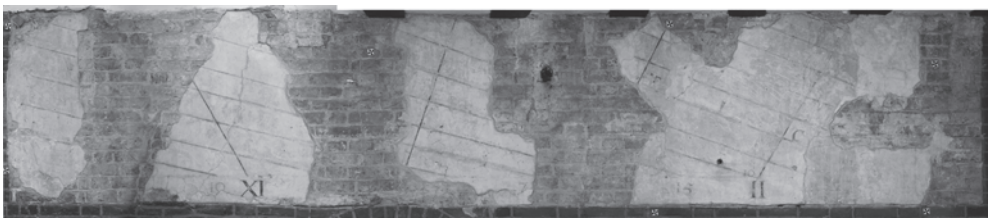
2. OSNOWA, ZDJĘCIA POMIAROWE I BARWNY FOTOPLAN

Olsztyńska geodezyjna osnowa pomiarowa jest niespójną osnową lokalną. Do planowanych w badaniach obliczeń z wykorzystaniem współrzędnych geograficznych sferycznych taki układ jest nieprzydatny. Aby zagwarantować wystarczającą dokładność założono dwa punkty na dziedzińcu zamku w układzie WGS 84. Pomiary i obliczenia wykonali pracownicy Katedry Geodezji Satelitarnej i Nawigacji UWM w Olsztynie. W nawiązaniu do nich pomierzono z dwóch stanowisk tachimetrem bezlustrowym sieć fotopunktów naklejonych na ścianę z tablicą. Po wyrównaniu uzyskano błąd położenia fotopunktów nie większy niż ±2 mm. Współrzędne fotopunktów przeliczono do układów (Jędryczka, 2007) PUWG2000 i geograficznego.

Zdjęcia pomiarowe wykonano aparatem cyfrowym OLYMPUS E-510 z obiektywem ZUIKO DIGITAL 14÷58 mm. Matryca z pikselami o wielkości 5.4 μm zagwarantowała wymiar terenowy piksela 1.1 mm. Zdjęcia zaprojektowano tak, aby można było zagęścić osnowę fotogrametryczną metodą terratriangulacji.

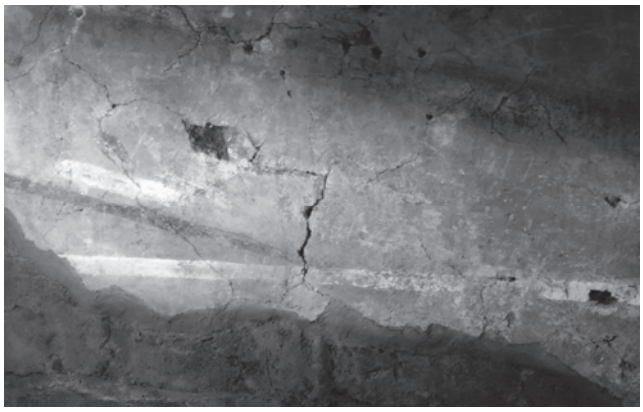
Powierzchnia tablicy jest prawie płaska. Grubość pozostałości tynku nie przekracza 20 mm. Można zatem wykorzystać do geometryzacji zdjęć transformację metodą rzutową. Zdjęcia przetworzono w programie IRAS C uzyskując błędy wpasowania nie większe niż ±3 mm.

Łączenie przetworzonych fotogramów i końcową redakcję fotoplanu wykonano w programie Photoshop.



Rys. 1. Barwny (w oryginale) fotoplan tablicy astronomicznej M. Kopernika w krużganku olsztyńskiego zamku

Dla celów badań konserwatorskich wykonano serie zdjęć luminescencji wywołanej promieniami UV oraz w podczerwieni cz-b. Ujawniły one szereg przemalowań oraz miejsca, z których usunięto pierwotny rysunek. Nie znaleziono żadnego śladu grafitu lub rylca, którym, jak przypuszczano, nanoszono szkic przebiegu linii. Pobrane próbki farb i tynku przesłano do laboratorium gdzie określono ich metrykę na XVI w. Wybrane zdjęcia przetworzono metodą „*image to image*" i wklejono do nowej warstwy fotoplanu.



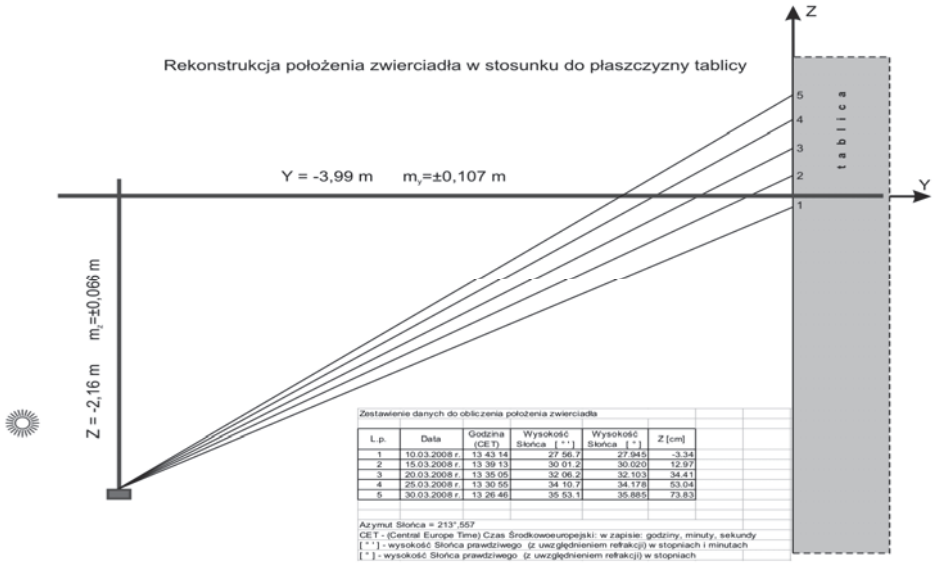
Rys. 2. Fragment fotogramu luminescencji wywołanej promieniowaniem UV

3. MATEMATYCZNY MODEL TABLICY

Aby zrozumieć funkcje, jakie pełniła tablica trzeba odtworzyć proces jej powstawania. Głównym problemem, jaki pojawił się na wstępie było określenie położenia zwierciadła względem tablicy. Dokładne badania konserwatorskie ujawniły walcowaty, głęboki otwór w ścianie sugerujący umieszczenie w nim grubego pręta podtrzymującego jakieś urządzenie. Postawiono tezę, że urządzeniem tym było zwierciadło. Należy tu wspomnieć, że powinno ono być poziome. Idąc za podpowiedzią badaczy (Przypkowski, 1960) mogło to być naczynie z rtęcią, a nawet czerwone wino.

Przyjęto również (Przypkowski, 1960), że czerwone linie biegnące od lewa w prawo skośnie w dół, to rysunki śladu odbitych promieni słonecznych w odstępach pięciodniowych. Linia oznaczona na oryginalnej tablicy literami A, I, T, niegdyś koloru niebieskiego, to ślad Słońca w dniu równonocy. Litery te interpretowane są przez badaczy, jako pozostałość po napisie *AEQUINOCTIUM*, gdzie litery A i E są połączone w jedną (Przypkowski, 1960). Linia ta jest linią prostą pozostałe powinny być zniekształconymi fragmentami hiperbol. Zniekształcenie to wynika z tego, że ściana nie jest prostopadła do południka miejscowego. Azymut wyliczony ze współrzędnych fotopunktów wynosi 123.557°.

W celu wyznaczenia położenia zwierciadła w układzie tablicy posłużono się następującą konstrukcją geometryczną:



Rys. 3. Słońce przechodząc przez płaszczyznę pionową i prostopadłą do tablicy odbija się w zwierciadle rzucając ślad na krawędzi tych płaszczyzn. Wartości Z w ostatniej kolumnie tabeli są odległościami przecięcia się krawędzi płaszczyzn z liniami dziennymi od otworu w tablicy

Poprowadzono płaszczyznę jednocześnie pionową i prostopadłą do płaszczyzny tablicy przez wspomniany wyżej otwór. Na fotoplanie zmierzono odległości punktów przecięcia się krawędzi tych płaszczyzn z liniami na tablicy od otworu. Posługując się programem autorstwa R. Tomasika Astronomiczny Kalendarz, wyznaczono wysokość Słońca w momencie przejścia przez płaszczyznę prostopadłą w 4 odstępach pięciodniowych, 1 przed i 3 po równonocy wiosennej. W 1517 r. dzień ten wypadał 11 marca wg kalendarza juliańskiego. Znając kierunek promieni padających na tablicę i położenie punktów przebicia jej przez te promienie można napisać układ liniowych równań poprawek.

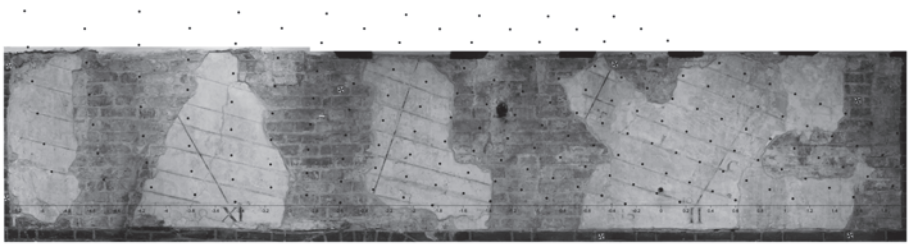
$$\mathbf{A} \times \mathbf{X} + \mathbf{Z} = \mathbf{V} \tag{1}$$

gdzie:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.53048 & -1 \\ 0.57782 & -1 \\ 0.62737 & -1 \\ 0.67904 & -1 \\ 0.72348 & -1 \end{bmatrix}, \ \mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{y} \\ \mathbf{z} \end{bmatrix}, \ \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} -3.34 \\ 12.97 \\ 34.41 \\ 53.04 \\ 73.83 \end{bmatrix}$$

Wyniki rozwiązania układu równań (1) przedstawione są na rysunku 3.

Wykorzystując te dane i program Astronomiczny Kalendarz obliczono położenia śladów Słońca na tablicy w odstępach pięciodniowych, co 10 minut między godziną 10 a 16 CET (*Central European Time*). Po nałożeniu wektorowej prezentacji tych wyników na fotoplan można zaobserwować rozbieżności między wygenerowanym modelem i tym, co pozostało po oryginalnym rysunku na ścianie.



Rys. 4. Fotoplan z nałożoną warstwą prezentującą położenia śladów Słońca wg wygenerowanego modelu

Czarne kropki reprezentujące położenia śladów Słońca na tablicy układają się w linie dwojakiego rodzaju:

- związane z wędrówką Słońca po nieboskłonie w ciągu dnia (linie dzienne),
- związane z wędrówką Słońca po nieboskłonie w ciągu kolejnych dni o tej samej godzinie (linie godzinne).

Linie opadające w dół z lewa na prawo (dzienne, co 5 dni) w dużej części pokrywają się z rysunkiem na tablicy. Linia równonocy jest prosta i pokrywa się z oryginałem, inne nieco odbiegają od oryginału. Powodów może być kilka. Może być to

na skutek zniszczeń i przemalowań. Linie na ścianie są proste a na modelu hiperboloidalne.

Linie godzinne są w okolicy napisu XI prawie pionowe, są to linie godzin około południa. Reprezentują one równe godziny i minuty w odstępach 10 minutowych. Na zegarach słonecznych wykorzystywanych w XVI w. są to linie proste. W modelu wykorzystano do obliczeń czas CET, więc linie są nieco zakrzywione, bo są fragmentami analemy. Rysunek na tablicy w postaci czarnych linii opisanych czarnymi liczbami rzymskimi sugeruje intuicyjnie, że mógłby być to refleksyjny zegar słoneczny. Porównanie tej konstrukcji z modelem jednak nie potwierdza tego. Gdzie należy szukać przyczyny tej niezgodności? Badacze sugerują (Sikorski, 1993), że namalowane zostały później, niezgodnie z zasadami sztuki gnomonicznej.

4. EKSPERYMENT SPRAWDZAJĄCY

Przestrzegając zasady, że nie wolno eksperymentować na zabytkach postanowiono zbudować replikę tablicy ze zwierciadłem. Wybrano południową ścianę zamku, ponieważ jest równoległa do tej, na której znajduje się oryginał oraz dobrze oświetlona przez cały dzień. Równoległość ścian jest zdumiewająca. Na długości 8 m wybranego fragmentu ściany odchyłka wyniosła tylko 58 mm.

Na stalowej ramie umocowano płytę z tekstolitu, na którą naklejono fototapetę z fotoplanem oryginału tablicy w skali 1:1. W miejscu gdzie znajduje się otwór w ścianie (na oryginale) wstawiono prostopadle do tablicy rurę o przekroju prostokątnym. Na tym ramieniu zawieszono na dwóch prętach zwierciadło. Położenie zwierciadła można regulować dzięki przesuwnym tulejom. W pierwszej wersji zwierciadło naklejone na warstwę korka miało pływać w zbiorniczku na powierzchni oleju. Miał to być sposób na automatyczne poziomowanie lustra. Użycie rtęci ze względów bezpieczeństwa było wykluczone. Pierwsze próby pokazały, że silne przeciągi między ścianą i murem obronnym powodowały kołysanie się lustra. Obraz odbitych promieni słonecznych na tablicy był w ciągłym ruchu, co uniemożliwiało znalezienie stabilnego, możliwego do zarejestrowania położenia „zajączka" (Sikorski, 1993). Lepszym rozwiązaniem okazało się umieszczenie lustra o średnicy 50 mm na spodarce teodolitu.

Pierwsze próby rejestracji położenia „zajączka" na replice tablicy rozpoczęto na początku marca 2008 r. Pomierzono położenie obrazów fotopunktów sygnalizowanych na oryginalnej tablicy. Średni błąd ich wzajemnego położenia nie przekroczył ±10 mm. Rejestracji dokonywano aparatem cyfrowym OLYMPUS E 510 sterowanym z komputera. Firmowe oprogramowanie pozwala na wykonywanie zdjęć o zadanej porze i w zadanych odstępach czasu. Zegar komputera i aparatu zsynchronizowany był przez odbiornik GPS z czasem UTC (*Coordinated Universal Time*). Zdjęcia wykonywane były, co 10 minut i zapisywane w formacie RAW na dysku komputera. Czas wykonania zdjęcia i inne parametry zapisywane są w tym formacie w osobnym pliku Exif (*Exchangeable Image File Format*).

Rys. 5. Replika tablicy astronomicznej z widocznym na niej „zajączkiem”

Posiadając takie dane można obliczyć położenie śladu tarczy słonecznej na oryginale tablicy. Można wygenerować film pokazujący ruch tego śladu. Łącząc zarejestrowane ślady można stworzyć wirtualną tablicę doświadczalną.

W czasie eksperymentu wiosennego rozpoczętego 20 dni przed dniem równonocy wiosennej przypadającej w tym roku na 22 marca napotkano wiele trudności. W większości były to problemy związane z pogodą. Bezchmurne dni w tym okresie były tylko 2 i kilka częściowo bezchmurnych. Wystąpiły problemy techniczne. Powierzchnia fototapety jest gładka i przy niekorzystnym położeniu Słońca lśniła. Zadaszenie mające dawać namiastkę zacienienia w krużganku było niekiedy nieskuteczne. Silne porywy wiatru destabilizowały konstrukcję. Reakcje zwiedzających zamek czasami były bardzo uciążliwe.

Po pierwszych obserwacjach i przemyśleniach eksperyment jest kontynuowany. Kolejna kampania rozpoczęła się 7 września na 15 dni przed dniem równonocy jesiennej.

5. WNIOSKI

Badania i eksperyment potwierdziły znaną opinię, że metody fotogrametrii i teledetekcji znakomicie nadają się do inwentaryzacji i rejestracji zmian stanu zabytków. Dostarczyły one danych, które przybliżają badaczy do zrozumienia idei powstania tego dzieła. Podsumowując dotychczasowe badania można stwierdzić, że:

- Linie dziennej wędrówki Słońca są mało precyzyjne, aby mogły służyć do pomiarów. Może to tylko skutek zniszczeń i przemalowań. Z drugiej strony (Sikorski, 1993) Kopernik wykonał tę tablicę wiosną 1517 r. Czy miał tyle czasu i pogodnych dni, aby zrobić to na podstawie obserwacji? Może obserwacje były fragmentaryczne a obraz linii powstał w drodze ekstrapolacji;
- Wyróżniona na niebiesko linia równonocy wg badaczy miała szczególne znaczenie. Mogła służyć do obliczenia daty Świąt Wielkanocnych. Dzień równonocy wiązał się w tym czasie ze zdarzeniami ekonomicznymi, np. daty poboru podatków? Wreszcie wieloletnie obserwacje mogły pokazać niezgodność długości roku wg kalendarza juliańskiego z rokiem słonecznym. M. Kopernik

od 1513 r. brał udział w pracach nad reformą kalendarza (Sikorski, 1993). I choć oficjalnie zakończył je w 1516 r. mógł dalej zajmować się tym problemem;
- Czarne ukośne linie przypominające linie godzinne na zegarach słonecznych nie pasują do opracowanego modelu matematycznego. Szczególnie linia opisana rzymską liczbą XI mocno odstaje od modelu. Gdyby te linie pasowały do modelu można by zaryzykować tezę, że Kopernik prowadził badania związane z równaniem czasu;
- Wobec wielu wątpliwości autor skłania się do opinii, że był to swoisty, służący lokalnej społeczności, kalendarz. Miał on swój początek wczesną wiosną i przy założeniu, że miał swoją kontynuację na suficie, kończył się późną jesienią. Wątpliwym jest by czarne linie były tarczą zegara słonecznego.

6. LITERATURA

Boroń A., Wróbel A., 2006. Metoda wytwarzania barwnych fotoplanów rozwinięć malowideł na powierzchniach kolebkowych z zastosowaniem kamery fotogrametrycznej i aparatów cyfrowych, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 16, Stare Jabłonki.*

Cacoń S., Hlibowicki R., Krzeszowski M., 1971. *Elementy geodezji wyższej i astronomii geodezyjnej*. Skrypty Wyższej Szkoły Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław.

Cygański J., 2006. Astronomiczna tablica Mikołaja Kopernika. *Spotkania z Zabytkami,* 11, s.17-18.

Jędryczka R., 2007. Transformacja współrzędnych punktów Tablicy Astronomicznej Mikołaja Kopernika między różnymi układami. *Sprawozdanie z wykonania zadania*, Muzeum Warmii i Mazur w Olsztynie.

Przypkowski T., 1960. Astronomiczne zabytki Olsztyna, *Rocznik Olsztyński*, t. 2, s. 138-160.

Sikorski J., 1993. Z zagadnień organizacji pracy badawczej i warsztatu naukowego Mikołaja Kopernika. *Komunikaty Warmińsko-Mazurskie*, 2(200), s. 131-166.

Tomasik R., Astronomiczny Kalendarz, http://tgv.neostrada.pl/astro/

AN ATTEMPT AT UNDERSTANDING THE CONCEPT OF NICHOLAS COPERNICUS' ASTRONOMICAL TABLE, HOUSED IN THE OLSZTYN CASTLE, USING PHOTOGRAMMETRIC MEASUREMENTS

KEY WORDS: Copernicus, astronomical table, photogrammetry, equinox, reflective sundial

Summary

On the inner wall of the gallery in the Olsztyn Castle, there is an unusual memento, left there by Nicholas Copernicus. It is a table, 7.2 m wide and 1.45 m high, regarded as the only research instrument built by the astronomer himself. Over the centuries, fragments of the table have been damaged during construction works. In the 19th century, amateur restorers made an attempt to reconstruct the missing fragments. In the 1960s, a team of restorers from the Warsaw Monument Conservation Workshop removed all the paint coats and fillings added on past the 16th century. Now, forty years later, numerous questions persist as to the function the table was to fulfill in the castle. Was it really an astronomical instrument?

In autumn 2006, a research team was charged with the task of preparing a complete photogrammetric and conservation stocktaking and preliminary interpretation of the data.
First, a precise colour orthophotomap of the table was made. The measurements were based on GPS points, stabilised on the castle courtyard. The task was performed by the personnel of the Department of Satellite Geodesy and Navigation of the University of Warmia and Mazury. The coordinates of those points and of the points on the table were recalculated into a spherical system of geographical coordinates. The azimuth of the table plane was then determined in relation to the local meridian (running through the table centre).

According to the scholars who studied the table in the past, the drawing on its surface is a kind of reflective sundial. Those researchers did not determine the mirror's position against the table with any precision. The problem has been solved in this study. Despite scarce and uncertain data, the mirror's position has been determined with considerable precision. The working hypothesis has been confirmed by an ongoing experiment involving a replica of the table.

The restoration study has been aided by infrared photographs and UV luminescence. Analysis and interpretation of the results have confirmed the table to have been covered by numerous coats of paint and to have damaged fragments. Analyses of dyes, base, and plaster showed the oldest layers to derive from the 16th century.

The precise photogrammetric measurements of the table's drawing allowed to develop its mathematical model. However, in some parts, the model significantly deviates from the original and is based on astronomical calculations. None of the 16th century sources mentioned the table and Copernicus himself did not write a word about it. Hence, the model developed is only a putative image of the original condition of the instrument.

Was it really the astronomer's measurement instrument?

In the light of the research conducted so far, it appears that it was an astronomical calendar, and that it may have indeed been made by Copernicus.

dr inż. Jerzy Miałdun
e-mail: jerzy.mialdun@uwm.edu.pl
www.morska.com/mialdun
telefon: 0 89 523 49 92