

# 500 lat olsztyńskiej Tablicy Kopernika

Jan Chroboczek\*

**Streszczenie.** Wiosną 1517 roku Mikołaj Kopernik prowadził obserwacje ruchu Słońca, za pomocą tablicy astronomicznej znajdującej się na murze zamku w Olsztynie, w celu dokładnego wyznaczenia momentu równonocy. Tablica przetrwała do dziś, ale zakodowany w niej moment równonocy nie został odczytany przez Kopernika – dokonano tego niedawno.

**Słowa kluczowe:** długość roku, równonoc, Tablica olsztyńska, Kopernik

**Abstract.** In the spring of the year 1517 Nicolaus Copernicus carried out solar observations with help the astronomical table constructed on the wall of the Olsztyn Castle, attempting to determine a precise moment of the vernal equinox. The table is still there, but Copernicus was not able to determine the exact time of the equinox encoded therein – that was done recently.

**Keywords:** year length, equinox, Olsztyn Table, Copernicus

W Muzeum Warmii i Mazur na zamku Kapituły Warmińskiej w Olsztynie znajduje się Tablica astronomiczna (dalej zwana Tablicą) przypisywana Kopernikowi. Jest to prostokątny, okazały wykreślnik sporządzony na tynku ściany zamkowej. Widzimy na nim szereg krzyżujących się linii, są tam też znaki zodiaku i kilka rzymskich i arabskich cyfr (rys. 1). Jeżeli towarzyszy nam przewodnik, usłyszymy od niego, że linie biegnące skośnie wzdłuż Tablicy są śladami drogi wiązki światła słonecznego odbitego od lustra, które kiedyś znajdowało się naprzeciw Tablicy, czyli ślady „zajęczka” słonecznego puszczonego na ścianę. Wskaże też na pewno jedną z tych linii, różniącą się od reszty kolorem, podkreślając przy tym, że jest to linia prosta, a pod nią i nad nią widzimy hiperbole. Przy odrobinie dobrej woli można się z tym zgodzić. Nad tą właśnie linią widnieją litery T I C, które uważa się za pozostałość wyrazu *ÆQUINOCTIUM*<sup>1</sup> (równonoc w j. łac.) oznaczającego dzień zrównania dnia i nocy. Przewodnik może też powiedzieć, że Kopernik zbudował Tablicę ok. 1517 r. w celu zmierzenia okresu dzielącego dwa kolejne zjawiska równonocy, który nazywa się rokiem tropikalnym albo zwrotnikowym.

\*Jan Chroboczek jest absolwentem Wydziału Fizyki UW i był pracownikiem naukowym w IF PAN do 1981r., od kiedy mieszka w Grenoble, gdzie pracował w laboratorium wysokich pól magnetycznych Instytutu Maxa Plancka, Centrum Badawczym France Telecom i ostatnio Centrum Mikroelektroniki w Grenoble (MINATEC). Obecnie zajmuje się historią nauki XVI w.

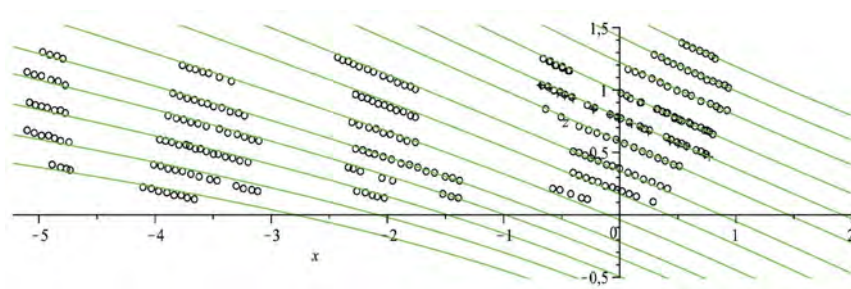
1. Litera T miałyby być resztką ligatury A&E, a litery I i C są tu pogrubione. Proponuje się też *Tropical Initium Calendarium*, tu proponujemy podobne *Trames Initii Calendarium* (ścieżka początku kalendarza), ponieważ po upływie roku tropikalnego ta ścieżka powinna nałożyć się na swoją poprzedniczkę (prawie nałożyć, ale o tym dalej w tekście).



Rys. 1. Fotografia prawej, lepiej zachowanej części tablicy

## Trochę historii

Intensywne badania historii, konstrukcji i przeznaczenia Tablicy były prowadzone w pierwszej dekadzie XXI w. przez grupę specjalistów, koordynowaną przez Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie. Zostały one podsumowane w zbiorze artykułów wydanym w 2013 r. [1]. Znajdujemy tam opis Tablicy i jej historię oraz hipotezy dotyczące jej konstrukcji i użyteczności dla badań astronomicznych. Wśród opublikowanych tam artykułów jest praca Jacka Szubiakowskiego [2] dotycząca konstrukcji modelu matematycznego dla obliczania drogi plamki światła słonecznego na Tablicy w ciągu szeregu dni przed i po równonocy wiosennej 1517 r. Przez odpowiednie dobranie wartości parametrów geometrycznych Tablicy udało się otrzymać bardzo dobrą zgodność wyników rachunku z danymi zarejestrowanymi na Tablicy. Widać to na rys. 2, gdzie wyniki obliczeń ruchu plamki światła słonecznego rzucanego na Tablicę są zaznaczone liniami, a wyniki obserwacji za pomocą małych kółek.



Rys. 2. Porównanie wyników obliczeń na podstawie danych z pracy [2] (linie) z wynikami obserwacji (kółka)

Te obserwacje były prowadzone w odstępach pięciodniowych w okresie zaczynającym się miesiąc przed równonocą i kończącym się miesiąc po tym zdarzeniu<sup>2</sup>. W publikacji [1] znajduje się również praca Jadwigi Dzieciatkowskiej przedstawiająca wyniki analizy barwników użytych na Tablicy. Okazało się, że mają one skład chemiczny typowy dla włoskiego malarstwa renesansowego XVI w., co dopuszcza datowanie Tablicy na jego początek.

Jednym z celów badań towarzyszących konserwacji Tablicy było dostarczenie argumentów potwierdzających, że konstruktorem Tablicy był Kopernik i że to on zebrał dane przedstawione na Tablicy, w okresie przejścia Słońca przez punkt równonocy wiosennej w 1517 r. Było to niezbędne, bo w pismach Kopernika nie znaleziono dotąd żadnej wzmianki o Tablicy. Za autorstwem Kopernika przemawia jednak kilka faktów jego biografii, przede wszystkim jego obecność na zamku olsztyńskim w latach 1516–1521 (z małą przerwą w 1519) oraz jego zaangażowanie w prace nad reformą kalendarza juliańskiego, które wymagały dokładnej znajomości długości roku. Tablica jest skomplikowanym instrumentem astronomicznym, zatem jej konstruktor musiał posiadać rozległą wiedzę matematyczną i niepospolity talent wynalazczy. Nikt, tam i wtedy, nie mógł być twórcą Tablicy poza Mikołajem Kopernikiem. Jego autorstwo nie jest obecnie kwestionowane, ale dotąd nie wiadomo, czemu miały mu służyć obserwacje prowadzone w Olsztynie w pobliżu równonocy 1517 r.

### Równonoc wiosenna – jeden z czterech magicznych punktów ekliptyki

Dzień równonocy wiosennej był celebrowany od zarania dziejów jako pierwszy dzień wiosny, ale nie miał tak dramatycznej konotacji jak przesilenie letnie i zimowe,

kiedy dni zaczynają się w sposób zauważalny skracać czy wydłużać. Było to szczególnie wyraźne dla ludów północy i stąd wzięły się tradycyjne Noce Kupały u Słowian czy Midsommarvaka u Skandynawów. Natomiast dla mieszkańców krajów południa, gdzie upał bywa latem nieznośny, powstała potrzeba orientacji budowli, tak aby rzucały cień w odpowiednim kierunku, czy miały odpowiednio usytuowane wejścia i okna. Pojawiła się też sztuka konstrukcji zegarów słonecznych – obserwowano drogę cienia rzucanego na płaszczyznę przez gnomon, którym mógł być prosty pręt odpowiednio ustawiony na płaskiej tarczy czy ścianie. Wysokie, pionowe gnomony, czy raczej obeliski, pozwalały dokładnie śledzić drogę Słońca na nieboskłonie i wówczas zaobserwowano, że czubek ich cienia kreśli krzywe linie na Ziemi, ale dwa razy w roku kreśli prostą prostopadłą do kierunku północy<sup>3</sup>. Dzieje się tak w dniach równonocy wiosennej i zimowej. Dlaczego?

Otóż w dniu równonocy oś Ziemi leży w płaszczyźnie prostopadłej do linii łączącej jej środek i środek Słońca. Zatem połowa ziemskiego globu zwrócona ku Słońcu jest wtedy równomiernie oświetlona, a na jego przeciwległej stronie panuje noc. Pół obrotu Ziemi zmienia tę sytuację na odwrotną, poprzednio nieoświetlona część Ziemi wychodzi na światło słoneczne, a na przeciwnej półkuli zapada ciemność. Obserwator na każdej szerokości geograficznej, (oznaczymy ją przez  $\varphi$  dla dalszej dyskusji), zaobserwuje wtedy, że noc i dzień trwają po 12 godzin, a światło słoneczne pada na Ziemię w płaszczyźnie lokalnego równoleżnika. Azymut wschodu Słońca wynosi wtedy  $90^\circ$  (wschód, E), a zachodu –  $270^\circ$  (zachód, W). Jak łatwo pokazać, płaszczyzna równoleżnika obserwatora jest nachylona w stosunku do jego horyzontu pod kątem  $\chi = (90^\circ - \varphi)$ , zatem  $\chi = 90^\circ$  na równiku, a  $37^\circ$  w Olsztynie (gdzie  $\varphi = 53^\circ$ ) i  $\chi = 0$  na biegunie.

Uprościmy teraz geometrię Tablicy, ustawiając ją pionowo na linii E-W i położmy w pewnej od niej odległości

2. Jeden stopień długości ekliptycznej odpowiada interwałowi czasowemu  $365,25/360 = 1,0146$  dnia/stopień. Zatem 5 stopni długości ekliptycznej odpowiada interwałowi czasowemu ok. 5,073 dnia. W większości przypadków dopuszczalne jest zaniedbanie części ułamkowej tej liczby. Dlatego w tekstach dotyczących Tablicy rozstaw linii jest podawany jako pięciodniowy lub pięciostopniowy (w zależności od kontekstu).

3. Prawdopodobnie za pomocą gnomonów orientowano budowle już w starożytności. Na przykład piramidy w Egipcie mają kwadratowe podstawy, o dwu bokach zorientowanych zgodnie z linią E-W. Dostatecznie wysokie gnomony dawały doskonałą precyzję takiej orientacji.

małe horyzontalne lustro<sup>4</sup>. Wiązka światła słonecznego odbitego od niego będzie padała na Tablicę przez cały dzień równonocy pod kątem ( $90^\circ - \varphi$ ); innymi słowy, będzie leżała w płaszczyźnie tak nachylonej do Tablicy. Z elementarnej geometrii wiadomo, że linia przecięcia dwu płaszczyzn jest prostą. Taka też będzie linia przecięcia płaszczyzny Tablicy z płaszczyzną, w której porusza się wiązka odbitego światła słonecznego – nasz „zajązek”. W dodatku, ponieważ brzeg Tablicy ma orientację E-W, na jej powierzchni zobaczymy poziomą linię o takiej samej orientacji. Kiedy Tablicę ustawimy pod innym kątem, linia przecięcia odchyli się od horyzontalnej, ale nadal pozostanie prostą. To obserwuje się na Tablicy.

Pojawienie się linii prostej wśród śladów przesuwania się plamki świetlnej na Tablicy sygnalizuje dzień równonocy wiosennej lub jesiennej, zatem z różnicy czasu pomiędzy tymi zdarzeniami można obliczyć długość roku. Wiadomo, że Kopernik brał udział w pracach nad kalendarzem zainicjowanych przez V Sobór Laterański (1512–1517). Jednak jeszcze przed przeniesieniem się do Olsztyna wysłał raport o swoich rezultatach do Watykanu<sup>5</sup>. Prawdopodobnie Kopernik wykorzystał obserwacje położenia gwiazd stałych, robione za pomocą prostych przyrządów optycznych<sup>6</sup>. Kopernik prowadził te obserwacje we Fromborku, a może wcześniej, ponieważ pisał o nich już w 1512 r. w *Komentarzyku*<sup>7</sup>, podając długość roku z dokładnością do 1/6 godz. (10 min). Jednak to Słońce rządzi porami roku i nadaje rytm zmianom ziemskiej przyrody, dlatego rok zwrotnikowy jest dla nas tak ważny. Pomiar jego długości, wykorzystujący pojawienie się dwu kolejnych linii prostych na Tablicy, mógłby być obarczony znacznym błędem, rzędu co najmniej jednego dnia, ponieważ linieienne są tam trasowane w odstępach pięciodniowych. Kopernik nie mógł

być zatem zainteresowany przyrządem, który określał długość roku mniej precyzyjnie niż inne, prostsze instrumenty astronomiczne. Można również przypuszczać, że problemami kalendarzowymi przestał się interesować z chwilą wysłania do Watykanu swojego raportu.

### Czemu mogła służyć Tablica?

Nie mamy jasnej odpowiedzi na to pytanie. Mówi się, że Tablica mogła być zegarem słonecznym, regulującym życie zamku, bo na niej są też widoczne linie godzinowe. Ta sugestia musi być odrzucona, gdyż Tablica jest umieszczona w mało widocznym miejscu, a przy tym w pewnych porach dnia znajduje się w cieniu wieży zamkowej. Mówi się też, że Tablica mogła służyć Kopernikowi jako pomoc w poglądowych prelekcjach na temat jego badań astronomicznych dla dostojników odwiedzających zamek w Olsztynie z urzędu lub może z chęci poznania sławnego już wtedy uczonego. Wydaje się to mało prawdopodobne, bo Kopernik unikał rozgłosu, poza tym pierwsze dekady wieku XVI to lata wojny w Prusach, która ograniczała tego typu kontakty.

Czy budowa Tablicy, wymagającej od konstruktora rzetelnej znajomości astronomii sferycznej, niełatwej w użyciu i w końcu kosztownej, mogła być inspirowana jakimiś przesłankami naukowymi ważnymi dla jej konstruktora? Wiadomo, że w okresie administrowania zamkiem w Olsztynie Kopernik pracował nad rękopisem *De Revolutionibus* (dalej DR). W styczniu roku 1521, w czasie wojny Polski z Zakonem zabrakło mu nawet papieru, więc prosił o dosłanie mu go z Elbląga razem z ładunkami do „hakownic”. Czy na tym etapie redakcji DR Kopernik mógł jeszcze potrzebować jakichś danych z obserwacji, w szczególności takich, które dotyczyły równonocy? Okazuje się, że tak i to zauważyli już pierwsi badacze olsztyńskiej Tablicy.

### Na czym spoczywają bieguny osi ziemskiej?

Takie pytanie postawił sobie Kopernik w *Komentarzyku* i pozostawił je bez odpowiedzi. Pojawiło się ono dlatego, że wyjaśnienie obserwacji pozornego ruchu nieba i planet oparł Kopernik na złożeniu trzech ruchów Ziemi: dobowego, orbitalnego i trzeciego ruchu zboczenia<sup>8</sup>. Obrót dobowy wyjaśniał prosto następstwo dnia i nocy, a ruch orbitalny był zgodny z obserwacjami astronomicznymi. W szczególności wyjaśniał wsteczny ruch planet obserwowany na tle firmamentu w pewnych okresach roku. Wynikał on ze względnego ruchu Ziemi i obserwowa-

4. Chodzi o to, żeby rozmiary katowe lusterka oglądanego z Tablicy były porównywalne z rozmiarami katowymi tarczy słonecznej. Większe lustro daje jaśniejsze, ale bardziej rozmyte „zajązki” na ekranie. Położenie takiego lusterka było parametrem dopasowania w programie komputerowym dla symulacji ruchów plamki światła na Tablicy.  
5. Raport Kopernika nie przetrwał do naszych czasów i nie wiadomo też, czy obserwacje Kopernika zostały spożytkowane dla opracowania nowej wersji kalendarza zwanego gregoriańskim od bulli papieża Grzegorza XIII z 1582 r., która wprowadziła ten kalendarz w życie, z obowiązkiem stosowania go w Kościele. Było to prawie 40 lat po śmierci Kopernika!

6. Tak zdefiniowany rok nazywa się rokiem gwiazdowym (syderyalnym, od łac. *sider* (gwiazdozbiór)). Kopernik wiedział, że długość roku tropikalnego ulega zmianom i dlatego proponował alternatywną miarę roku wykorzystującą pozycje gwiazd stałych, wybierając dla swoich obserwacji gwiazdę Spica (Kłos) w gwiazdozbiórze Panny. [*Kłos Panny* to tytuł pięknej książki Ludwika Hieronima Morstina o Koperniku.]

7. W *Komentarzyku* Kopernik przedstawił zarys swojej teorii heliocentrycznej [3].

8. Oś Ziemi jest nachylona w stosunku do jej orbity (ekliptyki) pod kątem ok.  $23,5^\circ$  i zachowuje niezmiennie położenie w przestrzeni jak gigantyczny żyroskop. Nachylenie to (łac. *inclinatio*) we współczesnej polskiej terminologii nazywamy inklinacją. Kopernik używał terminu zboczenie, który tu zachowujemy.

nych planet<sup>9</sup>. Było to nowe, ale wyobrażalne. Natomiast nie można było pojąć, dlaczego oś Ziemi,

„...zajmując wobec firmamentu położenie niezmiennie, wskazuje stale na te jego punkty, które nazywane są biegunami ekliptyki [...] pod kątem wynoszącym w bieżącym stuleciu 23 stopnie i pół...”

jak pisał Kopernik w *Komentarzyku* [3]. W systemie heliocentrycznym oś Ziemi powinna zachowywać niezmiennie położenie w stosunku do Słońca, zatem zataczać w ciągu roku pełne koło wokół biegunów ekliptyki i jak zapalka przyklejona ukośnie do brzegu płyty gramofonowej, zmieniać swoją orientację w przestrzeni. Gdyby tak było, nie mielibyśmy pór roku, gdyż Słońce oświetlałoby wtedy Ziemię jednakowo w każdym punkcie swojej orbity. Zatem Ziemia musi krążyć wokół Słońca z osią obrotu, która „zajmuje w stosunku do firmamentu położenie niezmiennie”, jak to ujął Kopernik. Ponieważ fizyka jego epoki nie dawała możliwości wyjaśnienia tego zjawiska, Kopernik po prostu skompensował ruch osi Ziemi, pochodzący z ruchu po orbicie, „ruchem zбочenia Ziemi” (*motus inclinationi*) w przeciwnym kierunku. W rozdziale XI księgi I DR Kopernik wyjaśnia [5]:

„ruch środka [Ziemi] i ruch zбочenia zniewalają oś ziemską do pozostania trwale w tym samym nachyleniu, jak i w równoległym zawsze położeniu”.

Trzeba pamiętać, że teorie układu planetarnego Ptolemeusza i Kopernika jedynie opisują ruchy ciał niebieskich, lecz nie wyjaśniają ich przyczyn. Ciała niebieskie zostały ręką Stwórcy osadzone na orbitach i miały na nich pozostać, aż do momentu, kiedy Jego ręka wstrzyma mechanizm Wszechświata. Wydaje się, że Kopernik tylko jeden raz odstąpił od zasady nie wdawania się w przyczynowość zjawisk astronomicznych, właśnie w opisie „ruchu zбочenia”. Mianowicie w *Komentarzyku* [3] napisał:

„Na czym spoczywają bieguny osi Ziemskiej, nie do mnie należy dociekać, taki sam objaw bowiem dostrzegam w rzeczach znacznie podrzędniejszych, choćby w tym, że pręcik żelazny potarty magnesem usiłuje przybrać zawsze ten sam kierunek w stosunku do stron świata.”

Kopernik dopuszcza zatem możliwość zachowania orientacji osi ziemskiej z jakichś innych powodów, posługując się przykładem kompasu. Szczęśliwie nie rozwija tego konceptu dalej, bo żył u progu epoki wielkich podróży, kiedy zdano sobie sprawę z różnicy pomiędzy biegunami geograficznymi i magnetycznymi Ziemi. W je-

zyku współczesnej fizyki powiedzielibyśmy, że oś ziem- ska ma stałą orientację w inercyjnym układzie odniesienia, który Kopernik wiąże z „firmamentem”, a niezmiennosc orientacji osi Ziemi w przestrzeni tłumaczymy regułą zachowania momentu pędu wirującej bryły. Tak też wyjaśniamy stabilność orientacji wrzeczona żyroskopu czy osi kręcącego się bąka<sup>10</sup>. Tego wszystkiego Kopernik nie wiedział, dlatego postulował, że [4]

„Oba bieguny Ziemi wykonują małe kółka wokół biegunów ekliptyki, których ruch ma okres prawie całoroczny, a więc z obiegiem Ziemi prawie jednakowy.”

To, że okres ruchu biegunów Ziemi jest prawie całoroczny nie jest zwrotem retorycznym. Tutaj Kopernik ma na myśli rok zdefiniowany jako czas dzielący dwie kolejne obserwacje momentów równonocy<sup>11</sup>, a te można było precyzyjnie oznaczyć, jest to bowiem moment, w którym płaszczyzna pozorowanej drogi Słońca na firmamencie (ekliptyki) przecina się z płaszczyzną równikową Ziemi, z czego wynikają pewne proste relacje geometryczne, jak to było wspomniane wyżej. Długość roku określona na podstawie momentów równonocy może być zatem obliczona dokładnie. Kopernik notuje, już w *Komentarzyku*, że oszacowania długości roku zwrotnikowego, podawane przez kilku antycznych autorów, mają znaczny rozrzut. Cytuje tu wartości uzyskane m.in. przez Hipparcha (ok. 190 p.n.e.) i Ptolemeusza (100–160 n.e.) i porównuje je z długością roku zwrotnikowego w jego stuleciu. W końcu konkluduje, że rozrzut tych danych nie pochodzi z błędów pomiarowych, lecz jest rzeczywisty i jest skutkiem cofania się punktów równonocy. Później, już w DR, napisze, że punkt równonocy przesunął się od czasów Ptolemeusza do jego epoki o 21°, co daje prędkość zmiany równą około 50,4"/rok (znak " to sekundy kątowne). Jest to bardzo bliskie obecnie przyjętej wartości 50,3"/rok. Cofanie się punktów równonocy zmusiło Kopernika do zredukowania nieco okresu „trzeciego ruchu Ziemi” w stosunku do okresu ruchu orbitalnego. Stąd wzięło się cytowane wyżej stwierdzenie Kopernika, że okres „trzeciego ruchu” jest „prawie równy” okresowi ruchu orbitalnego. W szkole nie dyskutuje się „trzeciego ruchu”, ponieważ jest to trochę zawile, a poza tym stabilność osi kręcącej się kuli jest teraz intuicyjnie zrozumiała.

Cytat dotyczący Ptolemeusza został wzięty z rozdziału XI księgi I DR [4], ale w kilku dalszych rozdziałach księgi III Kopernik rozwija dalej dyskusję „trzeciego ruchu”, zwracając uwagę na jego nieregularności. To zjawisko, które teraz łączymy z oscylacjami precesji osi ziem-

9. W obserwowanych torach planet widoczne są niekiedy pętle, tzn. przez pewien czas planeta cofa się na tle gwiazd firmamentu. Ptolemeusz wyjaśnił to przez złożenie dwóch kolistych ruchów planet: po „epicyklach” i orbitalnego ruchu ich środka po okręgu zwanym deferentem. Podobne ruchy wykonują punkty okręgu obracającego się koła.

10. Bąk mógłby być inspiracją dla Kopernika dla wyjaśnienia stałości orientacji osi Ziemi i jej precesji (co jest bardziej skomplikowane). Bąk był znany od zarania dziejów, ale być może w dzieciństwie Mikolaja toruńskie dzieci się nim nie bawiły.

11. Patrz przypis 6.

skiej, pojawia się wtedy, kiedy obrotowy ruch bryły zostaje zaburzony. Takie zachowanie wykazuje kręcący się bąk potrącony przez nieuważnego obserwatora, a w przypadku Ziemi jest to skutek oddziaływań grawitacyjnych z Księżycem lub planetami. Nie będziemy tutaj wchodzić w szczegóły tych rozważań, warto jednak podkreślić, że Kopernik był pierwszym astronomem, który je opisał, jak się okazuje, prawidłowo. Jednak sama istota „trzeciego ruchu” Ziemi pozostawała dla niego ciągle zagadką, co więcej była wyzwaniem i dlatego Kopernik poświęcił temu problemowi sporo miejsca w swoich pismach. Może uważał, że zrozumienie przesuwania się punktów równonocy mogłoby być kluczem do rozwiązania zagadki „trzeciego ruchu”? Czy w tym mogła mu pomóc Tablica?

Znowu musimy taką hipotezę odrzucić, bo Kopernik widział, jak wolny jest ruch równonocy i nie mógł się spodziewać, że dane, które mógłby uzyskać w ciągu kilku czy nawet kilkunastu lat obserwacji, mogłyby wnieść coś istotnie nowego i posunąć naprzód interpretację „trzeciego ruchu Ziemi”. Zauważmy, że dla obliczenia prędkości ruchu momentów równonocy Kopernik musiał sięgnąć do danych aż sprzed półtora tysiąca lat, tj. do *Almagestu* Ptolemeusza.

#### Rzecz o Tablicy astronomicznej na zamku w Olsztynie

Tablicę oglądamy teraz stojąc na krużganku północnego skrzydła olsztyńskiego zamku. Krużganek pochodzi z ostatnich dekad XIV wieku, kiedy zamek przebudowano i umocniono. Tam Kopernik umieścił swoją astronomiczną tablicę. Jej lokalizacja była podyktowana bliskością jego komnaty i bezpieczeństwem, umieszczona była bowiem pod dachem, który osłaniał ją od deszczu i śniegu w zimie, a w lecie ocieniał na tyle, aby słoneczny „zajaczek” był łatwy do zaobserwowania. Tablica została wykonana na tynku muru najstarszej i najsolidniejszej części zamku, na powierzchni ściany jego północnego skrzydła, ale od strony dziedzińca, gdzie tylko zabłąkane kule mogły jej zagrażać. Słowem Kopernik zadbał o długowieczność swojej Tablicy. Czy zrobił to tylko dla swoich własnych celów, czy też myślał o pozostawieniu zapisu obserwacji ruchu Słońca z jego epoki, dla porównań z obserwacjami, które w przyszłości mogliby chcieć wykonać przyszli astronomowie, podobnie jak sam zrobił używając danych Ptolemeusza? Może tak było, a do tego należało zapewnić Tablicy jak najdłuższe życie.

Ten astronomiczny instrument z cegły, wapna i zaprawy murarskiej przetrwał dzięki swojej solidności i przeżył nie tylko dwie wojny światowe, ale też kilka prymitywnych prób restauracji. W 1676 r. północne skrzydło zamku przeszło przebudowę, podczas której Tablica została „oczyszczona”, następnie pod koniec

XVIII w. zamalowano ją wapnem. Potem nikt się nią specjalnie nie interesował, a dopiero w latach 40. XX w. Ernst Zinner, profesor astronomii w bawarskim Bambergu, poświęcił Tablicy kilka publikacji. Po wojnie okazało się, że Tablica znacznie ucierpiała. Dopiero w latach 1956-1957 grupa kierowana przez Bohdana Marcinięgo przeprowadziła jej konserwację. Tablica została oczyszczona z nałożonych warstw tynku i farby, usunięto z niej elementy dodane we wcześniejszych naprawach czy rekonstrukcjach. Jak widać na rys. 1, obszary Tablicy pozbawione podłoża nie zostały uzupełnione, zgodnie z nowoczesnymi zasadami konserwacji zabytków.

W 2006 r. stworzony został międzydyscyplinarny zespół, złożony z historyków, astronomów, materiałowców i konserwatorów, dla dokładnego zbadania Tablicy. Wyniki ich prac zostały w 2013 r. zebrane w cytowanej już książce [1].

Właściwie nie wiadomo, jak przetrwała wiedza o istnieniu Tablicy, która niekiedy była pokrywana tynkiem czy farbą. Nam się wydaje to szczególnie barbarzyństwem, ale nasz pietyzm w stosunku do zabytków historycznych to rzecz względnie nowa. W XVI w. zamek był siedzibą komornictwa warmińskiego i obok Lidzbarku jedną z rezydencji biskupów Warmii. Z tego okresu pochodzi np. piękne sklepienie dawnej kaplicy zamkowej. Prawdopodobnie już na początku XVII w. Tablica zniknęła z pola widzenia – Jan Brożek, matematyk i astronom Akademii Krakowskiej nie zadał sobie trudu odwiedzenia Olsztyna w czasie poszukiwań śladów Kopernika na Warmii w 1618 r. Widocznie dwaj fromborscy kanonicy doradzający mu w wyborze celów warmińskiej kwerendy uznali, że nie ma tam czego szukać. W połowie XVII w. Warmia była okupowana przez wojska szwedzkie, ale zamek olsztyński nie jest wymieniany w tym kontekście. Po rozbiorze Rzeczypospolitej w 1772 r., zamek znalazł się pod pruskim zarządem majątków ziemskich i znajdowała się w nim także siedziba parafii ewangelickiej. Z tego okresu pochodzi pierwsza pisemna wzmianka o Tablicy. Mianowicie, część mieszkalną pierwszego piętra zajmował w latach 1783-1797 pastor ewangelicki, Heinrich Reinhold Hein, który okazał się być historykiem amatorem. W 1796 r. publikuje w *Preussisches Archiv* artykuł dotyczący pamiątek po Koperniku w zamku olsztyńskim. Hein wyjaśnia, dlaczego Kopernik znalazł się w Olsztynie i wymienia kilka przedmiotów w swoich komnatach, które miały tam pozostać po Koperniku. Nie jest to zbyt wiarygodne, natomiast nas interesuje opis pozostałości po zegarze słonecznym umieszczonym na ścianie zewnętrznej jego komnaty. Pastor objaśnia konstrukcję zegara wykorzystującą projekcję światła słonecznego przez dwa lustra, których pozycje zgaduje, zwracając przy tym

uwagę, że w pewnych okresach dnia projekcja światła na ścianę krużganka nie była możliwa. Dodaje, że w czasie jego pobytu w Olsztynie zmieniono obramowanie okna (pewnie w krużganku) i przy tej okazji usunięto dziurę, gdzie znajdowało się małe lustro oraz pisze, że „cyfry zegara [...] jako szpecące białą ścianę zostały wapnem zatarte”. Innymi słowy, gdzieś pomiędzy rokiem 1783 a 1797 Tablica została pokryta warstwą zaprawy wapiennej.

Następną wzmiankę o Tablicy znajdujemy w *Rozprawie o Koperniku* Jana Śniadeckiego opublikowanej w 1803 r. w *Rocznikach Warszawskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk*. W dodatkach do *Rozprawy...* Śniadecki cytuje list dwóch członków Towarzystwa, panów Czackiego i Molskiego, którzy dla „zebrania pamiątek zgasłej ojczyzny” odwiedzili zamek olsztyński w 1802 r. Zostali tam przyjęci przez luterańskiego pastora w komnacie, w której kiedyś mieszkał Kopernik. Opis znajdujących się tam pamiątek po Koperniku jest ubogi, a zwłaszcza rozczarowuje nas skąpość informacji o Tablicy. Pastor powiedział, że kilka pamiątek po Koperniku jego poprzednik zabrał, aby je „uchronić przed wszystko-mielącym zębem czasu”. Poza tym kazał „sześć lat dopiero [w 1796 r.] kilkunastoma cegłami dziurę w ścianie założyć”, przez którą „promienie słoneczne były wpuszczane do punktów drugiej izby”. Autorzy listu dodają „Uwaga, był to zapewne Gnomon Astronomiczny, który sobie w swém mieszkaniu sporządził Kopernik”. Zatem gnomonu panowie Czacki i Molski nie zobaczyli, a pastor też go pewnie nigdy nie widział, bo jego opis geometrii gnomonu jest bardzo niejasny. Ten poprzednik, o którym pastor mówił, to był właśnie Henryk Hein. Wydaje się jednak, że to nie on kazał zamurować dziurę w ścianie i przy okazji ładnie odmalować mur krużganka, łącznie z Tablicą, ale ktoś z sąsiedniego biura Ostpreussenslandswirtschaftsregierung. Nie będziemy tego nigdy wiedzieć, natomiast po wizycie Czackiego i Molskiego (1802), nie było w polskiej literaturze znaczących publikacji o Tablicy, aż do naszych czasów. Co jest intrygujące, o Tablicy nigdy nie wspominał Antoni Ludwik Birkenmajer, jeden z najważniejszych badaczy spuścizny Kopernika. Może nie wierzył w jej autentyczność?

### *Tabula revista*

W roku 2018, w 500. rocznicę konstrukcji Tablicy, ukazały się dwie prace na jej temat, nareszcie w czasopiśmie o międzynarodowym zasięgu ([7] w maju, a [8] w październiku).

Pierwsza z nich podsumowuje prace nad Tablicą prowadzone w latach 2013-2018, głównie na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie. Punktem wyjścia tych prac było zaproponowanie, na podstawie pomiarów istniejących elementów, realistycznego modelu układu

optycznego Tablicy i podanie jego parametrów geometrycznych oraz zaproponowanie elementów hipotetycznych. Przez odpowiedni wybór wartości parametrów układu udało się uzyskać bardzo wysoką zgodność obliczeń z wynikami obserwacji dziennego ruchu obrazu Słońca na Tablicy (rys. 2).

Okazało się przy tym, że linieienne na Tablicy są najwierniej oddane przez linie proste, a nie przez odpowiednio zorientowane hiperbole przewidziane przez teorię. Dokładniej, linie te składają się z prostoliniowych segmentów, będących prawdopodobnie wynikiem interpolacji liniowej punktów – pozycji plamki światła słonecznego naniesionych na Tablicę. Towarzyszy temu uwaga, że na powierzchni Tablicy nie ma śladów fizycznego zaznaczania wyników obserwacji. Analiza warunków oświetlenia Tablicy pokazała również, że ciągły zapis pozycji plamki światła na Tablicy nie był możliwy, mimo że zachowane fragmenty linii dziennych dają się gładko przedłużyć w linie ciągle.

W bibliografii publikacji dotyczących Tablicy zestawionej przez Pawła Sobotko [6] nie można znaleźć prac na temat obliczania momentu równonocy z danych Tablicy. Przypomnijmy, że w języku astronomii moment równonocy to moment przecięcia ekliptyki z płaszczyzną równika niebieskiego. Obserwatorzy ułożeni na różnych długościach geograficznych odnotują moment tego zjawiska w ich lokalnym czasie, zatem moment równonocy może dla nich wypaść w nocy. Jest to oczywiste, ale warto ten punkt podkreślić, w języku potocznym bowiem mówi się raczej o dniu równonocy niż o momencie równonocy.

Moment równonocy określano w epoce Kopernika z pomiaru wysokości Słońca ( $\chi$ ) w momencie jego górowania, to jest w momencie „przejścia” Słońca przez lokalny południk. Do tego służył prosty instrument, którego zasadniczą częścią była listwa pozwalająca celować w obiekt niebieski. Górny jej koniec był zamontowany na zawiasie przymocowanym do pionowej podpory, a drugi koniec listwy ślizgał się po skali stanowiącej ćwierć koła (stąd nazwa tego instrumentu – kwadrant) z podziałką w stopniach od  $0^\circ$  (horyzont) do  $90^\circ$  (zenit)<sup>12</sup>. Tak mierzony kąt pomiędzy położeniem ciała niebieskiego a płaszczyzną horyzontu nazywa się jego deklinacją (dalej  $\delta$ ). Przy starannym ustawieniu kwadrantu na linii lokalnego południka (N-S) wysokość

12. Replikę kwadrantu Kopernika można obejrzeć w Muzeum Warmii i Mazur na zamku olsztyńskim. Instrumenty astronomiczne, których używał Kopernik zostały nabyte przez Tycho de Brahe i były ozdobą jego obserwatorium w Uranienborgu. Tycho zamawiał też instrumenty astronomiczne w Gdańsku (patrz *Machina Coelestis* Heweliusza) W Uranienborgu skonstruował olbrzymi, stąd precyzyjny, kwadrant ścienny. Instrumenty kopernikańskie pewnie zniszczyły razem z Uranienborgiem, kiedy Tycho opuścił Danię.

kątowa górującego Słońca w momencie równonocy będzie równa  $\chi = (90^\circ - \varphi)$ , jak wspomniano wyżej. Jednak ta relacja jest prawdziwa wyłącznie dla obserwatorów, którzy szczęśliwym zbiegiem okoliczności znajdowali się na południku leżącym w płaszczyźnie orbity Ziemi, bo tam górowanie Słońca zbiega się z lokalnym południem. Dla innych obserwatorów obowiązuje równanie biorące pod uwagę niezerową deklinację Słońca w momencie obserwacji w okolicach lokalnego południa, gdyż dla ich szerokości geograficznej deklinacja Słońca mogła być niezerowa. Dodając  $\delta$  do prawej strony cytowanego równania, otrzymujemy,  $\chi = (90^\circ - \varphi) + \delta$ . Ponieważ deklinacja Słońca rośnie liniowo od 0 w równonocy do wartości  $23,43^\circ$  w przesileniu letnim, tzn. 90 dni później, jej dzienna zmiana ma wartość  $23,43^\circ/90 = 0,26^\circ/\text{dzień}$ . Znając ją można przekształcić  $\delta$  wyrażoną w stopniach na jej wartość w jednostkach czasu. Obserwator może zatem obliczyć prawidłowy moment równonocy odejmując/dodając od/do zmierzzonego czasu górowania Słońca poprawkę na niezerową jego deklinację w momencie obserwacji. Jak widzimy procedura ta była dość złożona, w dodatku pomiary kwadrantem były niedokładne. Dla instrumentów Kopernika ocenia się je na  $\pm 2^\circ$ . Wszystko to sumuje się na błąd wyznaczania punktu równonocy rzędu jednego dnia.

W wielu pozycjach bibliografii Sobotki [6] mówi się, że długość roku zwrotnikowego można wyznaczyć z czasu, który dzieli dwa kolejne pojawienia się prostej linii dziennej na Tablicy. Ponieważ linieienne są znaczony na Tablicy co 5 dni, taka procedura wyznaczania dnia równonocy jest bardzo nieprecyzyjna, z błędem jednego a może nawet dwu dni. Dla Kopernika było to też oczywiste i dlatego skonstruował Tablicę w nadziei, że będzie to instrument dający bardziej precyzyjne pomiary roku zwrotnikowego, niż te wykonywane kwadrantem.

We wrześniu 2017 r. Jacek Szubiakowski, wtedy asystent na Wydziale Informatyki Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, wygłosił na zjeździe Polskiego Towarzystwa Astronomicznego (PTA) referat na temat Tablicy, który został opublikowany rok później [9]. Jak można sądzić z braku cytowań, referat nie wzbudził większego zainteresowania. A szkoda, bo było to pierwsze przedstawienie metody pozwalającej na określenie momentu równonocy z danych zapisanych na Tablicy. Szubiakowski odkrył, równo 500 lat od momentu powstania Tablicy, klucz do odkodowania informacji na niej zapisanej. W pracy [7] znaleźć można rozszerzony opis procedury Szubiakowskiego [9]. A oto jej skrót:

Metoda Szubiakowskiego polegała na następującej konstrukcji geometrycznej: Na płaszczyźnie (długość ekliptyczna  $\lambda$  versus czas  $T$ ) naniesione zostały warto-

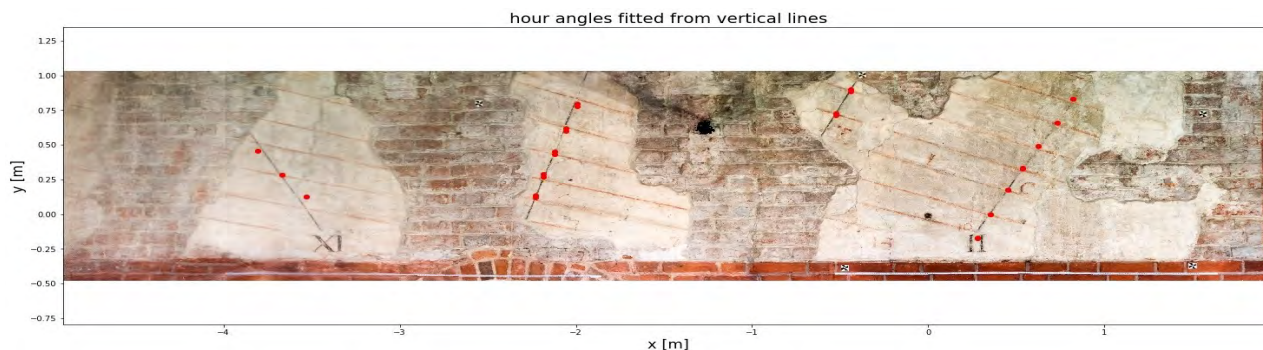
ści  $(T, \lambda)$  dla każdej linii dziennej Tablicy<sup>13</sup>. Następnie punkty  $(T, \lambda)$  leżące symetrycznie w stosunku do linii równonocy, za którą przyjęto linię nr 9 (rys. 2), połączone liniami prostymi.

Okazało się, że te linie przecinają się w jednym punkcie, którego współrzędna  $T$  odpowiada momentowi równonocy. Szczegóły tej procedury musimy pominąć, ze względu na ograniczenie objętości tego tekstu. Linii nr 9 Szubiakowski przypisał moment równonocy obliczony na 11 marca 1517 r. w kalendarzu juliańskim, o godz. 7:30'52" czasu lokalnego (LMT), której odpowiada data 21 marca, godz. 6:14'24" w kalendarzu gregoriańskim, a tej z kolei odpowiada dzień juliański JD 2275211,76<sup>14</sup>. Analiza danych Tablicy, z założeniem średniego odstępu linii dziennych [7], dała moment równonocy tego samego dnia o godz. 7:33'34", zatem o 1:10' później. Zbieżność odczytanej i obliczonej daty jest imponująca i implikuje podobną precyzję w obliczaniu długości roku. Oczywiście nie wiadomo, czy Kopernik zdawał sobie sprawę z potencjału swojego wynalazku dla chronografii. Do tego problemu wrócimy poniżej.

W pracach olsztyńskich znaleźć można próby odpowiedzi na zasadnicze pytanie, do czego miał służyć Kopernikowi olsztyński instrument. Jak wspomniano wyżej, jego solidność sugeruje chęć przekazania rezultatów obserwacji z XVI w. przyszłym generacjom astronomów. Warto zauważyć, że jesteśmy już beneficjentami tej informacji, mianowicie moment równonocy w 2021 r. miał miejsce 21 marca o godz. 10:36'. Zatem od czasów Kopernika moment równonocy przesunął się o ok. 6-7 godzin. Przy założeniu rocznego przesunięcia punktu równonocy kąt 50,3" możemy obliczyć, że od momentu pomiarów na Tablicy do dziś (500 lat) punkt równonocy przesunął się o wartość 6,9°, tj. o ok. 7 godzin. Tak duża zgodność wyników rachunku z danymi pomiarowymi,

13. W formalizmie JD czas jest liczony od 1 stycznia 4713 r. p.n.e. w pełnych dniach i ich ułamkach dziesiętnych; np. moment równonocy wiosennej roku 2021 przypadł na 21 marca o 10:36', co jest równoważne dacie JD 2459294,941. Użycie liczby rzeczywiście z ułamkiem jest prostsze i wygodniejsze dla obliczeń niż tradycyjny zapis kalendarzowy. Zapis w JD jest obecnie używany w astronomii, lotnictwie i kosmonautyce. Przeliczenia dat kalendarzowych można znaleźć na stronie <https://www.fourmilab.ch>

14. W pracach [7] i [9] momenty równonocy są podawane w formacie dni juliańskich (skrót JD od ang. *Julian Day*) tu JD 2275221,76. W tym formalizmie czas jest liczony od 1 stycznia 4713 r. p.n.e. w pełnych dniach i ich ułamkach dziesiętnych. Uwaga, w pracy [9] jest użyty zapis dat w kalendarzu juliańskim, który wprowadził Juliusz Cezar w 45 r. p.n.e. Nie należy go mylić z formalizmem Okresu Juliańskiego! Kalendarz juliański obowiązywał w Europie do r. 1582, tj. do inauguracji kalendarza gregoriańskiego. W rok później Joseph-Juste Scaliger wprowadził numerację lat w Okresie Juliańskim dla upamiętnienia tym swojego ojca, Juliusza-Cezara Scaligera. Może był to złośliwy żart kalwina w celu zdeorientowania papistów?



Rys. 3. Dopasowanie obliczeń modelu Grasshoffa i Fischera [8] (kółka) do linii godzinowych Tablicy zostało zrobione w czasie lokalnym południka położonego o 1/2 godz. na zachód od Olsztyna

może w części przypadkowa, daje przeświadczenie, że Tablica spełnia nadzieje w niej położone.

### Nowe spojrzenie

Nieco później w 2018 r. ukazała się praca Grasshoffa i Fischera z Berlina [8], w której zaproponowano zupełnie nowe podejście do metody zapisywania danych na Tablicy. Niestety opis metody w cytowanej publikacji jest bardzo skrótowy, więc poniższa dyskusja jest jej rekonstrukcją według podanego przez autorów szkicu. Grasshoff i Fischer postulują, iż krzywe dzienne przedstawione na Tablicy nie zostały nakreślone drogą bezpośredniego zaznaczenia pozycji plamki światła słonecznego na powierzchni Tablicy podczas całodziennych obserwacji. Proponują inną metodę, polegającą na połączeniu bezpośredniej obserwacji pozycji plamki światła na Tablicy z geometrycznym powielaniem otrzymanych danych na jej innej części. Całość tak otrzymanej sieci punktów została następnie poddana procedurze symulacji komputerowej, z zachowaniem podstawowych elementów geometrycznych Tablicy ustalonych w pracach Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego (UWM) [1].

Podstawowym *novum* podejścia Grasshoffa i Fischera [8] było założenie, że linie godzinowe na Tablicy nie odnoszą się do czasu lokalnego, tj. południka Olsztyna, lecz do czasu południka leżącego od niego na zachód<sup>15</sup>. Okazało się, że obliczenia dla południka leżącego o pół godziny ( $7,5^\circ$ ) na zachód od Olsztyna bardzo dobrze odwzorowują linie godzinowe Tablicy, jak to widać na rys. 3.

Autorzy nie wyjaśniają, dlaczego Kopernik przyjął taką procedurę, a dla nich przesunięcie na zachód południka odniesienia wynikało z procedury matematycznej symulacji danych Tablicy.

15. Przypomina to używanie czasu słonecznego południka Greenwich (GMT) jako odnośnika do pomiarów czasu i długości geograficznej. W dyskutowanym przypadku południk godzinowy leżałby około 500 km na zachód od Olsztyna. Na jego szerokości geograficznej byłoby to w Holandii (!). Na nim nie ma też żadnych miejscowości, które byłyby związane z życiem Kopernika. Zatem południk odniesienia jest tu tylko elementem dopasowania matematycznego.

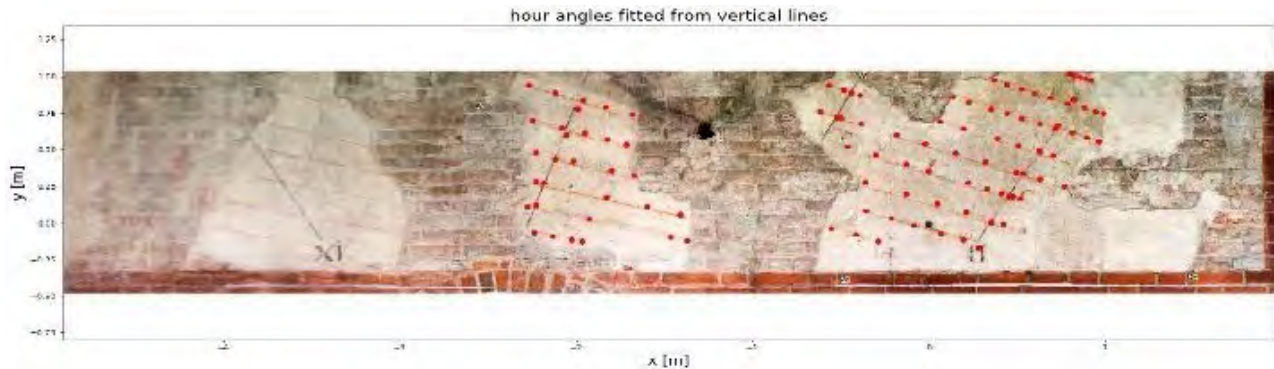
Następnym nowatorskim krokiem berlińskich autorów było wspomniane wyżej założenie, że linie dzienne na Tablicy nie były rezultatem bezpośredniej obserwacji położenia plamki światła słonecznego w ciągu każdego z 14 dni obserwacji. Te, jak pamiętamy, były robione co 5 dni, zatem w ciągu prawie dwu wiosennych miesięcy planowanych obserwacji musiały się pojawiać okresy bezsłonecznej pogody. Rozwiązaniem pozwalającym na ciągłość zapisu danych była, zdaniem autorów, procedura stanowiąca kombinację bezpośrednich obserwacji z ręcznym przetwarzaniem danych.

Scenariusz takiej procedury mógłby być następujący: Obserwator zaczyna konstrukcję Tablicy od wytyczenia linii godzinowych<sup>16</sup>. Kopernik mógł to robić zawczasu, w okresie poprzedzającym wiosnę 1517 r. Ponieważ linie godzinowe są proste, dla wyznaczenia każdej z nich wystarczyło zaznaczyć dwa punkty, zatem nie był to zabieg ani pracochłonny, ani trudny. Następnie w określonym dniu programu obserwacji należało zaznaczyć na Tablicy punkt przejścia plamki światła słonecznego przez jedną z linii godzinowych, co mogło być notowane z dokładnością do kilku minut<sup>17</sup>. Stał się on punktem odniesienia dla generacji innych punktów przecięcia linii dziennych z wybraną linią godzinową. Do tego potrzebna jest znajomość rozstawu linii dziennych na Tablicy, nazwijmy go  $\Delta_d$ . Tej wartości nie można obliczyć, ale można ją wyznaczyć z obserwacji. W tym celu obserwator musi zaznaczyć pięć dni później (jeśli pogoda sprzyjała) moment przejścia plamki światła przez linię godzinową, na której

16. Należy tu podkreślić, że jest to pierwszy w historii gnomoniki słoneczny zegar odbiciowy. Przypisuje się niesłusznie, jego odkrycie Newtonowi. Geometria heliografu Newtona była nieco prostsza, bo rzucał on „zajączka” na sufit komnaty i godziny odczytywał z jego pozycji na tle poprzednio sporządzonej sieci linii godzinowych.

17. Problem mierzenia czasu był także istotny dla określenia długości roku. Już wówczas używano mechanicznych zegarów (z mechanizmem zapadkowym), ale były nieprecyzyjne. Można było temu zaradzić przez regularne nastawianie wskazań zegara na lokalny czas słoneczny. Prawdopodobnie zegar wieżowy był już [wówczas] w Olsztynie. Istniały wtedy również zegary przenośne i Kopernik mógł taki właśnie mieć i dbać o jego właściwe wskazania, potrzebne do obserwacji astronomicznych, jak np. w przypadku Tablicy.





Rys. 4. Symulacja linii dziennych Tablicy w prawej, lepiej zachowanej jej części [8]

leżał punkt odniesienia. Odległość nowego punktu do punktu odniesienia była szukaną wartością  $\Delta_d$ . Następne punkty przecięcia linii dziennych z wybraną linią godzinową można uzyskać przez ręczne zaznaczenie na niej punktów odległych o wielokrotności  $\Delta_d$  od punktu odniesienia. Do tego nadawał się doskonale cyrkiel, który był wtedy w powszechnym użyciu. Procedurę tę należało powtórzyć dla innych linii godzinowych, aż do uzyskania możliwie pełnej sieci przecięć linii godzinowych z dziennymi, w której maksymalna liczba węzłów wynosiłaby  $14 \times 4 = 56$ . Węzły tak zbudowanej sieci zostały następnie połączone prostymi odcinkami, za pomocą „mocno naciągniętego sznura”, jak piszą autorzy omawianej metody. Procedura ta ma kilka zalet, po pierwsze pozwalała na rekonstrukcję danych, które były nieosiągalne z powodu zamurzenia czy innych przyczyn, a po drugie była mniej czasochłonna w porównaniu z zapisem pozycji plamki świetlnej w ciągu każdego dnia obserwacji, ponieważ wymagała zaznaczenia tylko części ze wszystkich 56 punktów przecięć linii dziennych z liniami godzinowymi. Elementy linii dziennych pomiędzy punktami przecięć były uzupełniane liniową interpolacją, o której mówią praktycznie wszyscy badacze Tablicy. Metoda proponowana przez Grasshoffa i Fischera ma podstawową słabość, mianowicie jej autorzy musieli założyć jakąś regułę przeliczania 5 stopniowej różnicy długości ekliptycznej Słońca na rozstaw linii dziennych Tablicy  $\Delta_d$ . Powyżej była mowa o doświadczalnym wyznaczeniu  $\Delta_d$  z jednego pomiaru, ale ta wartość mogła też być średnią kilku pomiarów<sup>18</sup>. Zwróćmy też uwagę, że  $\Delta_d$  nie ma jednakowej wartości na całej Tablicy jednak rozstaw linii dziennych zmienia się wolno (rys. 2), zatem przyjęcie wartości średniej dla  $\Delta_d$  może nie mieć poważnych konsekwencji zarówno dla dokładności zapisu danych na Tablicy, jak i dla obliczania momentu równonocy. Grasshoff i Fischer [8] podkreślają, że zaproponowana przez nich metoda zapisu danych na Tablicy powinna być dokładniejsza niż metoda bezpośredniego zaznaczenia linii dziennych, gdyż błąd

zapisu lateralnego położenia plamki światła słonecznego na Tablicy był zanedbywalnie mały. Ich obliczenia mają charakter matematycznej symulacji danych, co osiąga się przez odpowiedni dobór wartości parametrów modelu. Obliczenia odzwierciedlają bardzo dobrze przebieg zarówno linii godzinowych, jak i dziennych Tablicy (rys. 4).

Autorzy pracy nie dyskutują możliwych zastosowań Tablicy do studiów astronomicznych, a w szczególności do znajdowania momentu równonocy. Tę część znajdujemy w pracy Szubiakowskiego [9] poprzedzającej o dwa lata ich publikację.

Jeżeli Tablica, jaką teraz widzimy, jest produktem bardziej precyzyjnego zapisu danych niż dotąd zakładano, możemy zrozumieć, dlaczego metoda krzyżujących się linii Szubiakowskiego dała jeden wspólny punkt ich przecięcia, jak to opisano wyżej.

Wcześniej, w części *Tabula revista* postawione zostało pytanie, czy Kopernik zdawał sobie sprawę z dokładności zapisów Tablicy. Nie możemy na nie odpowiedzieć. Kopernik skonstruował Tablicę dla obserwacji pozornego ruchu Słońca w otoczeniu momentu równonocy i najprawdopodobniej liczył na to, że Tablica stanie się instrumentem astronomicznym pozwalającym na jego precyzyjne wyznaczenie. Czy znalazł sposób dokładnego odczytu momentu równonocy z danych Tablicy? Trudno przypuszczać, żeby miał do swojej dyspozycji aparat matematyczny, a raczej geometryczny, jaki został naszkicowany powyżej. Z drugiej strony, nie sposób przyjąć, że Kopernik ze swoim doświadczeniem astronoma i obserwatora mógł przystąpić do budowy Tablicy bez jasnego schematu interpretacji jej danych. Może miał tego zarys, który okazał się błędnym i może dlatego nie wspominał o Tablicy w swoich pismach?

Jaka była zatem motywacja Kopernika do konstrukcji Tablicy? Pamiętamy, że w zasadzie przestał zajmować się problemami długości roku jeszcze przed przeniesieniem się do Olsztyna. Był to rok 1515 lub 1516, Kopernik mieszkał stale we Fromborku i stamtąd posłał do Rzymu raport o pomiarach długości roku, o czym było wyżej. Wiedział jednak, że prace nad kalendarzem są kontynuowane w Rzymie i było dla niego jasne, że wykorzysta-

18. Aczkolwiek, nie jest pewne czy pojęcie średniej istniało w epoce Kopernika.

wane tam dane nie były dokładne. Do takich należała długość roku tropikalnego, więc Kopernik postanowił poświęcić temu problemowi jeszcze trochę czasu zważywszy, że poprzednio w te studia bardzo się angażował. Szybkość z jaką zrealizował konstrukcję Tablicy po przyjeździe do Olsztyna wskazuje, że już wcześniej nosił się z projektem jej konstrukcji i miał przemyślane szczegóły jej budowy oraz sposobu użytkowania. W ciągu dwu miesięcy obserwacji, które, jak pokazaliśmy, nie były specjalnie czasochłonne, Kopernik otrzymał zapis pozornego ruchu Słońca w pobliżu wiosennej równonocy 1517 r., z którego spodziewał się obliczyć długość roku tropikalnego. Wtedy okazało się, że nie znalazł odpowiedniej procedury dla obliczenia momentu równonocy z danych Tablicy. Nie było zatem sensu pisać o tych pracach do Rzymu, ani je gdziekolwiek drobiazgowo opisywać.

Na dalszą pracę nad tym problemem nie było też czasu, bo zbliżała się wojna, w której Kopernik odegrał, może nieoczekiwanie dla siebie samego, ważną rolę administratora największej twierdzy na Warmii, czyli zamku w Olsztynie. W takich sytuacjach zmieniają się diametralnie priorytety i problem długości roku musiał odsunąć się na dalszy plan. W ciągu kilku powojennych lat Kopernik pełni dalej szereg funkcji administracyjnych, gdyż tego wymagała potrzeba chwili. Dokonuje 45 wyjazdów lokacyjnych na wieś, ponieważ wiele gospodarstw zostało opuszczonych. Zaczyna rozumieć ekonomię i rolę pieniądza, stąd jego *Traktat o monecie* z 1522 r., w którym formułuje słynne „zła moneta wypiera lepszą” uprzedzając w tym Tomasza Gershama o przeszło pół wieku. Przedstawia nieco później projekt reformy monetarnej, która mogłaby połączyć gospodarkę Prus i Rzeczypospolitej. Niestety do niej nie doszło – miasta pruskie wolały bić własną monetę.

Ponownie astronomią Kopernik zajmie się dopiero po powrocie do Fromborka, w latach 30. XVI w. Tablica pozostała w Olsztynie z zakodowanym zapisem momentu równonocy 1517 r. Do tego problemu Kopernik nie miał nigdy powrócić, prawdopodobnie dlatego, że ciągle nie widział możliwości odkrycia sekretu Tablicy. Wolał też nie wspominać o tym epizodzie w swoich papierach, bo byłoby to przyznaniem się do porażki, nieistotnej w końcu z perspektywy jego pracy nad Układem Słonecznym. Kopernik być może stracił w naszych oczach aureolę nieomyślności, ale przez to stał się nam bliższy.

W 2023 r. przypada 550 rocznica urodzin Kopernika i z tej okazji odbędzie się sympozjum naukowe o działalności Kopernika, współorganizowane przez uniwersytety UMK i UWM. Będzie to też okazja do afirmacji poglądu, iż Kopernik rzeczywiście był autorem Tablicy, to bowiem potwierdzają wszystkie nowsze badania. Tablica jest cennym śladem ręki Kopernika i świadectwem jego niezwykłej kreatywności. Sympozjum kopernikańskie będzie też okazją do bezpośredniej konfrontacji poglądów na

konstrukcję i przeznaczenie Tablicy. Miejmy nadzieję, że zostaną wyjaśnione przy tym nierozwiązane jeszcze problemy jej konstrukcji oraz analizy.

### Podziękowania

Panom Jackowi Szubiakowskiemu i Gerdowi Grasshoffowi dziękuję za pozwolenie na wykorzystanie w tym artykule rysunków z ich prac i za pomocne komentarze, a pierwszej czytelniczce tego tekstu, mojej żonie Wisi za cierpliwe poprawki. Natalce Blinowskiej jestem wdzięczny za przysłanie mi wielu skanów trudno dostępnych publikacji.

### Bibliografia

- [1] *Tablica astronomiczna Mikołaja Kopernika na zamku w Olsztynie, stan badań* (pr. zb.), Elżbieta Jelińska (red.), autorzy: Janusz Cygański, Jerzy Miałdun, Jacek Szubiakowski, Justyna Dzieciatkowska, Muzeum Warmii i Mazur, Olsztyn 2013.
- [2] Jacek Szubiakowski „Astronomiczny aspekt badań słonecznej tablicy obserwacyjnej na olsztyńskim zamku” w [1] s. 61–88.
- [3] *Komentarzyk* (łac. *Commentarius*) został napisany przez Kopernika w Lidzbarku ok. 1512 r. Jest to krótkie omówienie założeń heliocentrycznej teorii układu planetarnego (w szczególności fragment z części „O pozornych ruchach Słońca”), ogłoszonej później w [4].
- [4] *De Revolutionibus* (1543) (DR). Cytaty tu i dalej przytaczane są zaczerpnięte z: M. Kopernik *O obrotach ciał niebieskich* tłumaczenie z j. łac. na jęz. pol. Jan Baranowski (1854) w opracowaniu A. Birkenmajera (1953), Wydawnictwo Jirafa Roja, 2009.
- [5] Fragment Rozdziału XI „Rozważania trojkiego ruchu Ziemi” w [4].
- [6] Bibliografia prac na temat Tablicy została opublikowana przez Pawła Sobotko w: *Komunikaty Mazursko-Warmińskie*, 4 (286), 539 (2014).  
Nowsze prace o budowie i funkcjonowaniu Tablicy były w większości publikowane w czasopiśmie o znacznie mniejszym zasięgu niż cytowane poniżej z 2018 r.
- [7] J.P. Szubiakowski, J. Włodarczyk, „The Solar Dial in the Olsztyn Castle: its construction and Relation to Copernicus” *J. Hist. Astron.* 49 (2), 158-195 (maj 2018).
- [8] G. Grasshoff, G. Fischer „Copernicus’s Heliograph at Olsztyn: The 500th Anniversary of a Scientific Milestone” *Ann Phys. (Ber.)* 1800196, 11 (październik 2018).
- [9] J.P. Szubiakowski, „Nicolaus Copernicus’s gnomonic array for Sun observation”, *Proc. PTA* 7, 371–376 (2018).