

Katedra i Zakład Chemii Leków  
Uniwersytet Medyczny w Lublinie, ul. Jaczewskiego 4, 20-090 Lublin  
e-mail: lukasz.komsta@umlub.pl

ŁUKASZ KOMSTA

## **Rewizja matematyczna siatki geobotanicznej ATPOL – propozycja algorytmów konwersji współrzędnych**

ATPOL geobotanical grid revisited – a proposal of coordinate conversion algorithms

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia aktualnie sygnalizowane wątpliwości dotyczące korzystania z siatki geobotanicznej ATPOL, w szczególności brak jasno zdefiniowanego algorytmu przeliczania współrzędnych geograficznych na pole siatki. Zaprezentowano wyniki analiz matematycznych oryginalnej tabeli współrzędnych. Z analiz wynika, że siatka ATPOL zbudowana jest z kwadratów wykreślonych na mapie o odwzorowaniu stożkowym. Wyprowadzono i podano zunifikowane sposoby konwersji pomiędzy współrzędnymi geograficznymi i siatką ATPOL wraz z prostą implementacją w języku R. Wyniki tej analizy i podany algorytm pozwalają na proste i jednoznaczne korzystanie z systemu ATPOL oraz dodanie tej siatki do dowolnego oprogramowania komputerowego.

**Słowa kluczowe:** ATPOL, geobotanika, konwersja współrzędnych, algorytmy

### WSTĘP

Badania nad rozmieszczeniem roślin oraz zbiorowisk roślinnych wymagają dokładnego określenia ich położenia geograficznego. Do końca XX w. powszechną praktyką było korzystanie z jak najdokładniejszych map topograficznych [Gooding i in. 1997]. Sytuacja zmieniła się z początkiem XXI w., gdy system nawigacji satelitarnej GPS zaczął oferować pełną dokładność każdemu zainteresowanemu. Satelitarne określanie położenia stało się wówczas powszechną praktyką [Hulbert i French 2001]. Szeroka dostępność odbiorników GPS i innych satelitarnych systemów geolokalizacji umożliwia dokładny pomiar współrzędnych geograficznych każdemu zainteresowanemu badaczowi.

Projekty naukowe dotyczące rozmieszczenia roślin operują podziałem terenu kraju na pola, a każde znalezisko jest przypisywane do określonego pola. Obecnie takim standardem dla terytorium Polski jest ATPOL. Jest to siatka opracowana na wzór podobnego systemu angielskiego w latach 70. [Zajac 1978, Zajac 1978b] dla „Atlasu rozmieszczenia

roślin naczyniowych w Polsce”. Obejmuje ona obszar  $700 \times 700$  km, podzielony na 49 dużych pól o wymiarach  $100 \times 100$  km oznakowanych literowo. Każde z nich dzieli się na 100 mniejszych obszarów o wymiarach  $10 \times 10$  km, oznaczonych cyfrowo. Oznakowanie każdego mniejszego pola  $10 \times 10$  km składa się z litery pasa południkowego, litery pasa równoleżnikowego, a następnie cyfr oznaczających mniejszy kwadrat wewnątrz tego większego, podanych w odwrotnej kolejności. Na przykład przez miasto Lublin przechodzi zarówno granica pasów równoleżnikowych, jak i południkowych, a więc cztery części miasta znajdują się w polach FE27, FE28, FE37 oraz FE38.

Dokładniejsze określenie położenia jest możliwe poprzez kolejny podział kwadratu  $10 \times 10$  km na mniejsze pola, najczęściej jest to analogiczny podział na pola  $1 \times 1$  km i dodanie do kodu położenia dwóch kolejnych cyfr. Spotyka się również podział na pola  $2 \times 2$  km i dodanie dwóch kolejnych cyfr z zakresu 0–4, z wyraźnym zaznaczeniem sposobu podziału.

Rozpowszechnienie systemów GPS spowodowało zapotrzebowanie na umiejętność określenia pola ATPOL na podstawie dokładnych współrzędnych geograficznych. Instytut Botaniki UJ<sup>1</sup> [2002] opublikował na swojej stronie tabelę współrzędnych narożników wszystkich pól ATPOL znajdujących się w granicach Polski i jest to obecnie podstawowe źródło referencyjne do przypisywania określonych miejsc geograficznych do kwadratów siatki. Linie graniczne pasów równoleżnikowych i południkowych są w tej tabeli wyraźnie zakrzywione w stosunku do geograficznych równoleżników i południków, dlatego też narożniki każdego pola mają unikalne współrzędne geograficzne. Zależności pomiędzy współrzędnymi geograficznymi a siatką ATPOL, jak również założenia jej wygenerowania nie są publicznie dostępne. Wiadomo jedynie [Zajac 1978], że oryginalna siatka została wykreślona na współcześnie dostępnych mapach.

Jedynym obecnie działającym publicznym kalkulatorem pól ATPOL jest oprogramowanie opracowane przez Snowarskiego [2005]. Ze względu na brak możliwości matematycznego (analitycznego) odtworzenia siatki ATPOL, algorytm Snowarskiego bazuje na współrzędnych narożników przeniesionych z tabeli. Kalkulator traktuje odcinki pomiędzy narożnikami jako linie proste na płaszczyźnie i sprawdza, wewnątrz którego czworokąta leży podane miejsce. Ze względu na pewne zakrzywienie rzeczywistych linii granicznych pól możliwe jest błędne przypisanie znalezisk leżących bardzo blisko granicy pomiędzy polami.

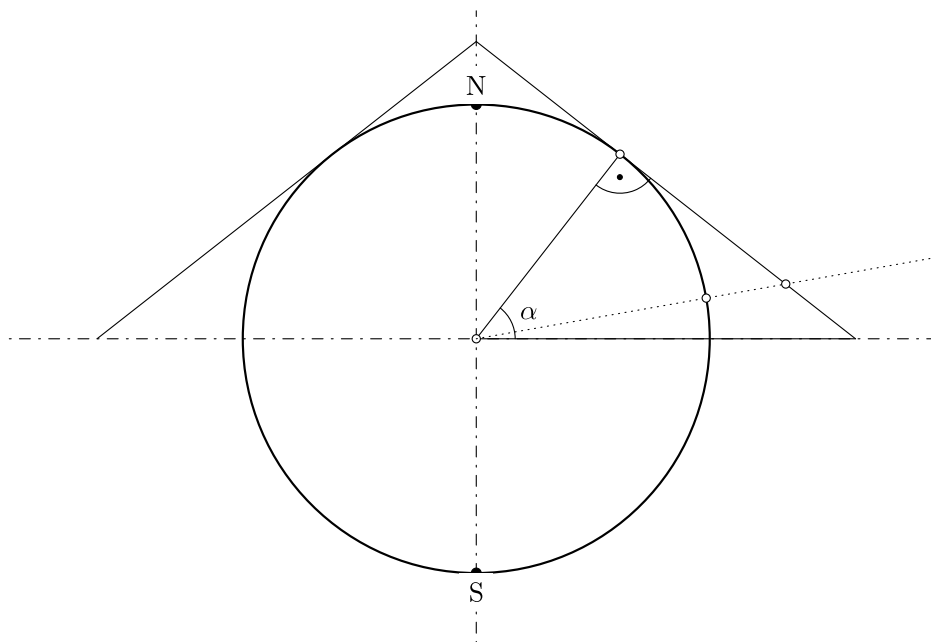
Brak analitycznych (matematycznych) formuł przeliczania współrzędnych i konieczność uproszczonej interpolacji tabelarycznych danych stają się bardzo istotne przy szczegółowym oznaczeniu położenia geograficznego i tendencji do podziału oryginalnych pól ATPOL na mniejsze pola o wymiarach  $1 \times 1$  km. Stanowiło to główne pobudki do szczegółowej analizy tej siatki, odtworzenia sposobu jej powstania oraz opracowania odpowiedniego algorytmu przez autora niniejszej publikacji. Efekt tych prac daje możliwość prostego wbudowywania siatki ATPOL w istniejące oprogramowanie w sposób niebudzący wątpliwości co do dokładności przeliczania.

---

<sup>1</sup> Data publikacji tej tabeli określona została na podstawie archiwum [web.archive.org](http://web.archive.org).

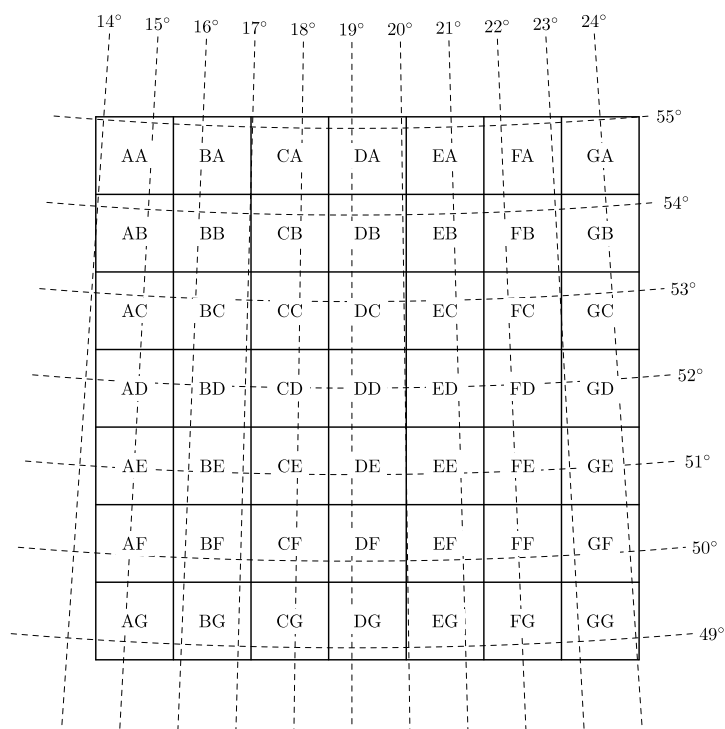
## ANALIZA SIATKI ATPOL

Analizę współrzędnych siatki ATPOL według oryginalnej tabeli Instytutu Botaniki UJ [2002] prowadzono w oprogramowaniu GNU R 3.2.1 z zastosowaniem wbudowanych funkcji oraz pakietu „mapproj” zawierającego funkcje różnych odwzorowań geograficznych. Stwierdzono, że siatka ATPOL jest zbiorem kwadratów na mapie odwzorowania stożkowego (rys. 1) z punktem styczności stożka na szerokości geograficznej 52°N. Centralnym południkiem tego odwzorowania jest południk 19°E (rys. 2). W skalowaniu siatki przyjęto promień Ziemi równy 6390 km. Punkt 52°N 19°E jest początkiem układu współrzędnych mapy. Odpowiada on odległości 330 km na wschód od zachodniej granicy oraz 350 km na południe od północnej granicy siatki ATPOL (otaczają go pola DD42, DD43, DD52 i DD53). Błędy pomiędzy tak przyjętym odwzorowaniem a oryginalną tabelą są mniejsze niż sekunda kątowa i wynikają jedynie z zaokrąglenia.



Rys. 1. Przekrój przez Ziemię obrazujący odwzorowanie stożkowe z punktem styczności stożka przy szerokości geograficznej  $\alpha$  (w przypadku siatki ATPOL  $\alpha = 52^\circ\text{N}$ ). Linia kropkowaną zaznaczono rzutowanie przykładowego punktu o szerokości geograficznej  $10^\circ\text{N}$

Fig. 1. Cross-section of the Earth reflecting the conical mapping with the contact point of the cone with the latitude  $\alpha$  (in the case of ATPOL grid  $\alpha = 52^\circ\text{N}$ ). A dotted line indicates projection of an exemplary point with the latitude of  $10^\circ\text{N}$



Rys. 2. Siatka ATPOL na tle współrzędnych geograficznych. Południk 19°E jest centralnym południkiem odwzorowania (przedstawia na mapie linię pionową, równoległą do siatki)

Fig. 2. ATPOL grid against the geographical coordinates. Meridian 19°E is the central meridian of the mapping (it presents a vertical line parallel to the grid)

#### ALGORYTM PRZELICZANIA WSPÓLRZĘDNYCH

Zdefiniujemy współrzędne w układzie ATPOL  $x$  i  $y$  jako odległość po siatce w km na wschód od jej zachodniej granicy ( $x$ ) oraz odległość na południe od granicy północnej ( $y$ ). Zatem  $(0, 0)$  jest północno-zachodnim rogiem pola AA00, zaś  $(700, 700)$  jest południowo-wschodnim rogiem pola GG99.

Aby uzyskać współrzędne ATPOL ze współrzędnych geograficznych ( $\varphi, \lambda$ ) wyrażonych jako szerokość północna i długość wschodnia w stopniach, należy wykonać następujące kroki:

1. Wycentrować długość geograficzną wokół południka 19°E poprzez odjęcie tej wartości od danej długości geograficznej.
2. Obliczyć  $r = \cos(\alpha)/\sin(\alpha) - \tan(\varphi - \alpha)$ , gdzie  $\alpha = 52^\circ$  (szerokość geograficzna styku stożka).
3. Obliczyć  $x = r \times \sin(\lambda \sin(\alpha))$  oraz  $y = r \times \cos(\lambda \sin(\alpha)) - \cos(\alpha)/\sin(\alpha)$ .
4. Otrzymane współrzędne  $x$  i  $y$  są podane w radianach. Należy je pomnożyć przez promień ziemi równy 6390 km celem otrzymania współrzędnych w kilometrach.
5. Współrzędną  $x$  zwiększyć o 330 km, a współrzędną  $y$  o 350 km, aby otrzymać odległości na mapie względem północno-zachodniego narożnika siatki ATPOL.

Algorytm konwersji odwrotnej przebiega następująco:

1. Zmniejszyć współrzędną  $x$  o 330 km, a współrzędną  $y$  o 350 km, przenosząc początek układu do początku układu mapy.
2. Podzielić otrzymane współrzędne przez promień Ziemi równy 6390 km, otrzymując współrzędne w radianach.
3. Zwiększyć współrzędną  $y$  o wartość  $\cos(\alpha)/\sin(\alpha)$ , gdzie  $\alpha = 52^\circ$  (szerokość geograficzna styku stożka).
4. Obliczyć długość geograficzną z wzoru  $\lambda = \text{atan}(x/y)/\sin(\alpha)$ . Otrzymaną wartość zwiększyć o  $19^\circ$ .
5. Obliczyć odległość od początku układu współrzędnych z wzoru  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ .
6. Obliczyć szerokość geograficzną z wzoru  $\varphi = \alpha - \text{atan}(r - \cos(\alpha)/\sin(\alpha))$ .

#### PRZYKŁAD IMPLEMENTACJI ALGORYTMU W R

Przykładową implementację opracowano w języku R, przy czym algorytm jest łatwy do przeniesienia do dowolnego języka programowania. Funkcja „atpol” dokonuje najpierw konwersji na współrzędne ATPOL, a następnie przelicza te współrzędne na symbol pola ATPOL o boku  $1 \times 1$  km:

```
atpol <- function (f,l)
{
  l <- l - 19
  l <- l/180*pi
  f <- f/180*pi
  a <- 52/180*pi
  r <- cos(a)/sin(a) - tan(f-a)
  x <- r * sin(l * sin(a))
  y <- r * cos(l * sin(a))
  Y <- y - cos(a)/sin(a)
  x <- x * 6390 + 330
  Y <- Y * 6390 + 350
  x1 <- (x %/% 100) + 1
  y1 <- (Y %/% 100) + 1
  x <- x %% 100
  Y <- Y %% 100
  x2 <- (x %/% 10)
  y2 <- (Y %/% 10)
  x <- x %% 10
  Y <- Y %% 10
  x3 <- (x %/% 1)
  y3 <- (Y %/% 1)
  re-
  turn(paste0(LETTERS[x1],LETTERS[y1],y2,x2,y3,x3))
}
```

## DYSKUSJA I WNIOSKI

Chociaż najprostszą siatką byłyby pola oparte na równoleżnikach i południkach, ich rozmiar oraz powierzchnia zmieniałyby się wtedy istotnie wraz ze zmianą szerokości geograficznej (południki zbliżają się do siebie w miarę jej wzrostu). Trzeba jednak podkreślić, iż nie jest możliwe pokrycie sfery lub jej fragmentu kwadratowymi polami o jednakowych wymiarach i jednakowej powierzchni, podobnie jak nie jest możliwe uszycie kulistej piłki z kwadratowych kawałków skóry. Siatka kwadratowych pól może istnieć wyłącznie na płaskiej mapie w jakimś odwzorowaniu. Na powierzchni sfery (Ziemi) wystąpią wtedy niewielkie różnice w odległościach, powierzchniach i zakrzywieniach granic pasów siatki, zależne od przyjętego odwzorowania. O ile w badaniach opartych na mapach topograficznych problem ten mógł być zaniedbany, o tyle różnice stają się istotne i widoczne w przypadku operowania współrzędnymi z dokładnością GPS. Dlatego celowo w artykule stosowane jest określenie „pole ATPOL” (niektórzy autorzy stosują również termin „jednostka badawcza”) zamiast „kwadrat ATPOL”. Pole ATPOL jest kwadratem wyłącznie na modelowej mapie odwzorowanej stożkowo.

Według wszystkich informacji posiadanych przez autora nie istniały jakiegokolwiek mapy topograficzne opracowane w odwzorowaniu stożkowym centrowanym na południku 19°E, wszystkie mapy zaś wydawano w oparciu o różne układy współrzędnych, najczęściej strefowo w odwzorowaniu quasi-stereograficznym lub Gaussa-Krugi (będącym specjalnym przypadkiem odwzorowania Mercatora). Zając [1978b] w opisie założeń metodycznych siatki ATPOL ogranicza się do opisu: *Za podstawę przyjęto skorygowany do map kartograficznych Polski wydany przez Wojskowy Instytut Geograficzny w roku 1946 w skali 1:500000. (...) Siatkę przeniesiono na komplet map wojewódzkich (Warszawa, PPWK) w skali 1:100000 według nowego podziału administracyjnego. Według informacji uzyskanych w Instytucie Botaniki UJ siatkę kreślono na dostępnych wówczas mapach ręcznie, a dodatkowe błędy powstawały w przypadku kopiowania (odrysowywania) siatki ATPOL na innych mapach na podstawie pewnych obiektów jako miejsc referencyjnych. Natomiast późniejsze oparcie obliczonej siatki ATPOL na odwzorowaniu stożkowym wynika z poszukiwania pewnego kompromisu, najlepiej dopasującego się do danych historycznych.*

W czasie powstania systemu ATPOL wszystkie dostępne mapy opracowane były we wcześniejszych systemach odniesienia niż będący obecnym standardem w GPS system WGS-84 (najczęściej Pułkowo 1942, co wynika z analiz Banasiaka [2015<sup>2</sup>], dyskusję prowadzi również Bula [2006]). Daje to różnicę współrzędnych geograficznych rzędu 100–200 metrów. Niektórzy autorzy uznają za stosowne uwzględnić tę poprawkę, np. Bieszczadzki Park Narodowy [2008] opublikował siatkę ATPOL w formacie KML (Google Earth), dokonując korekcji współrzędnych Pułkowo 1942 – WGS84. Nie wydaje się to jednak zalecane we współczesnych badaniach, gdyż błąd szacowania położenia oryginalnych historycznych map jest zbliżony do różnic pomiędzy systemami odniesienia, przeliczanie zaś tych systemów jest dość skomplikowane.

Podane w niniejszej pracy algorytmy przeliczania współrzędnych, oparte na standardowych wzorach odwzorowania stożkowego, połączone z danymi otrzymanymi z GPS w układzie odniesienia WGS-84, są najlepszym kompromisowym wyjściem zapewniającym

---

<sup>2</sup> Dokładna data nie jest znana, rok dotyczy dostępu do strony.

jasność, jednoznaczność, zgodność z referencyjną tabelą współrzędnych i prostotę implementacji w dowolnym oprogramowaniu na wiele następnych lat.

W przypadku dysponowania współrzędnymi GPS możliwe jest dalsze dziesięciokrotne dzielenie na pola o boku 100 m i dodanie dwóch następnych cyfr, co też wydaje się najbardziej rozsądnym rozwiązaniem w razie potrzeby operowania na większej dokładności. Takie podziały i dodawanie par cyfr można wykonywać dalej, stosownie do pożądanej dokładności, a początek oznaczenia położenia nie będzie się zmieniał.

Chociaż wbudowanie powyższych algorytmów do oprogramowania w odbiorniku GPS lub telefonie komórkowym umożliwi notowanie pól ATPOL bezpośrednio w terenie, zawsze należy oprócz tego zapisać współrzędne z pełną dokładnością GPS, która jest znacznie większa niż pola siatki ATPOL.

#### PIŚMIENNICTWO

- Banasiak Ł., 2015, <http://www.grzyby.pl/cgi-local/atpol-calculator.cgi> [dostęp: 6.10.2015].
- Bieszczadzki Park Narodowy, 2008, [https://www.bdpn.pl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=424&Itemid=137](https://www.bdpn.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=424&Itemid=137) [dostęp: 6.10.2015].
- Bula R., 2006, <http://www.bio-forum.pl/messages/33/7262.html> [dostęp: 16.10.2015].
- Gooding R.F., Rackham D., Holland J.P., Robertson D., 1997. Detailed surveying and mapping of plant communities on featureless terrain. *Grass Forage Sci.* 52(4), 439–444.
- Hulbert I.A.R., French J., 2001. The accuracy of GPS for wildlife telemetry and habitat mapping. *J. Appl. Ecol.* 38(1), 869–878.
- Instytut Botaniki UJ, 2002, <http://www2.ib.uj.edu.pl/chronopol/geo/geo.html> [dostęp: 6.10.2015].
- Snowarski M., 2005, <http://www.bio-forum.pl/messages/33/7500.html> [dostęp: 6.10.2015].
- Zajac A., 1978. Atlas of distribution of vascular plants in Poland (ATPOL). *Taxon* 27(5/6), 481–484.
- Zajac A., 1978b. Założenia metodyczne „Atlasu rozmieszczenia roślin naczyniowych w Polsce”. *Wiad. Bot.* 22(3), 145–155.

**Podziękowania.** Serdecznie dziękuję Pani prof. dr hab. Marii Zajac z Instytutu Botaniki UJ oraz Panu Józefowi Gajdzie z Instytutu Informatyki i Matematyki Komputerowej UJ za wyjaśnienie wątpliwości na etapie korekty tekstu po recenzji. Jestem również wdzięczny recenzentom pracy za liczne cenne uwagi, które w sposób znaczący podniosły końcową wartość naukową artykułu.

**Summary.** ATPOL is a geobotanical grid system used in Poland in geobotanical studies since the 1970s. The present article summarizes and explains some inconsistencies raised by botanists, connected mainly with unknown geodetic principles of this grid. The original grid was analyzed mathematically and a solution was found to convert coordinates – ATPOL grid is a square grid on the conic map centered on specific point inside Poland. Detailed 2-way algorithms for unambiguous conversion between ATPOL and geographical coordinates are given with simple implementation in R. The results and the established algorithm enable a simple and certain coordinate conversion in any accuracy and implementation in any computer software.

**Key words:** ATPOL grid, geobotany, coordinate conversion, algorithms