

Odtwarzanie geologicznych parametrów strukturalnych z dużych zbiorów danych

Michał Śmigieński*

Reconstruction of geological structural parameters from large data sets. Prz. Geol., 51: 673–677.

Summary. Back tilting of geological surfaces to their original positions is an important element of structural analysis. When large amount of data is analysed, such geometrical transformations should be performed quickly and efficiently. Computers are used for this purpose, but existing software does not exchange data with popular databases nor spreadsheets. This led the author to create a computer program that works with Microsoft Excel spreadsheet and enables planes' rotation. Functionality of this software is demonstrated using an example of fold plunge- and bedding-correction in analysis of joints surface's original position and reconstruction of paleocurrents' directions.

Key words: geological surfaces, joints, paleocurrent, plane rotation, software, structural analysis

W trakcie sedymentacji oraz podczas wypiętrzania i fałdowania w skałach tworzą się liczne struktury, które z pewnym przybliżeniem mogą być traktowane jako płaszczyzny. Przykładowo są to warstwowania osadu, powierzchnie warstw, szwy stylolitowe, lustra tektoniczne, spękania ciosowe, spękania przewodnie. Inne powierzchnie, również traktowane jako płaszczyzny, wyznaczane są geometrycznie np. powierzchnie osiowe fałdów. Położenie tych struktur często ulega zmianie wskutek ruchów tektonicznych. W celu analizy pierwotnych parametrów środowiska, np. kierunków osi naprężeń, czy kierunków transportu osadu, niezbędna jest znajomość pierwotnego położenia tych powierzchni. Aby zrekonstruować to położenie należy przeprowadzić geometryczne przekształcenia zmierzonych w terenie płaszczyzn, odwrotne do zmian jakim uległy one w trakcie deformacji tektonicznych.

Przed upowszechnieniem komputerów wspomniane przekształcenia były wykonywane za pomocą operacji geometrycznych na specjalnie przystosowanych do tego celu siatkach np. równopowierzchniowej siatce Schmidta i kalkach kreślarskich (Billings, 1972). Na początku lat dziewięćdziesiątych, gdy komputery osobiste stały się ogólnodostępne, w tym celu zaczęto używać specjalistycznego oprogramowania. Obecnie operacje takie umożliwiają m.in. programy StereoNet Steinunda, GeoCalculator Holcombe'a i TectonicsFP Reitera i Acsa.

W ostatnich latach, w celu dokonania regionalnej analizy powierzchni geologicznych, coraz częściej stosuje się elementy statystyki matematycznej (np. Jaroszewski, 1972; Mastella & Zuchiewicz, 2000; Mastella & Konon, 2002). Wymaga to zebrania i późniejszego opracowania dużych zbiorów pomiarów. Zbiory takie zestawia się w arkuszach kalkulacyjnych np. Excel firmy Microsoft. Wymienione wcześniej programy nie współpracują bezpośrednio z arkuszami kalkulacyjnymi. Zmusza to do wielokrotnego powtarzania czynności polegającej na przetwarzaniu kolejnych partii danych w wymienionych programach i powtórnego wprowadzania wyników do arkusza. Efekt ten jest szczególnie uciążliwy, gdy prowadzimy badania na terenach o skomplikowanej budowie geologicznej. W takich przypadkach analiza regionalna położenia powierzchni geologicznych może być wręcz niemożliwa do wykonania ze względu na jej pracochłonność.

Przedmiotem niniejszego opracowania jest omówienie stworzonego przez autora programu, który umożliwia rotację całych zbiorów pomiarów płaszczyzn geologicznych do ich pierwotnego położenia, a jednocześnie współpracuje z arkuszem kalkulacyjnym Excel. Program jest napisany w języku Visual Basic i wprowadza dwie niestandardowe funkcje Excela (tzw. makra) o nazwach RotAzymut i RotUpad. Przy ich pomocy można indywidualnie obrócić każdą z płaszczyzn występujących w dużym zbiorze danych o zadany kąt wokół dowolnej, poziomej osi rotacji (ryc. 1).

Działanie programu

Arkusz kalkulacyjny Excel zawiera wiele rozmaitych funkcji podzielonych na kategorie służące do przetwarzania danych (np. SUMA, ŚREDNIA, COSINUS itd.). Po wprowadzeniu do nich odpowiednich danych wejściowych dokonują one operacji matematycznych zależnych od rodzaju funkcji, dzięki którym otrzymujemy wynik (ryc. 2). Danymi wejściowymi dla funkcji RotAzymut i RotUpad są (ryc. 3):

- I. azymut linii upadu obracanej płaszczyzny,
- II. wielkość kąta upadu obracanej płaszczyzny,
- III. kierunek obrotu (kierunek rotacji),
- IV. wielkość kąta obrotu (wielkość kąta rotacji),
- V. położenie warstw (normalne lub odwrócone) — dana wejściowa opcjonalna

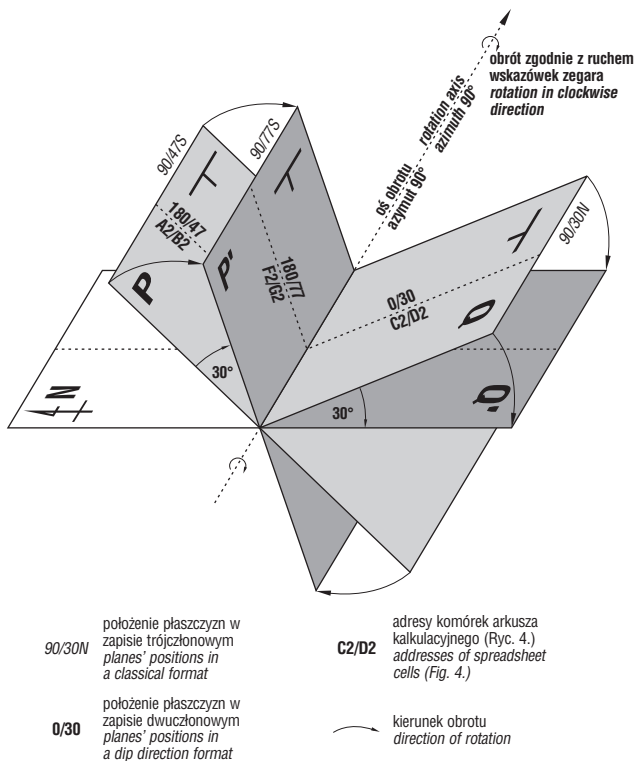
Wynika stąd, że dane wejściowe powinny znajdować się w czterech lub pięciu, najlepiej sąsiadujących ze sobą kolumnach.

Ponieważ klasyczny, trójczłonowy zapis położenia płaszczyzn nie jest przez program obsługiwany, położenie w przestrzeni obracanej płaszczyzny (dane wejściowe I i II), musi być zapisane dwuczłonowo w postaci azymutu linii upadu (od 0 do 360) i kąta upadu (od 0 do 90) (ryc. 4). Gdy obracana płaszczyzna ma położenie w zapisie klasycznym 90/47S dana wejściowa I będzie miała wartość 180, a dana II wartość 47 (ryc. 1, 3). Sposób zamiany zapisu klasycznego na dwuczłonowy przy użyciu Excela został opisany przez Korput (1999).

Kolejne dwie dane wejściowe opisują parametry rotacji (III i IV). Najprostszym sposobem ich określenia, dla poziomych osi obrotu, jest podanie azymutu tej osi (od 0 do 180), wielkości kąta rotacji i kierunku, w którym dokonany jest obrót — zgodnie lub przeciwnie do kierunku ruchu wskazówek zegara. Np. zapis: **180/47 obrót o 90/30**

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; verter@geo.uw.edu.pl

zgodnie z ruchem wskazówek oznacza obrócenie płaszczyzny o położeniu 180/47 (w zapisie klasycznym: 90/47S) o kąt 30°, wokół osi rotacji o azymucie 90°, w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara (ryc. 1). Taki sposób zapisu wielkości i kierunku rotacji może być w sposób wzajemnie jednoznaczny zastąpiony trójczłonowym zapisem położenia wprowadzonej w tym celu, pomocniczej płaszczyzny Q (ryc. 1). Azymut osi obrotu będzie określony przez bieg tej płaszczyzny, a wielkość kąta



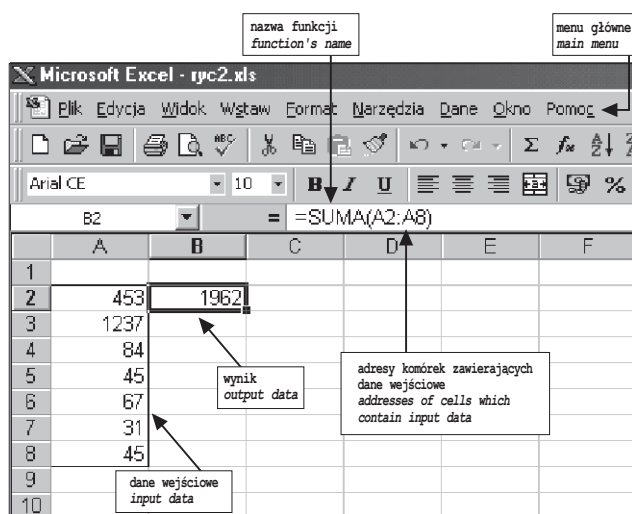
Ryc. 1. Obrót płaszczyzny P (180/47) do położenia P' (180/77). Pomocnicza płaszczyzna Q (0/30) została wprowadzona, aby zastąpić parametry obrotu. Pozostałe objaśnienia w tekście
Fig. 1. Plane's P (180/47) rotation to P' (180/77) position. An auxiliary plane Q (0/30) was introduced in order to replace rotation's parameters. For other explanations see text

rotacji przez jej upad. Arbitralnie przyjmuję tu, że obrotowi zgodnie z ruchem wskazówek zegara odpowiada upad pomocniczej płaszczyzny na północ, a obrotowi przeciwnemu upad na południe. W takim przypadku obrót identyczny z przedstawionym powyżej powinien być zapisany: **180/47 obrót 90/30N**. Zastępując parametry obrotu położeniem pomocniczej płaszczyzny Q możemy dokonać dalszego uproszczenia zamieniając (Korput, 1999) zapis trójczłonowy (klasyczny) jej położenia na dwuczłonowy. W znaczącym stopniu upraszcza to algorytm działania programu. Azymut osi obrotu i kierunek obrotu zastępowany azymutem linii upadu płaszczy Q, a wielkość kąta rotacji jej nachyleniem. Rozpatrywany, przykładowy obrót należałoby wtedy zapisać **180/47 obrót 0/30**. Ostatecznie dane wejściowe III i IV będą miały odpowiednio wartości 0 i 30 (ryc. 1, 3).

Taki zapis parametrów określających obrót staje się naturalny, gdy geometrię tego przekształcenia przedstawia się na dolnej półkuli równopowierzchniowej siatki Schmidta (ryc. 5A). W przypadku, gdy obracamy płaszczyznę P (100/40) o kąt 50°, wokół osi o azymucie 150°, w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek, wprowadzamy płaszczyznę Q (150/50S) i zamieniamy zapis jej położenia na dwuczłonowy (240/50). Położenie płaszczyzny Q opisuje dane wejściowe III i IV (ryc. 3). Należy zwrócić uwagę na fakt, że po dokonaniu obrotu układu płaszczyzn, pomocnicza płaszczyzna zawsze znajdzie się w położeniu poziomym (w zapisie używanym przez oprogramowanie komputerowe 0/0) natomiast rzeczywista płaszczyzna w nowym położeniu będącym oczekiwanym wynikiem działania programu. W przytoczonym powyżej przykładzie będzie to położenie 85/83 (ryc. 3, 5B).

Najczęściej stosowanym w analizie powierzchni geologicznych obrotem jest rotacja warstwy wokół linii biegu do poziomego położenia. Wraz z warstwą obracają się również płaszczyzny, które ją przecinają. Jeśli płaszczyzny te mają genezę przedfałdową, w wyniku takiego obrotu znajdą się w położeniu w jakim pierwotnie powstały, pod warunkiem, że bieg rotowanej warstwy jest zgodny z kierunkiem przebiegu struktur regionalnych. Gdy chcemy dokonać takiej właśnie rotacji jako parametry I i II należy podać położenie obracanej płaszczyzny, a jako parametry III i IV położenie warstwy w zapisie dwuczłonowym.

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż przywrócenie warstw do poziomego położenia nie zawsze jest jednoznaczne z przywróceniem ich do położenia przedfałdowego. Warstwa poza azymutem upadu i jego kątem ma jeszcze jedną

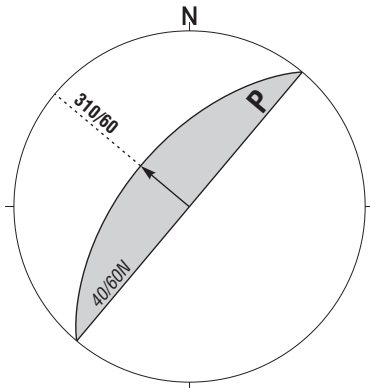


Ryc. 2. Przykładowa funkcja arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel
Fig. 2. Exemplary function of the Microsoft Excel spreadsheet

	A	B	C	D	E	F	G	H
1						azymut upadu płaszczyzny po rotacji	upad płaszczyzny po rotacji	
2	I	180	47	0	30	180	77	Ryc. 1
3	II	100	40	240	50	85	83	Ryc. 6
4	III							
5	IV							
6	V							

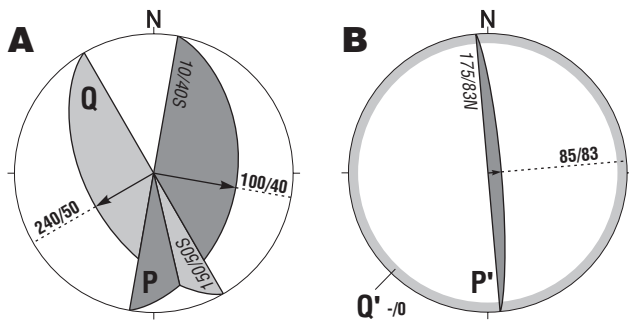
Ryc. 3. Fragment okna programu Microsoft Excel z przykładowym arkuszem używającym funkcji RotAzymut i RotUpad do obrotu płaszczyzn. Pozostałe objaśnienia w tekście
Fig. 3. Fragment of the Microsoft Excel window with exemplary sheet that used functions: RotAzymut and RotUpad to rotate planes. For other explanations see text

cechę — położenie (normalne bądź odwrócone). Cechę tą należy określić i podać programowi jako parametr wejściowy **V**. Nie podanie tego parametru może spowodować, że obrócona do poziomu warstwa będzie znajdowała się w



Ryc. 4. Parametry położenia płaszczyzny P w zapisie klasycznym (40/60N) i dwuczłonowym (310/60). Projektacja na dolną półkulę

Fig. 4. Parameters of a plane's P position in a classical format (40/60N) and in a dip direction format (310/60). Lower hemisphere projection



Ryc. 5. Położenie płaszczyzny P i pomocniczej płaszczyzny Q: A — przed rotacją, B — po rotacji. Projektacja na dolną półkulę. Pozostałe objaśnienia w tekście

Fig. 5. Position of a plane P and an auxiliary plane Q: A — before rotation, B — after rotation. Lower hemisphere projection. For other explanations see text

tytuły kolumn titles of columns		kolumny danych wejściowych input data columns				kolumny wyniku output data columns			
Microsoft Excel - PRrot.xls									
Plik Edycja Widok Wstaw Format Narzędzia Dane Okno Pomoc									
Arial CE 10 B I U									
P25 =									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Nr	azymut linii upadu warstwy	upad warstwy	położenie warstwy	azymut linii upadu ciosu	upad ciosu	azymut linii upadu ciosu po rotacji	upad ciosu po rotacji		
3 1	46	85		78	56	184	41		
4 2	46	85	o	78	56	268	41		
5 3	249	64		125	89	322	60		
6 4	249	64	o	125	89	176	60		
7 5	181	12		179	66	179	54		
8 6	181	12	o	179	66	183	54		
9 7									
10 8									

pozycji odwróconej. Wpłyne to na położenie rotowanych razem z warstwą powierzchni (ryc. 6). Położenie warstw musi być zapisane w osobnej kolumnie. W przypadku gdy jest ono odwrócone do odpowiedniej komórki należy wpisać małą literę „o”, pusta komórka oznacza natomiast położenie normalne. Gdy kierunek i wielkość rotacji nie mają bezpośredniego związku z położeniem warstw parametru **V** nie podaje się, a zarezerwowana na ten parametr kolumna powinna pozostać pusta (ryc. 3).

Przykładowe zastosowanie programu

Ze strony internetowej wydziału geologii Uniwersytetu Warszawskiego (www.geo.uw.edu.pl/IGP/IGP/zasobyIGP.htm) można pobrać plik PRrot.xls będący zaprojektowanym przez autora zeszytem programu Excel. Złożony jest on z trzech arkuszy nazwanych **oś fałdu**, **oś pionowa** i **w-y do poziomu** wykorzystujących funkcje RotAzymut i RotUpad do przywrócenia warstw i przecinających je spękań ciosowych do położenia pierwotnego.

Autorzy opracowań dotyczących spękań ciosowych przyjmują, za Price'em (1959, 1966), dla większości zespołów ich w inicjalnej fazie przedfałdową genezę. Tak więc by wnioskować o kierunkach osi naprężeń pola, w którym spękania te były zakładane, należy przywrócić je do przedfałdowego położenia. Na obszarach o budowie fałdowo-płaszczywinowej sprowadza się to do rotacji osi fałdu, a wraz z nią pomiarów położenia spękań, do poziomu. Jest to szczególnie istotne, gdy kąt nachylenia osi przekracza 10° (Rubinkiewicz, 1998). Następnie należy dokonać rotacji warstw w obu skrzydłach fałdu, również do poziomu, ale wokół linii ich biegów (ryc. 7).

Wykorzystanie tych arkuszy zostanie omówione na następującym przykładzie:

W trzech punktach znajdujących się w obrębie cylindrycznego fałdu o osi 300/15 zmierzono położenie warstw i 36 powierzchni ciosowych należących do jednego zespołu (ryc. 7A). Dane wprowadzono do arkusza kalkulacyjnego. Pierwszym krokiem analizy jest dokonanie rotacji osi fałdu do poziomu (ryc. 7B). Wykorzystać do tego celu należy arkusz **oś fałdu**. W oznaczone komórki powinien zostać wpisany azymut zapadania osi fałdu (300) i kąt zapadania (15). Następnym krokiem jest wklejenie pomiarów warstw i powierzchni ciosowych do odpowiednich kolumn (B, C, D, G, H). W kolumnach E, F i I, J pojawi się położenie wymienionych płaszczyzn po rotacji (ryc. 8). Kolejnym etapem jest przywrócenie warstw do położenia poziomego (ryc. 7D). Służy do tego arkusz o nazwie **w-y do poziomu** (ryc. 6). Należy przenieść do niego odrotowane uprzednio w arkuszu **oś fałdu** pomiary zgodnie z tytułami kolumn. Ostateczne położenie obracanych płaszczyzn znajdzie się w kolumnach G (azymut linii upadu) i H (wartość kąta upadu) tego arkusza.

Z diagramów położenia powierzchni ciosowych w kolejnych etapach analizy danych wynika, że do poprawnego wyznaczenia pierwotnego kierunku omawianego zespołu spękań jest niezbędne wykonanie pełnej rotacji zgodnie z opisanym powyżej schematem. Tylko w takim



Ryc. 6. Fragment arkusza w-y do poziomu z pliku PRrot. Pozostałe objaśnienia w tekście

Fig. 6. Fragment of w-y do poziomu sheet from PRrot file. For other explanations see text

przypadku otrzymamy jedną, wyraźną dominantę, z której można wyznaczyć kierunek zespołu spękań w położeniu przedfałdowym (ryc. 7E').

Plik PRrot.xls zawiera dodatkowo arkusz zatytułowany **oś pionowa**. Został on zaprojektowany w oparciu o standardowe możliwości Excela w celu obracania płaszczyzn wokół pionowej osi rotacji. Rotacje takie wykonuje się aby wyeliminować efekt ciągnięcia przyuskokowego warstw lub obrotu całych bloków wskutek działania uskoku przesuwczych. Przekształcenie powierzchni do położenia pierwotnego polega w tym przypadku na dodaniu (bądź odjęciu) do azymutu linii upadu kąta o wartości równej wielkości rotacji.

Innym zastosowaniem programu jest odtwarzanie kierunków paleoprądów na podstawie położenia hieroglifów mechanicznych w stromo położonych warstwach. W tym celu należy położenie hieroglifów mierzyć w terenie jako położenie płaszczyzny prostopadłej do warstwy i jednocześnie równoległej do linii hieroglifu. Wykonuje się taki pomiar przez zmierzenie położenia przyłożonego pod kątem prostym do warstwy i równoległe do hieroglifu grubego notatnika terenowego lub lepiej specjalnie w tym celu przygotowanego prostopadłościennego drewnianego klocka. Aby otrzymać kierunek paleoprądu należy jako parametry rotacji (dane wejściowe **III**, **IV** i **V**) podać programowi położenie warstwy w zapisie dwuczłonowym,

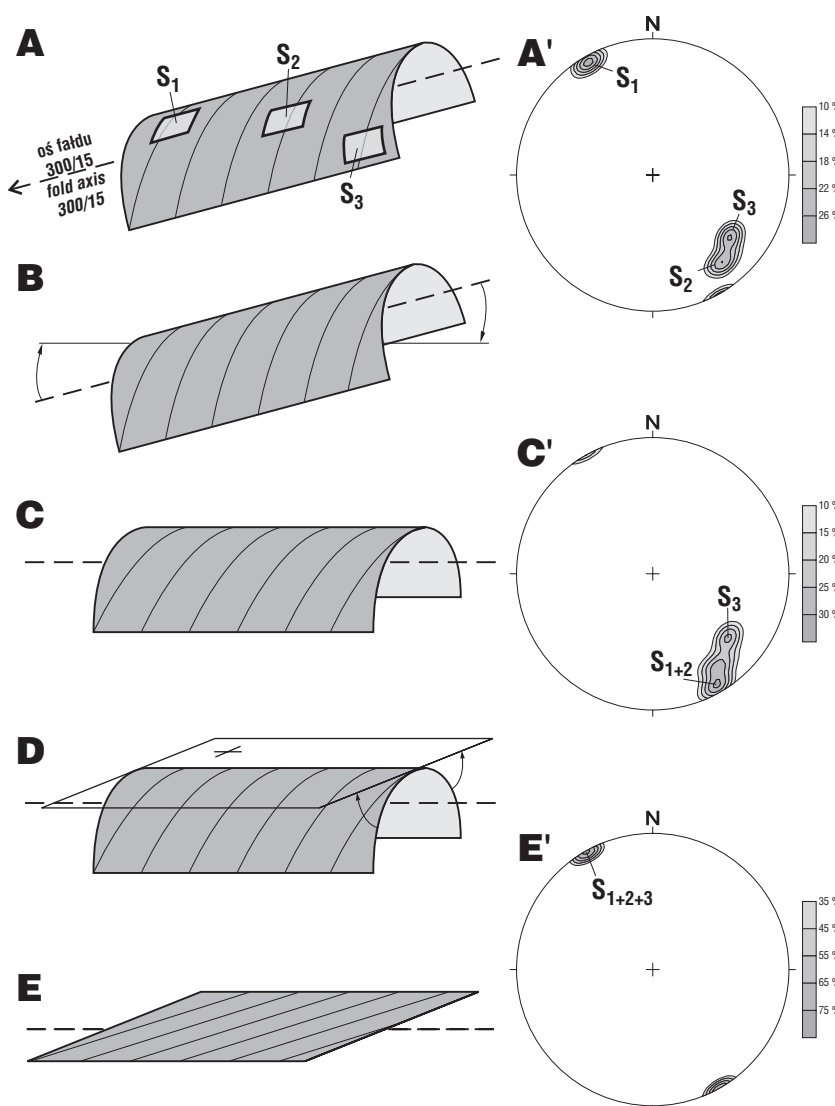
a jako parametry obracanej płaszczyzny (dane **I** i **II**) wynik dokonanej w opisany powyżej sposób pomiaru (ryc. 3). Po dokonaniu rotacji wynikiem funkcji RotAzymut będzie kierunek prostopadły do kierunku paleoprądu. Wynik funkcji RotUpad powinien być bliski wartości 90, a odchylenie większe niż 10 oznacza, iż pomiar położenia hieroglifu został wykonany błędnie. Chcąc wykorzystać program w opisany sposób należy użyć arkusza w-y do poziomu z pliku PRrot.xls lub zaprojektować własny.

Dokładność wyniku

Dokładność otrzymanego przy użyciu programu wyniku zależy tylko od poprawności danych wejściowych. Powierzchnie geologiczne w trakcie badań terenowych mierzy się kompasami geologicznymi. Błąd takiego pomiaru, przeprowadzonego przez doświadczonego geologa, mieści się zazwyczaj w granicach $\pm 2^\circ$. Stąd wynik obarczony jest minimum takim właśnie błędem. Czynnikiem mogącym generować dużo większe niedokładności wyniku jest oszacowanie rodzaju i wielkości deformacji, którą chcemy zniwelować, czyli kierunku i kąta rotacji. Dla przykładu błąd oszacowania wielkości kąta zapadania osi fałdu lub wielkości rotacji bloku spowoduje odpowiedni błąd otrzymanego wyniku.

Projektowanie własnego arkusza

W celu zastosowania omawianego programu do analizy własnych danych w ramach arkusza kalkulującego Excel należy wstawić (zaimplementować) do niego moduł zawierający funkcje RotAzymut i RotUpad. Moduł ten, będący plikiem o nazwie Rotacja.bas, można pobrać ze strony internetowej www.geo.uw.edu.pl/IGP/IGP/zasoby-IGP.htm. Po odpowiednim zaprojektowaniu arkusza będzie można wstawiać do niego własne dane i otrzymywać



Ryc. 7. Schemat przedstawiający metodę przywracania warstw i przecinających je płaszczyzn (np. ciosu) do położenia pierwotnego na przykładzie koncentrycznego fałdu. A–E kolejne etapy przekształceń geometrycznych. A'–E' diagramy konturowe położenia powierzchni ciosowych tego samego zespołu ciosu zmierzonego w obrębie fałdu w trzech różnych punktach S_1 , S_2 , S_3 w kolejnych etapach przekształceń geometrycznych. Projekcja na dolną półkulę. Pozostałe objaśnienia w tekście

Fig. 7. Scheme showing method of beds and cross-bedding planes (e.g. joints) back tilting to their original positions, based up on a concentric fold: A–E successive stages of geometrical transformations; A'–E' diagrams with contours of joint planes of the same set which were measured within one fold in three different points S_1 , S_2 , S_3 , in successive stages of geometrical transformation. Lower hemisphere projection. For other explanations see text

położenie warstw po rotacji
positon of beds after rotation

położenie ciosu po rotacji
positon of joints after rotation

parametry osi fałdu
parameters of fold axis

Nr	azymut linii upadku warstwy	upadek warstwy	położenie warstwy	azymut linii upadku warstwy po rotacji	upadek warstwy po rotacji	azymut linii upadku ciosu po rotacji	upadek ciosu po rotacji	azymut linii upadku ciosu po rotacji	upadek ciosu po rotacji
1	214	76		210	75	335	76	310	61
2	214	76		210	75	337	76	309	61
3	214	76		210	75	337	76	309	61
4	214	76		210	75	337	76	309	61
5	214	76		210	75	337	76	309	61
6	214	76		210	75	337	76	309	61
7	214	76		210	75	337	76	309	61
8	214	76		210	75	337	76	309	61
9	214	76		210	75	337	76	309	61
10	214	76		210	75	337	76	309	61
11	214	76		210	75	337	76	309	61
12	214	76		210	75	337	76	309	61
13	214	76		210	75	337	76	309	61
14	214	76		210	75	337	76	309	61

Wklej azymut osi fałdu
Wklej kąt zniekształcenia osi fałdu

pełnienie warstwy : położenie warstwy "normal" lub "odwróconej", w sz. 10 i 11 warstwy są odwrócone

Program rotuje oś fałdu do położenia poziomego w warstwach z linią warstwy i przecinając ją płaszczyzną (np. cios).

Ryc. 8. Fragment arkusza oś fałdu z pliku PRrot. Pozostałe objaśnienia w tekście

Fig. 8. Fragment of oś fałdu sheet from PRrot file. For other explanations see text

wyniki w postaci położenia płaszczyzn po rotacji. W celu dokonania implementacji modułu Rotacja.bas należy wykonać następujące czynności:

1. plik Rotacja.bas przekopiować do dowolnego katalogu np. C:\Program Files\Microsoft Office\,
2. otworzyć program Excel i arkusz, w którym wykonywana będzie rotacja,
3. uruchomić Edytor Visual Basic korzystając ze skrótu klawiszowego Alt+F11 lub wybierając panel Narzędzia z menu głównego i jego opcję Makro,
4. po uruchomieniu Edytora otworzyć panel Plik znajdujący się w jego menu głównym i wybierać opcję Importuj plik ... (skróty Ctrl+m),
5. odszukać katalog, w którym umieszczony został plik Rotacja.bas i otworzyć plik przez dwukrotne „kliknięcie myszką” lub zaznaczenie i użycie przycisku Otwórz,
6. zamknąć okno Edytora co spowoduje powrót do wybranego wcześniej arkusza Excela.

Od tego momentu w arkuszu tym można używać dodatkowych funkcji RotAzymut i RotUpad. Aby sprawdzić, czy wymienione funkcje zostały we właściwy sposób zaimplementowane należy:

1. wybrać opcję Funkcja ... z panelu Wstaw z menu głównego,
2. po otwarciu się okienka Wklej funkcję sprawdzić, czy dodana została nowa Kategoria funkcji — Użytkownika, a w jej obrębie funkcje RotAzymut i RotUpad,
3. zamknąć okno Wklej funkcję.

Kolejnym krokiem jest zaprojektowanie arkusza. Program do poprawnego działania potrzebuje siedmiu kolumn, pięć na dane wejściowe i dwie na wynik. Kolumny te, dla wygody, powinny być zatytułowane zgodnie z ich przyszłą zawartością (ryc. 6). Następnie do arkusza należy wkleić funkcje RotAzymut i RotUpad:

1. zaznaczyć komórkę kolumny przeznaczonej na azymut linii upadku płaszczyzny po rotacji, znajdującą się pod tytułem tej kolumny (ryc. 6),
2. z menu głównego wybierać panel Wstaw i jego opcję Funkcja ...,
3. wybrać Kategorię funkcji: Użytkownika i nazwę funkcji RotAzymut,
4. zatwierdzić wybór przyciskiem OK.

W tym momencie na ekranie ukaże się okno Paleta funkcji służące do określenia adresów komórek, w których

znajdują się dane wejściowe. W kolejne pola należy wpisać adresy komórek znajdujących się w tym samym wierszu co komórka, w którą wklejamy funkcję.

5. w pole oznaczone Awd należy wpisać adres komórki która będzie zawierać kierunek rotacji (dana wejściowa III),
6. Uwd — kąt rotacji (dana wejściowa IV),
7. Acd — azymut linii upadu rotowanej płaszczyzny (dana wejściowa I),
8. Ucd — upadek rotowanej płaszczyzny (dana wejściowa II),
9. P — położenie warstw (dana wejściowa V),
10. zatwierdzić wpisane adresy komórek przyciskiem OK.

W komórce, w którą wklejamy funkcję pojawi się wynik będący azymutem linii upadku zadanej w komórkach A2 i B2 płaszczyzny, po rotacji o zadane w komórkach C2, D2 i E2 parametry rotacji. W Pasku formuły ukaże się nazwa wklejonej funkcji (w tym przypadku RotAzymut) i w nawiasie, po średnikach, adresy komórek z danymi wejściowymi (ryc. 3). Aby uzyskać wynik dla danych wprowadzonych do leżących poniżej wierszy wystarczy przeciągnąć w dół „myszką” prawy dolny róg tej komórki. Wpisanie funkcji do zaznaczonych w ten sposób komórek nastąpi automatycznie. Wklejając funkcję RotUpad, obliczając upadek rotowanej płaszczyzny, w drugą z kolumn przeznaczonych na wynik, należy postąpić w sposób analogiczny do opisanego powyżej. Uzyskany w ten sposób arkusz gotowy jest do przyjęcia danych, które automatycznie zostaną zrotowane o zadane kierunki i kąty.

Podobną operację można dokonać na istniejącym już arkuszu zawierającym zgromadzone uprzednio pomiary. W takim wypadku należy przydzielić dwie wolne kolumny na wynik i wkleić w nie funkcje RotAzymut i RotUpad. Dane wejściowe dla tych funkcji wybieramy w odpowiedni sposób spośród już wypełnionych kolumn.

Autor bardzo dziękuje anonimowemu Recenzentowi za cenne uwagi, pozwalające na lepsze ujęcie tematu. Dziękuję także Panom Leonardowi Mastelli, Andrzejowi Kononowi i Tomaszowi Śmigielkiemu za okazaną pomoc i poświęcony czas.

Literatura

- BILLINGS M. P. 1972 — Structural Geology: third edition. Prentice-Hall, Inc.
- JAROSZEWSKI W. 1972 — Drobnostukturalne kryteria tektoniki obszarów nieorogenicznych na przykładzie północno-wschodniego obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich. Stud. Geol. Pol., 38: 1–210.
- KORPUT A. 1999 — Algorytm konwersji klasycznego zapisu położenia płaszczyzn geologicznych na wymagany przez oprogramowanie komputerowe. Prz. Geol., 47: 623–624.
- MASTELLA L. & ZUCHIEWICZ W. 2000 — Jointing in the Dukla Nappe (Outher Carpathians, Poland): an attempt at paleostress reconstruction. Geol. Quater., 44: 377–390.
- MASTELLA L. & KONON A. 2002 — Tektoniczne wygięcie łuku Karpat zewnętrznych w świetle analizy ciosu w płaszczyźnie śląskiej. Prz. Geol., 50: 541–550.
- PRICE N. J. 1959 — Mechanics of jointing in rocks. Geol. Mag., 96: 149–167.
- PRICE N. J. 1966 — Fault and Joint Development in Brittle and semi-brittle Rock. Pergamon Press: 176.
- RUBINKIEWICZ J. 1998 — Rozwój sfałdowań ciosowych w płaszczyźnie śląskiej w okolicach Baligrodu (Bieszczady Zachodnie — Karpaty zewnętrzne). Prz. Geol., 46: 820–825.