

## Tektonika synkliny międzygórskiej w świetle badań mikrograwimetrycznych

Jerzy Stein\*, Ewa Stupnicka\*\*

Synklina międzygórska leży we wschodniej części Gór Świętokrzyskich, między Sandomierzem i Opatowem. Synklina, utworzona ze skał ordowiku i syluru, leżących na utworach dolno- i środkowokambryjskich antyklinorium klimontowskiego (Samsonowicz, 1934; Bielecka, 1969), stanowi najdalej na wschód położoną część synklinorium łagowskiego. Na zachodzie skały starszego paleozoiku chowają się pod twory dewońskie, ku wschodowi zaś oś synkliny wychodzi w powietrze (Samsonowicz, 1934).

Pierwotna nazwa jednostki — *niecka międzygórska* — została wprowadzona przez Samsonowicza (1920, 1934), który wykonał mapę odkrytą całego obszaru i opracował przekrój geologiczny (Samsonowicz, 1952). Autor ten określił synklinę międzygórską jako łagodną nieckę, asymetryczną, o stromym skrzydle północnym i łagodnym skrzydle południowym. Na terenie otaczającym Samsonowicz opisał dwie mniejsze jednostki, nazwane „łuskami” Kleczanowa i Lenarczyc (Samsonowicz, 1934). Skały ordowiku i syluru zbadano następnie w wierceniach w Kleczanowie, wykonanych przez IG (Bielecka, 1969). Prace terenowe między Sandomierzem i Opatowem prowadzili także Tomczyk (1954), Bednarczyk (1964, 1966) oraz Turnau-Morawska (1960) z uczniami. Badacze ci opracowali stratygrafię i petrografię skał ordowiku i syluru synkliny międzygórskiej. Tomczyk (1954) wykonał również przekroje i mapę niecki oraz przedstawił interpretację tektoniki omawianego obszaru. Najwięcej obserwacji uzyskano z kamieniołomów w Międzygórzu oraz głębokich wąwozów prawobrzeżnych dopływów rzeki Opatówki, która płynie na północ od terenu badań. W kamieniołomach odsłaniają się skały ordowickie północnej części synkliny, a w wąwozach: Łączki, Zapusty i Chełm — skały sylurskie jej części środkowej (ryc. 1A). Najdalej na południu badanego regionu skały sylurskie zostały stwierdzone w Gołębiowie, gdzie opisano je w studniach (Tomczyk, 1954) oraz w wierceniach (Deczkowski, 1964). Na tej podstawie wyznaczono południowy zasięg niecki międzygórskiej na południe od szosy Opatów–Sandomierz.

Według Tomczyka (1954, 1974), który wprowadził nazwę „synklina międzygórska”, południowe skrzydło i środkowa część tej jednostki ma stosunkowo prostą budowę, natomiast północne skrzydło, utworzone ze skał ordowickich i dolnosylurskich, jest obalone na południe, na nim zaś leżą nasunięte z północy łupki kambryjskie antykliny opatowskiej. Na mapie szczegółowej arkusz Sandomierz (Bielecka, 1969) synklina na północy graniczy z dyslokacją, wzdłuż której skały kambryjskie antykliny opatowskiej są nasunięte na skały dolnoordowickie synkliny międzygórskiej. Nasunięcie to, przez niektórych autorów było uważane za wschodnie przedłużenie nasunięcia świętokrzyskiego, jednak na przekrojach wykonanych przez Samsonowicza (1952) jest to jeden z wielu uskoków odwróconych, powstałych w czasie orogenezy waryscyjskiej na obszarze antykli-

norium klimontowskiego. Ostatnio Pożaryski i Tomczyk (1993) wykazali, że nasunięcie świętokrzyskie leży nieco dalej na północ, uskoki odwrócony zaś, ograniczający synklinę międzygórską od północy, jest uskokiem leżącym na terenie antyklinorium klimontowskiego (Pożaryski & Tomczyk, 1993, ryc. 4). Badania Bednarczyka (1964, 1971), przeprowadzone w kamieniołomie w Międzygórzu wykazały, że skały ordowickie są tam w dużej części zredukowane, a łuki tektoniczne obejmują znaczną część dolnego arenigu, górny lanwirn i landeil.

Prace wykonane przez autorów niniejszego artykułu są częścią kompleksowych badań, które objęły zagadnienia: stratygrafii utworów ordowickich (W. Bednarczyk), petrografii skał górnosylurskich (T. Przybyłowicz) oraz tektoniki synkliny międzygórskiej (E. Stupnicka). Prace te rozpoczęto w ramach badań finansowanych przez PAN, w Zakładzie Stratygrafii Paleozoiku, a od 1992 r. kontynuowano w ramach planu badań Instytutu Geologii Podstawowej UW.

Tereny Międzygórza i Kleczanowa są słabo odsłonięte. Pokrywa lessów o grubości od kilku do kilkunastu metrów przykrywa całą wyżynę, a w dużym stopniu również zbocza wąwozów. Miejscami występują gliny zwałowe i osady aluwialne. W celu wykonania mapy odkrytej synkliny międzygórskiej, która posłuży do analizy tektonicznej, podjęto więc próbę wykorzystania metody mikrograwimetrycznej (J. Stein). Metoda ta dawała podstawy do rozwiązania głównych problemów, jakie dotychczas pozostawały nie wyjaśnione. Należą do nich:

1) trudności w ustaleniu położenia i zasięgu poszczególnych kompleksów skał starszego paleozoiku w synklinie i w jej otoczeniu,

2) określenie przebiegu osi synkliny. Biegi warstw sylurskich w synklinie, pomierzone przez Tomczyka (1954) i przez współautorkę niniejszego opracowania, są zmienne z zachodu na wschód i na ogół odbiegają od kierunku skrzydeł synkliny, zwłaszcza skrzydła północnego, które jest stosunkowo dobrze odsłonięte w kamieniołomach i wąwozach. Te pomiary mogą przemawiać za tym, że z zachodu na wschód kierunek osi synkliny zmienia się, przy czym różni się znacznie od ogólnego kierunku synkliny, wyznaczonego biegami warstw na skrzydłach,

3) wyznaczenie wschodniej granicy synkliny międzygórskiej. Ta część jednostki jest całkowicie przykryta pokrywą lessową,

4) wyznaczenie południowego zasięgu synkliny i wyjaśnienie budowy jej południowego skrzydła. Według Samsonowicza (1934) wzdłuż tego skrzydła na powierzchni podczwartorzędowej nie występują skały ordowiku, a granica synkliny jest wyznaczona zasięgiem łupków dolnosylurskich. Wykonane w Kleczanowie, w bliskim sąsiedztwie synkliny międzygórskiej, wiercenie (Bielecka, 1969; Bednarczyk, 1971) wykazało jednak, że pod sylurem występuje kompleks piaszczystych i dolomitowych skał ordowickich o miąższości ok. 10 m.

Przekroje grawimetryczne zostały zlokalizowane wzdłuż trzech linii prostopadłych do synkliny, tak żeby przecięły kolejno skały kambryjskie, ordowiku oraz dolnego i

\*Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

\*\*Instytut Geologii Podstawowej, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

Ryc. 1. Mapa synkliny międzygórskiej bez pokrywy lessowej



górnego syluru. Przecięły one również dyslokację, wzdłuż której, w północnej części synkliny, skały kambryjskie są nasunięte na skały ordowiku. Przekrój grawimetryczny czwarty, kontrolny, został przeprowadzony przez teren położony na południe od synkliny międzygórskiej, celem zbadania budowy rejonu Gołębiowa, gdzie pod lessem występują skały górnego i dolnego syluru (Deczkowski, 1964; Tomczyk, 1954).

Z punktu widzenia dotychczasowych badań grawimetrycznych, badany obszar znajduje się na terenie objętym dodatnią anomalią Bouguera o wartościach ok.  $2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , większych w stosunku do otaczających ją rejonów (Dąbrowski, 1954).

### Wyniki pomiarów mikrogravimetrycznych w synklinie międzygórskiej

Wykorzystanie badań grawimetrycznych do poznania budowy geologicznej omawianego regionu opiera się na możliwości wydzielenia kompleksów skalnych charakteryzujących się różnymi parametrami fizycznymi, a przede wszystkim gęstością. Badania grawimetryczne zastosowano w wersji pomiarów mikrogravimetrycznych charakteryzujących się wysoką dokładnością prac terenowych i niewielkimi odległościami między stanowiskami (Fajkiewicz, 1970; Stein i in., 1973; Stopiński i in., 1978; Stein, 1987). Umożliwia to rozdzielenie poszczególnych utworów, zlokalizowanie uskoków i spękań, a także wyróżnienie jednostek strukturalnych i form krasowych.

Prace terenowe zostały wykonane grawimetrem typu Worden. Odległości między punktami pomiarowymi wyniosła 25 m. W celu wyeliminowania błędów, które mogłyby niekorzystnie rzutować na wynik badań, powtórzono pomiary na ok. 40% stanowisk. Obliczono średni kwadratowy błąd pojedynczego pomiaru, który wyniósł  $\pm 0,02 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Pomiary wykonano wzdłuż trzech przekrojów grawimetrycznych (ryc. 1). W przekroju I wykonano pomiary na 134 stanowiskach pomiarowych, w przekroju II — na 104 oraz w przekroju III — na 69. W związku z uwagami recenzentów, wykonano przekrój IV kontrolny (ryc. 1) o 70 stanowiskach pomiarowych.

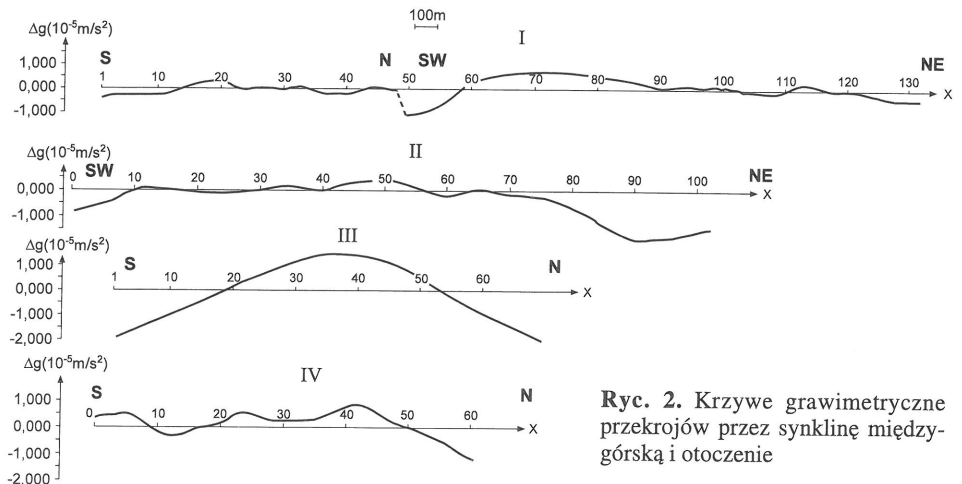
W wyniku prac obliczeniowych i wstępnej interpretacji, uzyskano wykresy resztkowych mikroanomali grawimetrycznych ( $\Delta g$ ) uwolnionych od tła regionalnego. Anomalie te odzwierciedlają zmiany w budowie występujących płytko skał i były podstawą do przeprowadzenia geologicznej interpretacji zdjęcia grawimetrycznego. Interpretacja ma głównie charakter jakościowy.

Na wykresach  $\Delta g$  (ryc. 2) można wydzielić wiele względnie dodatnich i względnie ujemnych anomali grawimetrycznych. Amplituda zmian mikroanomali  $\Delta g$  kształtuje się w granicach od  $-2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  do  $+1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , przy czym największe zmiany wartości  $\Delta g$  obserwuje się na przekroju III. Względnie dodatnie anomalie grawimetryczne wskazują na występowanie skał o gęstości większej w stosunku do

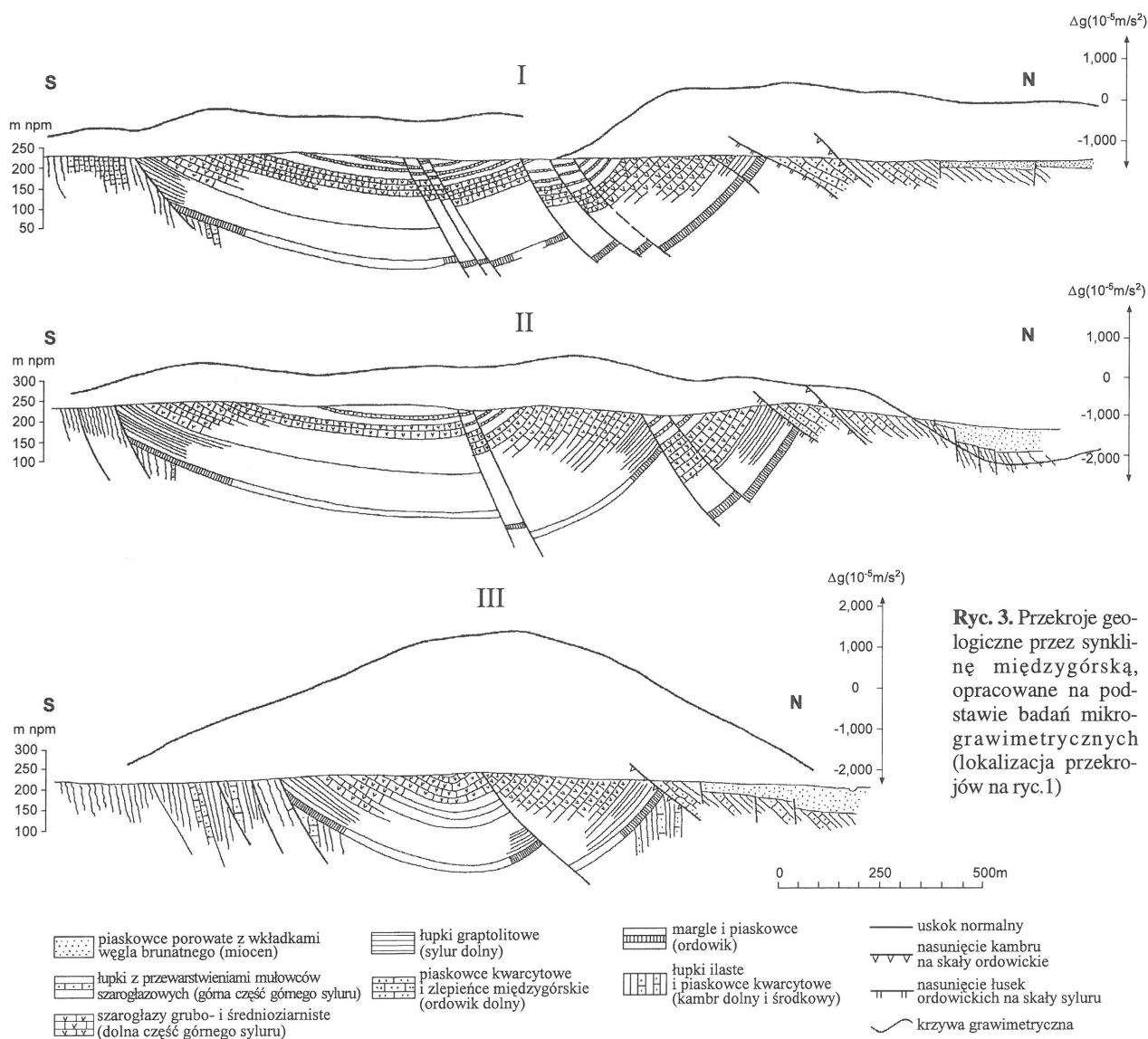
otoczenia, względnie ujemne odpowiadają skałom o mniejszej gęstości. Niedobór gęstości może być spowodowany przyczynami litologicznymi, silnym spękaniem skał i formami krasowymi. Te ostatnie na badanym terenie nie występują. Analiza litologiczna skał synkliny międzygórskiej wskazuje na istotny wpływ tego parametru na różnicowanie się wartości  $\Delta g$ . Gęstość skał górnosylurskich, reprezentowanych tu przez średnio- i drobnoziarniste szarogłazy niewachlowskie, zmienia się bowiem w zakresie od ok. 2,30 g/cm do ok. 2,50 g/cm. Poza tym występują łupki ilaste i piaskowce, skały o mniejszej gęstości. Ze względu na to, że skały te występują płytko, rzutują w istotny sposób na zmienność mierzonego pola grawimetrycznego. Zestawienie obserwacji geologicznych w wąwozach, uzupełnione przez opracowanie mikrogravimetryczne, umożliwiło opracowanie przekrojów i mapy synkliny międzygórskiej.

Przekroje mikrogravimetryczne I i II objęły teren Kleczanowa, położony na północ od szosy Opatów–Sandomierz (ryc. 1) i sięgnęły do Międzygórz, gdzie w kamieniołomach odsłaniają się skały dolnoordowickie północnego skrzydła synkliny. Wobec tego, że — jak wynika z obserwacji geologicznych — synklina zwręża się ku wschodowi, przekrój III zakończono przed szosą, mając na względzie wykonane przez IG wiercenie w Kleczanowie, którego przekrój jest opracowany (Bednarczyk, 1971). Wykonano następnie kontrolny przekrój o kierunku N–S na południe od szosy Opatów–Sandomierz, w Gołębiowie, celem określenia budowy skał sylurskich, stwierdzonych tam wcześniej przez innych autorów (Tomczyk, 1954; Deczkowski, 1964).

**Przekrój I**, usytuowany w zachodniej części synkliny, w swoim przebiegu wykazuje wiele względnie dodatnich i względnie ujemnych anomali grawimetrycznych. Wskutek trudności terenowych, został on przerwany (ryc. 1) przy stanowisku 48, przeniesiony na linię równoległą i kontynuowany od stanowiska 49 dalej w kierunku północnym. Ponieważ zachowano kierunek przekroju prostopadły do osi synkliny, nie powinno to spowodować trudności interpretacyjnych w odniesieniu do jej budowy. Wzdłuż przekroju I od południa w kierunku północnym obserwuje się kolejno następujące anomalie grawimetryczne (ryc. 2, I). Między stanowiskami 1–12 występuje względne minimum grawimetryczne o rozciągłości ok. 270 m i wartościach dochodzących do ok.  $-0,25 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , a dalej między stanowiskami 12–23 następuje wzrost wartości  $\Delta g$  do ok.  $+0,25 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Między stanowiskami 23–34, czyli na odcinku ok. 280 m, wykres  $\Delta g$  nie wykazuje obecności wyraźnych anomali. Począwszy od stanowiska 34 do 43 (odległość ok. 220 m) jest widoczne kolejne minimum grawimetryczne o amplitudzie dochodzącej do  $-0,20 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Między stanowiskami 49–59, na odcinku ok. 220 m, jest widoczne wyraźne minimum grawimetryczne o maksymalnej wartości dochodzącej do  $-1,20 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Następnie



Ryc. 2. Krzywe grawimetryczne przekrojów przez synklinę międzygórską i otoczenie



w kierunku północno-wschodnim obserwuje się szeroką, względnie dodatnią ( $+0,50 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ) anomalię grawimetryczną na odcinku ok. 750 m, między stanowiskami 102–111. Dalej, między stanowiskami 111–115 (ok. 100 m) jest widoczna niewielka, względnie dodatnia anomalia grawimetryczna o amplitudzie  $+0,10 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Przekrój I kończy się szerokim (ok. 420 m) minimum grawimetrycznym o wartościach maksymalnych dochodzących do  $-0,50 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ .

**Przekrój II** charakteryzuje się również zróżnicowaniem wartości  $\Delta g$ . W południowej części między stanowiskami 1–10, na odcinku o długości ok. 250 m, jest widoczne względne minimum grawimetryczne o amplitudzie przekraczającej  $-0,75 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Dalej w kierunku północno-wschodnim występuje niewielka względnie dodatnia anomalia o szerokości ok. 100 m i maksymalnej wartości  $+0,07 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Następnie obserwuje się dwie kolejne anomalie o niewielkich wartościach  $\Delta g$  ( $-0,15 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  i  $+0,10 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ), ale o dość dużym rozprzestrzenieniu, odpowiednio 320 m i 300 m. Anomalie te znajdują się między stanowiskami 15–28 — anomalia ujemna i między stanowiskami 28–40 — anomalia dodatnia. W rejonie stanowiska 40 zaznacza się niewielkie względne obniżenie wartości  $\Delta g$ , które następnie przechodzi w wyraźne maksimum grawimetryczne o szerokości ok. 400 m i amplitudzie przekraczającej  $+0,40 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , obserwowane między stanowiskami 40–56. Na następnych stanowiskach — 56–63, na odcinku o długości ok. 180 m, występuje ujemna anomalia  $\Delta g$  o amplitudzie dochodzącej do  $-0,30 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . W rejonie stano-

wisk 63–65 (50 m) następuje niewielki wzrost wartości anomalii grawimetrycznych o zerowej wartości  $\Delta g$ , który następnie, począwszy od stanowiska 65 przechodzi w szerokie minimum grawimetryczne, sięgające do końca przekroju. Kształt tego minimum jest wyraźnie zróżnicowany. Między stanowiskami 65–77 obserwuje się niewielki spadek wartości  $\Delta g$  do ok.  $-0,35 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , następnie od stanowiska 77 w kierunku północno-wschodnim spadek ten jest jeszcze większy, a maksymalne jego wartości osiągają  $-2,00 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ .

**Przekrój III** znacznie różni się od dwóch pierwszych. Jest na nim widoczna jedna względnie dodatnia anomalia, występująca w środkowym odcinku o wartościach dochodzących do  $+1,50 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Na północ i na południe od tej anomalii występują ujemne anomalie o amplitudach dochodzących do  $-2,00 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Kształt wykresu  $\Delta g$  na tym przekroju wskazuje na występowanie w środkowym odcinku utworów o dużej gęstości, otoczonych zarówno na północy, jak i na południu utworami o gęstości wyraźnie mniejszej.

W północnych odcinkach przekrojów II i III obserwuje się, jak wynika z powyższego opisu, wyraźne minimum grawimetryczne, które na zachodzie, w przekroju I jest znacznie mniejsze i zaznacza się jedynie w postaci niewielkiego obniżenia wartości  $\Delta g$ .

**Przekrój IV** kontrolny, wykonany między przekrojami I i II w Gołębiewie, charakteryzuje się zmianami w zakresie  $\Delta g$  od ok.  $0,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  do ok.  $-1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . W części południowej obserwuje się dwa obszary anomalne, o wielkości ok. 200 m i amplitudzie: pierwszy =  $0,025 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  i drugi =  $-0,025 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Dalej ku północy rozciąga się wyraźny obszar anomalii dodatnich (do

$0,05 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ), w niewielkim stopniu zróżnicowany, o szerokości ok. 680 m. Przekrój na północy jest zakończony wyraźną anomalią ujemną o długości wzdłuż przekroju blisko 250 m i o amplitudzie dochodzącej do ok.  $-1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ .

Przekroje mikrograwimetryczne I, II i III (ryc. 2), przecinające synklinę międzygórską, prostopadłe do wychodni skał paleozoicznych, są zróżnicowane. Przekroje I, II i III przecinają skrzydło południowe, część środkową oraz skrzydło północne synkliny wraz z równoległą do tego skrzydła dyslokacją, wzdłuż której skały kambryjskie zostały nasunięte na południe, na utwory ordowickie. Północne odcinki przekrojów I, II i III przecinają pokryty aluwiami obszar doliny Opatówki i jej dopływów. Na zboczach dolinek odsłaniają się tam piaskowce miocenijskie. Przekrój I przecina synklinę w części zachodniej — najszerszej, przekrój II w części środkowej, przekrój III zaś — w części wschodniej — najwęższej. Przekrój IV przecina południowe skrzydło synkliny oraz teren położony na południe, gdzie budowa skał paleozoicznych jest, jak na to wskazują pomiary mikrograwimetryczne, urozmaicona podobnie jak na obszarze synkliny międzygórskiej.

Z wiercenia wykonanego w Kleczanowie (Bielecka, 1969) oraz z obserwacji terenowych (Bielecka, 1969; Tomczyk, 1954) wynika, że na badanym obszarze występują opisane poniżej skały, różniące się litologicznie. Pod kilku do kilkunastometrową warstwą lessu, który przykrywa różne skały paleozoiczne, najmłodsze utwory synkliny międzygórskiej — to górnosylurskie iłowce z przewarstwieniami mułowców (o miąższości ok. 150 m). Skały te można obserwować w wąwozach dopływów Opatówki. Występują one w środkowej części synkliny międzygórskiej. Poniżej znajduje się ok. 50-metrowy kompleks średnio- i gruboziarnistych szarogłazów niewachlowskich. W wierceniu skały te leżą na łupkach graptolitowych dolnosylurskich, których miąższość wynosi ok. 80 m. Łupki graptolitowe odsłaniają się również w wąwozie Łączki oraz w kamieniołomie międzygórskim (Tomczyk, 1954). W spągu osadów sylurskich w wierceniu w Kleczanowie stwierdzono piaskowce i dolomity ordowickie o miąższości ok. 10 m. Leżą one na skałach łupkowych i piaskowcowych dolnego i środkowego kambriu.

W kamieniołomie międzygórskim, w północnej części synkliny odsłaniają się, nieznanne na południu synkliny, piaskowce kwarcytowe i zlepieńce zwane międzygórskimi zaliczone (Samsonowicz, 1934; Bednarczyk, 1971) do tremadoku i dolnego arenigu. Jak wynika z obserwacji tektonicznych, przeprowadzonych w kamieniołomie przez współautorkę niniejszego opracowania, skały dolnoordowickie leżą w pozycji normalnej, nie odwróconej, jak przyjmowano wcześniej (Samsonowicz, 1952; Tomczyk, 1954; Pożaryski & Tomczyk, 1993). Skały te tworzą łuski nasunięte z północy na południe na różnowiekowe skały młodsze: górnego ordowiku, dolnego syluru, a miejscami wprost na szarogłazy górnosylurskie (Stupnicka, artykuł w przygotowaniu). Miąższość skał dolnoordowickich w kamieniołomach w Międzygórzu, silnie spękanych i złuskowanych, wynosi 10–20 m (Bednarczyk, 1971). Na północy od kamieniołomu w Międzygórzu zachowała się skałka piaskowców liasowych (Tomczyk, 1954), w dolinkach dopływów Opatówki zaś występują miękkie, bardzo jasne, porowate i lekkie piaskowce miocenijskie z przewarstwieniami iłów i węgla brunatnego (Bielecka, 1969).

Zestawienie krzywych mikrograwimetrycznych z obserwacjami geologicznymi terenu synkliny międzygórskiej wykazuje, że największe anomalie względnie dodatnie są związane z podlessowymi wystąpieniami szarogłazów niewachlowskich. Anomalie względnie ujemne dają skały ilaste najwyższego syluru, syluru dolnego oraz partie skał ilastych w obrębie kambriu. Jako względnie dodatnie w stosunku do pozostałych skał paleozoicznych zaznaczają się, w profilu I występujące wzdłuż północnego skrzydła synkliny, kwarcyty dolnego ordowiku, o ile nie są one silnie spękane, tak jak w przekroju II, gdzie zaznaczają się jako słaba anomalia względnie ujemna. Stwierdzenie występowania skał ordowickich w przekrojach grawimetrycznych jest ważne, gdyż wyznaczają one północny zasięg synkliny

oraz położenie nasunięcia skał kambryjskich. Najniższe anomalie względnie ujemne występują na przekrojach grawimetrycznych na północy, głównie tam, gdzie występują piaskowce trzeciorzędowe.

### Interpretacja geologiczna przekrojów mikrograwimetrycznych

Przekrój I przecina synklinę w jej najszerszej zachodniej części. W odcinku południowym przekrój zaczyna się od słabej anomalii grawimetrycznej względnie dodatniej. W podłożu lessów występują tam zapewne łupki kambryjskie z przewarstwieniami piaskowców. Położony na północ od nich wąski pas łupków dolnosylurskich, które są oddzielone od utworów kambryjskich stromym uskokiem normalnym, zaznacza się na krzywej mikrograwimetrycznej jako wąska anomalia względnie dodatnia. Następną wyraźną anomalią względnie dodatnią w przekroju I występuje w miejscu, gdzie przecina on szarogłazy niewachlowskie. Szarogłazy tworzą południowe, łagodne skrzydło synkliny. Dalszy odcinek przekroju pokazuje słabą, mało urozmaiconą, ale szeroką anomalię względnie ujemną, która znajduje się nad środkową częścią synkliny, zbudowanej ze skał łupkowych z przewarstwieniami mułowców. Skały te odsłaniają się w wąwozach Łączki i Zapusty i zostały zaliczone przez Tomczyka (1954) do najwyższego syluru. Dalej na północ krzywa grawimetryczna lekko się podnosi, co prawdopodobnie jest związane z podnoszeniem się ku powierzchni szarogłazów niewachlowskich północnego skrzydła synkliny. Tu jednak krzywa grawimetryczna się obniża i w dalszym odcinku przekroju I występuje duża anomalia względnie ujemna, która jest zapewne spowodowana obecnością strefy uskoków lub spękań przecinających longitudinalnie północne skrzydło synkliny międzygórskiej. Takie tłumaczenie nasuwa się, gdyż w tej części niecki, w wąwozach sąsiadujących z przekrojem I, nie zostały stwierdzone skały, które mogłyby być związane z tak dużą anomalią względnie ujemną.

Bezpośrednio do opisanej anomalii względnie ujemnej przylega na północy duża anomalia względnie dodatnia, która, jak wynika z obserwacji przeprowadzonych w wąwozach, jest związana z szarogłazami niewachlowskimi tworzącymi północne, strome skrzydło synkliny. Na północ od tej anomalii krzywa grawimetryczna jest mało urozmaiconą, zachowując jednak dość wysokie wartości, odpowiadające na ogół skałom piaskowcowym. Znajduje to potwierdzenie w pobliskim wąwozie, gdzie na północ od szarogłazów niewachlowskich odsłaniają się kwarcytowe piaskowce ordowiku, a dalej skały kambryjskie. Na tym odcinku krzywej grawimetrycznej występują załamania. Dwa z nich tworzą niewielne anomalie względnie dodatnie (nad utworami piaskowcowymi) oraz dwie anomalie względnie ujemne (nad rozdzielającymi piaskowce skałami łupkowymi dolnego syluru i kambriu). Występująca w północnej części przekroju I słaba anomalia względnie ujemna, rozdzielona jedną wyraźną anomalią względnie dodatnią, jest związana z terenem, gdzie pod lessem znajdują się niedużej miąższości piaskowce miocenijskie rozdzielone wychodniami kambryjskich piaskowców tworzących tu niedużych rozmiarów zràb lub ostaniec erozyjny.

Przekrój II jest w ogólnych zarysach podobny do przekroju I. Zaobserwowane różnice są spowodowane różnicami budowy synkliny międzygórskiej. W południowej części przekroju II występuje anomalia względnie ujemna, odpowiadająca łupkom kambriu i łupkom dolnego syluru, które

kontaktują tu ze sobą wzdłuż normalnego uskoku podłużnego, obcinającego południowe skrzydło synkliny. Ku północy krzywa grawimetryczna podnosi się, tworząc anomalie względnie dodatnią w miejscu, gdzie przekrój przecina szarogłazy niewachlowskie południowego łagodnego skrzydła synkliny. Dalszy północny odcinek przekroju II przecina środkową część synkliny. Tutaj, tak jak w przekroju I, występują osady najwyższego syluru, łupki z przewarstwieniami mułowców, dające słabą anomalie względnie ujemną. W stronę północnego skrzydła synkliny krzywa lekko się podnosi, a następnie załamuje, tworząc małą anomalie względnie ujemną, która odpowiada zapewne dyslokacji podłużnej, zaznaczającej się również jako anomalia względnie ujemna na przekroju I.

Za tą niewielką anomalie względnie ujemną występuje duża anomalia względnie dodatnia w miejscu, gdzie przekrój przecina szarogłazy niewachlowskie północnego, strome go skrzydła synkliny międzygórskiej. Nachylenie warstw górnosylurskich, zmierzony w sąsiednich wąwozach, wynosi 50–60° w kierunku południowym. Następnie krzywa grawimetryczna ponownie się obniża, w związku z występowaniem w podłożu wychodni skał łupkowych i, zapewne podłużnego uskoku przecinającego północne skrzydło synkliny i powodującego powtórzenie się wychodni szarogłazów niewachlowskich. Za taką interpretacją przemawiają obserwacje wychodni skał sylurskich w wąwozach. Dalej na północ krzywa grawimetryczna lekko się obniża, a następnie ponownie podnosi, tworząc ostatnią na omawianym przekroju wyraźną anomalie względnie dodatnią. Odpowiada ona wystąpieniem podlessowym piaskowców kambru. Kwarcyty ordowickie, odsłaniające się w pobliskich wąwozach na przekroju II, nie zaznaczyły się w postaci nawet słabej anomalii względnie dodatniej, co jest zapewne spowodowane ich znacznym spekowaniem i złuskowaniem, jak to można obserwować w kamieniołomie międzygórskim, leżącym bardzo blisko przekroju II.

Na północ od anomalii względnie dodatniej w przekroju II krzywa grawimetryczna obniża się w związku rozległą anomalie względnie ujemną, która znajduje się nad obszarem podczwartorzędowych wychodni skał miocenijskich. Szybkie obniżanie się krzywej wzdłuż przekroju świadczy o tym, że skały miocenijskie występują w rowach tektonicznych. Amplitudę uskoła ograniczającego od południa skały trzeciorzędowe można oszacować na ok. 40 m.

Przekrój III jest odmienny od przekrojów I i II. Cechuje się on występowaniem dużych anomalii względnie ujemnych na północy i południu oraz dużej i rozległej anomalii względnie dodatniej w części środkowej, z lekkim tylko ujemnym załamaniem na szczycie krzywej. Obserwacje geologiczne również wskazują na odmienną budowę tej części synkliny międzygórskiej, która ulega zwięźeniu. Pomiarzy przeprowadzone w wąwozie Chełm wykazały strome (40–60°) nachylenie warstw obu skrzydeł synkliny międzygórskiej. Nie ma tu, tak typowej dla części zachodniej, asymetrii skrzydeł, a strome ustawienie warstw powoduje znaczne zwięźenie synkliny. Anomalia względnie dodatnia na przekroju grawimetrycznym I odpowiada szarogłazom niewachlowskim, które we wschodniej części synkliny tworzą blisko położone i stosunkowo strome oba skrzydła synkliny. Podnoszenie się ku wschodowi osi synkliny powoduje, że występujące w przekrojach I i II skały najwyższego syluru w przekroju III zostały erozyjnie usunięte. Małe załamanie ujemne na szczycie krzywej względnie dodatniej może być związane z uskokiem podłużnym do osi synkliny.

Duża różnica budowy skrzydeł synkliny między przekrojami II i III jest trudna do wyjaśnienia samym tylko nachyleniem osi synkliny ku zachodowi, jak to przyjmowano wcześniej (Tomczyk, 1954). Zapewne wzdłuż wąwozu Chełm występuje poprzeczny uskok zrzucający zachodnie skrzydło (zachodnia część synkliny) w stosunku do skrzydła wschodniego (wschodnia część synkliny).

Dwie anomalie względnie ujemne na przekroju III, jedna na północy, druga na południu, niewątpliwie odpowiadają skałom o małej gęstości. Porównując je z anomaliami na przekrojach I i II, można stwierdzić, że anomalia północna odpowiada łupkom dolnego syluru oraz kambru, które są nasunięte bezpośrednio na skały sylurskie. Odsłaniające się w kamieniołomie międzygórskim kwarcyty dolnoordowickie uległy wyklinowaniu lub zostały przykryte przez łupki kambryjskie. Dalszy północny odcinek przekroju III odpowiada zapewne osadom miocenijskim, które podobnie jak w przekroju II występują w rowach tektonicznych i są przykryte lessem odsłaniającym się w dolinkach w Międzygórzcu. Duża anomalia południowa względnie ujemna jest zapewne związana z łupkami dolnego syluru i kambru oraz uskokiemi ograniczającymi synklinę od południa i oddzielającymi ją od łuski Kleczanowa. Rejon z szarogłazowym sylurem, twierdzonym w wierceniu w Kleczanowie, jest wyraźnie oddzielony od południowego skrzydła synkliny szerokim pasem podczwartorzędowych wychodni skał o małej gęstości. Wynika z tego, że wiercenie w Kleczanowie przebiło osobną jednostkę. Za taką interpretacją przemawiają również dane geologiczne uzyskane z wąwozu Chełm, gdzie stromo nachylone warstwy szarogłazów niewachlowskich wskazują na znaczne zwięźenie synkliny międzygórskiej w tym odcinku.

W czasie prowadzonych prac autorzy przeprowadzili próbę interpretacji przekroju III z włączeniem do synkliny, leżącego na przedłużeniu przekroju, wiercenia w Kleczanowie. Próba ta nie powiodła się. Również wychodnie podlessowe skał sylurskich w Gołębiowie (Tomczyk, 1954; Deczkowski, 1964) należą zapewne do odrębnej jednostki tektonicznej (jednostka Kleczanowa), choć wychodnie sylurskie wzdłuż południowego skrzydła synkliny międzygórskiej na niewielkim odcinku mogą łączyć się ze skałami sylurskimi jednostki Kleczanowa. Anomalia odpowiadająca szarogłazom niewachlowskim południowego skrzydła synkliny jest w przekrojach I i II bardzo wyraźna, tak jak wyraźna jest występująca na południe od niej anomalia ujemna, odpowiadająca zapewne skałom łupkowym kambru lub dolnego syluru. W obu przypadkach oznacza to ograniczenie synkliny od południa. Przekrój IV kontrolny, wykonany na terenie Gołębiowa, wykazuje w równym stopniu jak przekroje przez synklinę międzygórską znaczną zmienność krzywej mikrograwimetrycznej. Przemawia to za tym, że występujące tam skały paleozoiczne są tektonicznie zaburzone. Gdyby przyjąć, że skały górnosylurskie Gołębiowa są kontynuacją synkliny międzygórskiej, musiałyby one leżeć prawie poziomo. Ich obraz mikrograwimetryczny byłby wtedy odmienny od uzyskanego z pomiarów na przekroju IV. Należy zaznaczyć, że granica południowa synkliny wyznaczona metodami mikrograwimetrycznymi odpowiada dokładnie jej zasięgowi, jaki został stwierdzony na zachód od badanego obszaru w Lipniku (Samsonowicz, 1920), gdzie skały kambryjskie odsłaniają się na powierzchni, wyznaczając południowy zasięg synkliny na północ od szosy Opatów–Sandomierz. Niewątpliwie powinny być obecnie przeprowadzone badania tektoniczne jednostki Kle-

czanów–Gołębiów, wymagają one jednak znacznych nakładów finansowych.

### Podsumowanie

Badania geologiczne i grawimetryczne na terenie Międzygórze i Kleczanowa umożliwiły wykonanie trzech przekrojów przez synklinę międzygórską z południa na północ (ryc. 2), wykonanie mapy odkrytej (ryc. 1) oraz wysunięcie wielu wniosków odnośnie do budowy synkliny.

Poszczególne kompleksy warstw odpowiadają względnie dodatnie lub względnie ujemne anomalie mikrograwimetryczne. Stwierdzono bardzo duże zróżnicowanie wartości  $\Delta g$ , od  $-2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  do  $+1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Różnice są szczególnie wyraźne na przekroju III.

Przekroje geofizyczne I i II, wykonane w zachodniej i środkowej części synkliny, przecinają dwa skrzydła, południowe zbudowane z łupków syluru dolnego i szarogłazów syluru górnego, oraz północne utworzone z łupków i szarogłazów sylurskich i kwarcytów ordowickich. Przekrój III przecina wschodnią część synkliny utworzoną z szarogłazów. Przekrój ten cechuje wyraźna inwersja krzywej mikrograwimetrycznej w stosunku do struktury synkliny.

Skały ordowickie wzdłuż północnego skrzydła synkliny wykazują na przekroju I słabą anomalię względnie dodatnią na przekroju II zaś — słabą anomalię względnie ujemną; na przekroju III zupełnie się nie manifestują. Jest to spowodowane tym, że utwory te cechuje miejscami silne zdyslokowanie, aż do całkowitego wyklinowania we wschodniej części synkliny.

W południowym skrzydle synkliny skały ordowickie w przekrojach grawimetrycznych w ogóle nie zaznaczają. Potwierdza to obserwacje Samsonowicza (1934) o braku wystąpienia skał ordowickich w południowym skrzydle synkliny. Zostały one zrzucone wzdłuż stromych uskoków normalnych, podłużnych do osi synkliny.

Między przekrojami II i III występuje duży południkowy uskok zrzucający skrzydło zachodnie. Ten właśnie uskok powoduje, że oś synkliny pozornie tylko stopniowo ponosi się ku wschodowi. W rzeczywistości zaś uskok wzdłuż wąwozu Chełm dzieli synklinę na dwie części: wschodnią, wąską — podniesioną i zachodnią, szerszą i głębszą — zrzuconą.

Miąższość szarogłazów niewachlowskich, które dają na badanym terenie największe anomalie względnie dodatnie, jest ogólnie większa na wschodzie, a mniejsza w zachodniej części synkliny.

Duża anomalia względnie dodatnia we wschodniej części synkliny może odpowiadać jakimś nie wykrytym dotychczas ciałom diabazowym. Na taką możliwość wskazują również, stwierdzone w wierceniu w Kleczanowie, w niedużej odległości od anomalii, gruboziarniste piaskowce i zlepieńce szarogłazowe, zawierające dużo materiału wulkanicznego. Związek między diabazami i gruboziarnistymi szarogłazami stwierdzono w czasie badań niecki bardziańskiej i daleszyckiej (Przybyłowicz & Stupnicka, 1989).

W północnej części badanego terenu stwierdzono liczne pionowe lub zbliżone do pionowych uskoki normalne dwóch zespołów: równoleżnikowego i południkowego. Ograniczają one rowy tektoniczne wypełnione utworami mioceńskimi. Maksymalne stwierdzone badaniami zrzuty uskoki dochodzą do 40 m. Uskoki obu zespołów wyznaczono głównie na podstawie rzeźby. Były one zapewne wielokrotnie odmładzane w trzeciorzędzie.

Analiza krzywych grawimetrycznych w porównaniu z przekrojami geologicznymi wykazała, że część anomalii względnie ujemnych nie znajduje odbicia w litologii, szczególnie tam, gdzie załamania krzywych są ostre, podczas gdy zmiany litologiczne w omawianym profilu stratygraficznym, poza granicą kambr/ordowik, są stopniowe. Załamania te są związane ze strefami dyslokacyjnymi prostopadłymi do przekrojów i równoległymi lub prawie równoległymi do osi niecki. Te strefy dyslokacyjne (nie stwierdzone za pomocą samych tylko obserwacji geologicznych, ze względu na słabe odsłonięcie terenu) spowodowały, że biegi warstw skrzydeł synkliny znacznie odbiegają od ogólnego kierunku jej osi.

Stwierdzenie w budowie synkliny międzygórskiej znacznej roli normalnych uskoków podłużnych, przy obecności uskoku odwróconego (nasunięcia), występującego wzdłuż północnego skrzydła tej synkliny, wskazuje na to, że jednostka ta powstała w wyniku co najmniej 2 faz tektonicznych. Najpierw faza tensyjna spowodowała powstanie uskoki normalnych i utworzenie się depresji, w której zachowały się skały ordowiku i syluru. Następna faza kompresyjna spowodowała nasunięcie łusek ordowickich oraz skał kambryjskich na północne skrzydło synkliny międzygórskiej. Obie fazy oddzielał okres działania erozji, która usunęła część skał ordowiku i syluru w rejonie Międzygórze i Kleczanowa.

Badania grawimetryczne pozwoliły na wyróżnienie w okolicy Kleczanowa i w Gołębiowie odrębnej jednostki tektonicznej. Jej budowa, poznana częściowo w przekroju IV, wymaga jednak dalszych badań geologicznych i mikrograwimetrycznych.

Autorzy dziękują Recenzentom za uwagi, które były użyteczne w czasie ostatecznej redakcji niniejszego artykułu, jak również K. Czepulisowi za wykonanie badań grawimetrycznych.

### L i t e r a t u r a

- BEDNARCZYK W. 1964 — Biul. Geol. Wydz. Geol. UW, 4: 3–127.  
 BEDNARCZYK W. 1966 — Ibidem, 8: 3–46.  
 BEDNARCZYK W. 1971 — Acta Geol. Pol., 21: 573–611.  
 BIBLECKA M. 1969 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski., ark. Sandomierz. Państw. Inst. Geol.  
 DĄBROWSKI A. 1954 — Mapa grawimetryczna Polski — Anomalie Bouguera. Atlas geologiczny Polski., Tab. 10. Wyd. Inst. Geol.  
 DECZKOWSKI Z. 1964 — CAG Państw. Inst. Geol., 126/64.  
 FAJKLEWICZ Z. 1970 — Techn. Poszuk., 9: 9–12.  
 POŻARYSKI W. & TOMCZYK H. 1993 — Prz. Geol., 41: 687–695.  
 PRZYBYŁOWICZ T., STUPNICKA E. 1989 — Arch. Miner., 44: 129–152.  
 SAMSONOWICZ J. 1920 — Spraw. Państw. Inst. Geol., 1: 53–67.  
 SAMSONOWICZ J. 1934 — Objaśnienie arkusza Opatów. Państw. Inst. Geol.  
 SAMSONOWICZ J. 1952 — Zarys geologii Polski. Wyd. Geol.  
 STEIN J., STOPIŃSKI A. & CZEPULIS K. 1973 — Prz. Geol., 21: 558–564.  
 STEIN J. 1987 — Prz. Geof., 32: 35–48.  
 STOPIŃSKI A., STEIN J. & CZEPULIS K. 1978 — Biul. Inst. Geol., (309:) 139–146.  
 TOMCZYK H. 1954 — Ibidem, (93:) 3–38.  
 TOMCZYK H. 1974 — Budowa geologiczna Polski. T. 4. Tektonika 1, cz. 1: 128–198.  
 TURNAU-MORAWSKA M. 1960 — Acta Geol. Pol., 10: 124–141.