

*Krzysztof Urbański*

Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Dolnośląski

## ŁUK MUŻAKOWA JAKO ZŁOŻONA STRUKTURA GLACITEKTONICZNA

### THE ZONES OF GLACIOTECTONICAL DEFORMATION IN MUSKAU ARC REGION.

**Streszczenie:** Badania porównawcze z rejonami przyległymi do Łuku Mużakowa, wykazały, że główny eksploatowany pokład węgla brunatnego, o miąższości powyżej 10 metrów można korelować z II łuzickim pokładem. Wyższe pokłady węgla charakteryzują się znacznie mniejszą miąższością oraz mniejszą rozciągłością lateralną. Pokłady należące do formacji rawickiej nie zostały spiętrzone. Wiek zaburzeń glacitektonicznych na podstawie badań litopetrograficznych osadów wypełniających nieckę na zapleczu moreny spiętrzonej, można wiązać z okresem zlodowaceń południowopolskich, prawdopodobnie z pierwszym nasunięciem lądolodu na obszar Sudetów. W czasie stadiału Odry wkraczający lądolód zniwelował rzeźbę terenu pozostawiając na zaburzonej strukturze pokrywę osadów zwałowych. W czasie stadiału warty lądolód dotarł do południowej części Łuku Mużakowa, akumulując morenę końcową w rejonie Łęknicy. Wycofując się na północ lądolód pozostawił kolejne łuki moren recesyjnych na linii Bronowice-Nowe Czaple, Chwaliszów-Żarki Wielkie, Olszyna-Trzebień. Łuk Mużakowa nie jest jednolitą moreną spiętrzoną ale strukturą złożoną. Składa się z łuku zewnętrznego Tuplice-Łęknica oraz łuków wewnętrznych: Trzebień-Buczyny, Trzebień-Siedlec, Tuplice-Chełmice-Jagłowice. Odzwierciedla to wieloetapowe tworzenie się całej struktury w miarę nasuwania się lądolodu. Na zapleczu Łuku Mużakowa, między Olszyną a Jerischke występuje głęboka niecka, która można uważać za depresję glacitektoniczną. Na powierzchni moreny spiętrzonej wału mużakowskiego odsłania się pokład główny węgla, który można wiązać z II pokładem łuzickim. Rozciągłość wychodni, zgodna z przebiegiem form rzeźby terenu, odzwierciedla budowę łuskową tej struktury. Potwierdziły to dane z otworów wiertniczych oraz materiały górnicze. Poza strukturami łuskowymi w strefach silnego uplastycznienia skał występują również wtórne fałdy i diapiry. Tworzyły się one w czasie tego samego procesu dynamicznego. Po etapie deformacji glacitektonicznych następowały procesy odprężania się glacitektonitu. Tworzyły się najmłodsze uskoki, zaznaczające się w morfologii terenu. W pracy przyjęto model zaburzeń glacitektonicznych przedstawiony przez Rotnickiego (1976) oraz model Abera i innych (1989), w którym główną przyczynę zaburzeń glacitektonicznych widzi się w obciążeniu osadów przez lądolód i przemieszczeniu ich w formie łusek na przedpolu. Na omawianym terenie należy również założyć, że czynnikiem wspomagającym mogło być mobilne podłoże podkenozoiczne, w strefie przecinających się dyslokacji. Samo oddziaływanie lądolodu wywoływało uaktywnienie się

neotektoniczne całego regionu w okresie późniejszym, w wyniku procesu odprężania.

**Summary:** It was proved that the main brown coal bed correlates with 2<sup>nd</sup> Lausitz Seam in the Ścinawa Formation. This stratum has over 10 meter thickness. The uppermost coal layers have a little *thickness* and a small lateral extension. The lower coal seam belongs to the Rawicz Formation. It is not deformed. On the base of lithopetrographical researches sediments lying in glaciotectional depression may be correlated with Eistertian glaciation. In Early Saalian glaciation (Odranian) a moving glacier leveled a morphological relief and caused accumulation of a glacial deposits on a glaciotectional structure. In Late Saalian glaciation (Warthanian) the glacier reached south part the Muskau Arc and accumulated frontal moraines in Łęknica region. In the time of glacier pulling back the following arcs of recessional moraines remained: Bronowice-Nowe Czaple, Chwaliszów-Żarki Wielkie, Olszyna-Trzebień. Muskau Arc is not a uniform thrust moraine but it is a very complicated structure. It consists of exterior arc located between Tuplice and Łęknica and internal located between Trzebień and Siedlec, Tuplice-Chełmice-Jagłowice. They reflected a multiple formation of whole structure in the transgression of glacier. In the back side of the Muskau Arc between Olszyna and Jerischke the deep glaciotectional depression occurred. The main coal seams correlated with 2<sup>nd</sup> Lausitz Seam expose on the surface of thrust moraine. Extend of outcrops is compatible with run of geomorphological forms which reflect thrust shape of this structure. It is confirmed by boreholes and mining data. Apart from thrust structures there are secondary folds and diapirs in the strong plastic zones. There were created in the same dynamic process. The glaciotectional model of cylindrical thrust by Rotnicki (1976) is accepted in this paper. In author's opinion glaciotectional deformation were strengthened by mobile Mesozoic basement in the zone of crossing faults.

## WSTĘP

Łuk Mużakowa jest unikalną w skali Europy Środkowej strukturą glacitektoniczną, ze względu na wielkość, kształt i stan zachowania. Rozciąga się od miejscowości Tuplice, Trzebień i Łęknica po stronie polskiej oraz Weißwasser, Döbern, Klein Kötzig po stronie niemieckiej, obejmując 250 km<sup>2</sup> powierzchni terenu, w tym 80 km<sup>2</sup> na obszarze Polski. Wał Mużakowski pod względem geograficznym należy do Wzniesień Łużyckich. Na północy jednostka ta graniczy z Kotliną Zasięcką, która jest częścią Obniżenia Dolnołużyckiego, na wschodzie zaś styka się z Wzniesieniami Żarskimi.

Schwarzbach (1942), Klimaszewski (1952), Ciuk (1955) wiązali powstanie całego wału śląskiego ze zlodowaceniem Warty. Badania Dyjora, Chlebowskiego (1973) wykazały jednak wieloetapowy rozwój struktury Łuku Mużakowa. Autorzy ci powstanie tej struktury wiązali z okresem zlodowaceń południowopolskich oraz ze stadiem odry. Syntetyczną pracę o budowie geologicznej Łuku Mużakowa przedstawił Kupetz (2001). Dzięki zastosowaniu metody radarowej udało się szczegółowo rozpoznać makrostruktury glacitektoniczne na obszarze testowym, w południowej części Łuku Mużakowa (Münch, Nestler 2003, Kupetz 2003, Stackebrandt, Jany 2003).

W latach 2003 – 2005 w Państwowym Instytucie Geologicznym wykonywane były badania, których celem była reinterpretacja budowy geologicznej tej struktury wraz z analizą warunków geośrodowiskowych dla potrzeb projektowanego geoparku „Łuk Mużakowa” (Urbański i inni 2005). Istotną częścią prowadzonych prac było rozpoznanie glacitektoniki tego obszaru.

## METODYKA PRAC

W wykonanym w Państwowym Instytucie Geologicznym opracowaniu zastosowano szereg oryginalnych metod badawczych. W badaniach zastosowano system informacji przestrzennej – aplikację MapInfo. Dzięki zgromadzeniu, w jednolitym układzie kartograficznym informacji z zakresu geologii, górnictwa i ochrony środowiska uzyskano możliwość wzajemnego porównywania i konfrontowania danych. Do analizy geomorfologicznej wykorzystano model cyfrowy wykonany na podstawie digitalizacji poziomicy z map topograficznych w skali 1:10 000. Dane wysokościowe z obszaru całej polskiej części Łuku Mużakowa i terenów przyległych zostały wprowadzone do bazy danych za pomocą programu „Diger”. Używając programu Surfer wykonano mapy konturowe i mapy cieniowanego reliefu (rys.1.). Duża szczegółowość wykonanego modelu cyfrowego umożliwiła wyznaczenie mezostruktur glacitektonicznych zaznaczających się na powierzchni terenu w skali kilkudziesięciu metrów. Stanowi to materiał w części porównywalny z badaniami wykonanymi przez stronę niemiecką przy użyciu bardzo kosztownych metod radarowych (Kupetz 2003). Zaletą zaś opracowanego modelu hipsometrycznego stanowi wielkość analizowanego obszaru, który obejmuje całą polską część Łuku Mużakowa. Analiza różnowiekowych map topograficznych pozwoliła na odtworzenie eksploatacji węgla brunatnego. Zestawienie tych map i nałożenie ich na opracowane już wcześniej mapy geologiczne umożliwiło wykonanie mapy geologiczno-strukturalnej, w której zasadniczym elementem są wykartowane wychodnie pokładu głównego węgla oraz utworów serii ilów poznańskich.

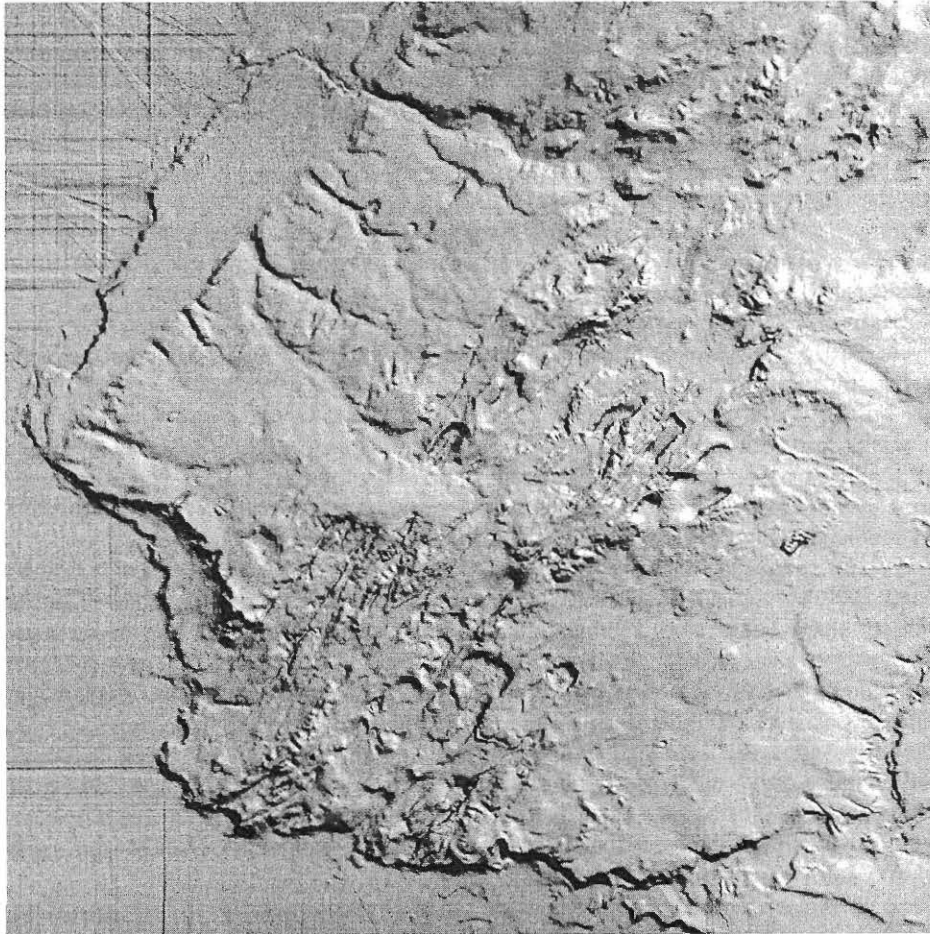
Aby rozpoznać budowę wglębną struktury Łuku Mużakowa przeanalizowano ponad 1000 otworów wiertniczych i wykonano przekroje geologiczne, poprzeczne do całej struktury. Dla analizy zaburzeń glacitektonicznych w skali 3 D, wykonano mapy izoliniowe ważniejszych powierzchni geologicznych. Najlepiej rozpoznawalnym horyzontem litostratygraficznym jest strop pokładu głównego węgla brunatnego, osiągający na tym obszarze dużą miąższość (około 10 metrów) i charakteryzujący się dużą rozciągłością lateralną. Ważne znaczenie do odtworzenia stref zaburzeń glacitektonicznych w tym rejonie, ma również morfologia spagu utworów plejstocenijskich. Dla określenia głębokości zaburzeń glacitektonicznych oraz wpływu tektoniki podłoża podkenozoicznego na procesy zaburzeń glacitektonicznych wykorzystano mapę stropu podłoża kenozoiku.

W ramach opracowania wykonano badania palinologiczne odślanających się pokładów węgla brunatnego i serii węglowych. Celem tych prac było uściślenie szeregu zagadnień związanych z litostratyfacją utworów neogenu. Wyniki tych prac wykorzystano do opracowania szczegółowego profilu litostratygraficznego. Dobra znajomość litostratygrafii tego obszaru pozwoliła na właściwą interpretację danych z

otworów wiertniczych i umożliwiła wykonanie przekrojów geologicznych. Stało się to podstawą wglębnej analizy glacytektonicznej struktury Mużakowa.

## GEOMORFOLOGIA

Łuk Mużakowa leży obecnie około 30 metrów ponad powierzchnią akumulacji osadów wodnolodowcowych. Maksymalna bezwzględna wysokość tej formy dochodzi do 178,8 m n.p.m. na północny-wschód od Żarek Wielkich i 182,8 m n.p.m. na północ od Nowych Czapli.



**Rys.1. Model cyfrowy powierzchni terenu wykonany na podstawie digitalizacji izolinii z mapy topograficznej w skali 1:10 000**

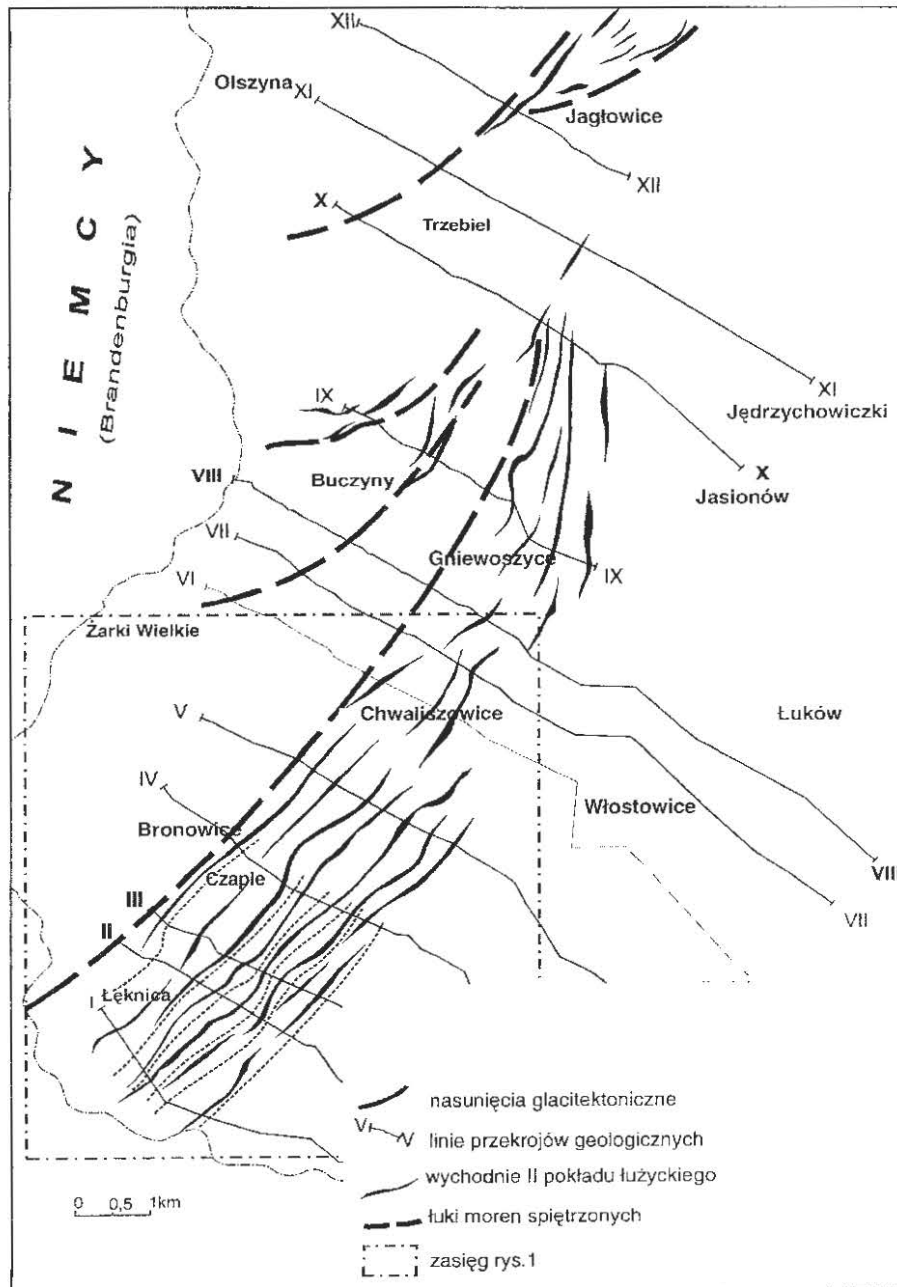
Rzeźba terenu w obrębie Łuku Mużakowskiego jest bardzo urozmaicona. Najbardziej widoczną cechą reliefu tego obszaru są równoległe do siebie ułożone obniżenia i grzbiety. Wąskie na 10-200 m dolinki o różnej głębokości (2-20 m) najczęściej ułożone są równoległe względem siebie. Rozdzielone są one wąskimi grzbietami, które często spełniają rolę lokalnych działów wodnych. Kierunek rozciągnięcia tych form jest zgodny z przebiegiem całej struktury. W polskiej części Łuku Mużakowa rozciągają się w kierunku SW-NE w rejonie Łęknicy. W rejonie Tuplic, zmieniają swą orientację na południkową. Drugim typem form rzeźby terenu są wzniesienia rozciągające się niezgodnie z przebiegiem struktur glacitektonicznych. Mają one kształt łuków o kierunku od N-E po E-W. Są to formy akumulacyjne, które wyznaczają etapy wycofywania się lądolodu w młodszym zlodowaceniu, w czasie gdy morena spiętrzona Łuku Mużakowa była już ukształtowana. Zostały one nałożone na formy starsze, co bardzo dobrze jest widoczne na modelu rzeźby omawianego terenu. Na północy omawianego obszaru występują już znacznie wyższe wzgórza. Rozciągają się one na linii Olszyna – Trzebiel - Jędrzychowiczki. Ich wysokość względna waha się od 12 do 18 metrów. Są to moreny końcowe wyznaczające długi okres postoju lądolodu.

### Rozpoznanie zjawisk glacitektonicznych

Wał Mużakowski jest glacitektonitem rozciągającym się w formie łuku o długości 45 km i szerokości 8 km. W obrębie Wału Mużakowskiego występuje wyraźne zróżnicowanie rzeźby terenu. Występują tu równoległe ukierunkowane, rozciągnięte liniowo obniżenia, tak zwane gizery. Są one elementem dominującym w morfologii terenu. Ich analiza dostarcza ważnych informacji na temat budowy wewnętrznej całego Łuku Mużakowa, gdyż pokrywają się one z wychodniami pokładu głównego węgla (II pokładu łuzycznego). Gizery powstały w wyniku wietrzenia, odsłaniającego się na powierzchni terenu węgla brunatnego (Potonie 1930).

Poza naturalnymi elementami morfologicznymi, na badanym obszarze występują wyrobiska górnicze. Eksploatacja powierzchniowa odbywała się wzdłuż wychodni pokładu węgla. Lokalizacja i kształt tych wyrobisk pozwala na odtworzenie jego przebiegu.

Ważnym zagadnieniem do określenia pozycji stratygraficznej węgla odsłaniających się w obrębie moreny spiętrzonej było zbadanie serii węglowej na obszarze niezaburzonym glacitektonicznie. Wykonano badania w rejonie złoża „Mosty”, który bezpośrednio sąsiaduje z Łukiem Mużakowa. Pozwoliło to na określenie pierwotnego następstwa stratygraficznego poszczególnych ogniw litologicznych w neogenie. Na obszarze złoża „Mosty” występuje pokład główny węgla charakteryzujący się stałą miąższością od 10 do 12 metrów i znaczną rozciągłością lateralną. Leży on na wysokości między +50 m n.p.m. w części południowej a +20 m n.p.m. w części północnej obszaru złoża „Mosty”. Leżący w górnej części formacji ścinawskiej górny pokład towarzyszący nie osiąga tak dużej miąższości (maksymalnie 2,0-5,0 metrów) choć również charakteryzuje się dużą rozciągłością. Natomiast występujący już w obrębie formacji pawłowickiej pokład węgla brunatnego Henryk, nie tworzy ciągłego horyzontu i ma zdecydowanie mniejszą miąższość w stosunku do pokładu głównego (Urbański i inni 2005).



Rys. 2. Mapa wychodni II pokładu łuzkiego w strefie zaburzeń glacictonicznych

Z tego wynika ważny wniosek, że w obrębie zaburzonej struktury Łuku Mużakowa pokład węgla brunatnego leżący do głębokości około 0 m n.p.m., charakteryzujący się miąższością powyżej 10 metrów, można uważać za II pokład łuzicki. Wykartowane na powierzchni Łuku Mużakowa miąższe warstwy węgla, gdzie prowadzono eksploatację górnictwem, można traktować zatem jako osad jednowiekowy. Równolegle rozmieszczone wychodnie tych skał odzwierciedlają budowę strukturalną całej moreny spiętrzonej.

Pokłady węgla odsłaniają się w obrębie całego Łuku Mużakowa, między Łęknicą a Trzebielem. W rejonie Łęknicy rozciągają się one pasowo zgodnie z kierunkiem przebiegu całej megaformy. Powtarzalność stref wychodni węgla brunatnego na mapie strukturalnej oraz liniowe rozciągnięcie kulminacji morfologicznych stropu tej powierzchni jest efektem seryjnego występowania mezostruktur glacitektonicznych.

Nacisk lodolodu powodował powstanie powierzchni nieciągłości na granicy pokładów węgla lub ilów węglistych i nasuwanie się na siebie w formie łusek kolejnych pakietów skalnych. II pokład łuzicki węgla uległ redepozycji z głębokości około 0 m n.p.m. do wysokości ponad 180 m n.p.m.

W rejonie południowym Łuku Mużakowa wyróżniono 5-8 łusek glacitektonicznych. W obrębie tych struktur glacitektonicznych pokład główny odsłania się na powierzchni. W części wschodniej, na wschód od Łęknicy oraz w rejonie Chwaliszowic i Buczyn struktury glacitektoniczne znajdują się pod pokrywą środkowopolskich osadów glacialnych. W części północnej badanego obszaru, poza głównym łukiem na linii Łęknica-Trzebiel, wychodnie węgla układają się w łuki wewnętrzne o coraz mniejszym promieniu. Wyróżnić można łuk na linii Buczyny - Żarki Wielkie, Trzebiel - Siedlec oraz czwarty najbardziej wewnętrzny łuk na linii Tuplice - Chełmice - Jagłowice. Świadczy to o tym, że w rejonie Łuku Mużakowa było szereg moren spiętrzonych, tworzących się sukcesywnie w miarę nasuwania się lodolodu na południe. Zostały one zerodowane i zamaskowane deponowanymi osadami rzecznyymi i wodno-lodowcowymi po okresie zaburzeń glacitektonicznych.

Analiza mapy stropu pokładu głównego wykazała istnienie rejonów, gdzie II pokład łuzicki uległ zrzuconiu w wyniku blokowych ruchów tektonicznych.

### Styl zaburzeń glacitektonicznych

Możliwości odtworzenia budowy wewnętrznej stref zaburzonych glacitektonicznie zależą od gęstości wierceń na tym obszarze. Na liniach przekrojowych, w obrębie Łuku Mużakowa, były otwory, gdzie nie stwierdzono występowania głównego pokładu węgla. W niektórych otworach wiertniczych stwierdzono natomiast kilka miąższych warstw węgla, które można korelować z II łuzickim pokładem węgla (dublowanie się tego samego pokładu). W rdzeniach wiertniczych stwierdzano ponadto występowanie powierzchni nieciągłości. Powyższe obserwacje świadczą o dominującej roli deformacji nieciągłych na badanym obszarze. Nasunięcia i łuski glacitektoniczne obserwowane były również bezpośrednio w terenie. W morfologii terenu struktury te odzwierciedlają równoległe ukierunkowane strefy obniżen i wyniesień.

Na modelu cyfrowym terenu rozpoznano miejsca, gdzie zmienia się kierunek prostoliniowy elementów rzeźby terenu. W rejonie Łęknicy i Bronowic widoczne są formy terenu, które mają kształty zygzakowate. Po stronie niemieckiej przykładem takiej formy jest rozpoznana za pomocą zdjęcia radarowego struktura w rejonie Lieskau, o długości 900 m (Kupetz 2003). Wymienione wyżej elementy rzeźby terenu odzwierciedlają struktury fałdowe. Są to fałdy wąskopromienne związane ściśle z przebiegiem nasunięć. Zmienny jest przebieg osi tych struktur jak i ich kierunek zapadu. Struktury fałdowe zostały również udokumentowane w kopalniach węgla brunatnego.

Zdaniem autora powstanie struktur fałdowych można wiązać z tym samym procesem, który prowadził do powstania odkłuc i tworzeniem uskokuw listrycznych, na przedpolu, blisko krawędzi łądolodu. Nasuwające na siebie pakiety osadów, były na tyle plastyczne, że dochodziło do powstania wtórnych fałdów, co było efektem skracania całej deformowanej strefy w płaszczyźnie horyzontalnej. Lokalizacja i morfologia tych fałdów wskazuje na ścisły ich związek ze strefami nasunięć. Struktury te powstały zdaniem autora w tych samych warunkach dynamicznych łądolodu, co wskazywane było również przez Stackebrandta, Jany (2003). W skrajnych warunkach, gdy różnice w sżytności skał i ich stopniu zawodnienia były krytyczne, struktury fałdowe mogły przeobrazić się w diapiry.

### **GŁĘBOKOŚĆ DEFORMACJI**

Na wykonanych przekrojach w obrębie Łuku Mużakowa zinterpretowano strefę intensywnych, nieciągłych deformacji glacitektonicznych. W jej obrębie następuje bardzo duże zróżnicowanie wysokości zalegania pokładu głównego węgla oraz miejsca jego dublowania w otworach wiertniczych. Występują ponadto strefy, gdzie w ogóle go nie nawiercono. Miąższość tej strefy intensywnych deformacji glacitektonicznych jest zróżnicowana. Większość łusek glacitektonicznych powstała wzdłuż powierzchni ścień, które osiągnęły dzisiejszy poziom około 0 m n.p.m. Deformacje objęły górną część formacji ścinawskiej, w której występował II łuzycycki pokład węgla brunatnego wraz z towarzyszącymi mu warstwami mułków i ilów węglistych. Były to powierzchnie wzdłuż, których dochodziło do inicjacji powierzchni ścień, a w kolejnym etapie do przekształcenia ich w łuski glacitektoniczne.

Badania palinologiczne wykonane w ramach tematu wykazały, że odsłaniające się na powierzchni terenu zaburzone osady przedczwartorzędowe należą do formacji ścinawskiej, pawłowickiej i poznańskiej. Starszych utworów neogeńskich i osadów oligocenu nie stwierdzono. Świadczyć to może o tym, że intensywne spiętrzenia nie objęły zasięgiem tych utworów. W części północnej Łuku Mużakowa, w rejonie Trzebiela, głębokość deformacji była większa. Z analizy przekrojów geologicznych wynika, że powierzchnie wzdłuż, których dochodziło do ścień znajdowały się maksymalnie na głębokości 50 m p.p.m. Głębokość zaburzeń liczona od powierzchni terenu przekraczała tutaj 230 metrów. Leżący poniżej II pokładu łuzycyckiego, pokład należący do formacji rawickiej o miąższości od 5 do 15 metrów nie wykazuje już objawów intensywnych deformacji. Leży on na wysokości od 40 do 20 m p.p.m. i



wyraźnie nawiązuje do morfologii stropu podłoża mezozoicznego, co zdaniem autora jest efektem tektoniki blokowej.

## WIEK DEFORMACJI

Dyjur, Chlebowski (1973) powstanie Łuku Mużakowa wiąźali z okresem zlodowaceń południowopolskich. Wskazówek odnośnie wieku powstania Łuku Mużakowa dostarczają badania geologiczne wykonane w depresji położonej na zapleczu Łuku Mużakowa, która po stronie niemieckiej nazywana jest niecką Bahrenu. Jej kształt, położenie na zapleczu moreny spiętrzonej, zdaniem autora wskazuje na to, że jest to depresja glacitektoniczna. Wolf, Schubert (1994) utwory wypełniające tą strukturę zakwalifikowali do zastoiskowych serii powstałych w czasie transgresji zlodowacenia Elstery, prawdopodobnie w okresie drugiego stadiału (2 Elstereisvorstoß).

Nieco inne informacje dostarczają badania wykonane w obrębie tej samej struktury w rejonie Olszyny (Dobosz i inni 1986). W otworze kartograficznym w jej obrębie stwierdzono występowanie mięjszej (65 metrów) serii zastoiskowej leżącej na utworach miocenu. Gлина leżąca na tych utworach jest dwudzielna. W części dolnej ma cechy gliny typu Grońsko ( $O/K=0,68$ ,  $K/W=1,90$ ,  $A/B=0,47$ ) (Czerwonka i inni 1997). W części górnej gлина te ma już inne cechy litopetrograficzne ( $O/K=1,0$ ,  $K/W=1,16$ ,  $A/B=0,77$ ), które są już typowe dla gliny typu Krzesinki (Czerwonka, Krzyszkowski 1994). Obydwa typy litopetrograficzne można uważać za odpowiednik dolnych glin południowopolskich. Wyżej nawiercono drugi poziom gliny (+48,0-+72,0 m n.p.m.) o następujących współczynnikach petrograficznych ( $O/K=0,91$ ,  $K/W=1,28$ ,  $A/B=0,70$ ) i zakwalifikowano je jako typ Dopiewiec (Czerwonka i inni 1997), korelowany z okresem stadiału odry. Wykonane badania litopetrograficzne potwierdzają zatem, że utwory wypełniające depresję na zapleczu Łuku Mużakowa powstały w czasie pierwszej transgresji lądolodu na obszar Sudetów, czyli najprawdopodobniej w dolnym stadiale zlodowacenia san.

## MODEL ZABURZEŃ GLACITEKTONICZNYCH

Zdaniem autora przedstawione wyżej wyniki badań pozwalają na zastosowanie modelu ścieć cylindrycznych, który został zaproponowany przez Rotnickiego (1976) i zmodyfikowany przez Jaroszewskiego (1994). Podobne modele deformacji glacitektonicznych przedstawili Aber i inni (1989), Kupetz (2001). Wszystkie elementy makro i mezostruktur w obrębie Wału Mużakowa wykazują ten sam kierunek od SW do W. W odślonięciach obserwowano zarówno elementy tektoniki ciągłej jak i dysjunktywnej. Analiza otworów wiertniczych wykazała wyjątkowy stopień komplikacji budowy geologicznej tego obszaru, w miarę wzrostu ilości danych. Trudne do wyjaśnienia, poza uczestniczeniem struktur łuskowych w budowie całego glacitektonitu jest kilkakrotnie, niezgodne załeganie pokładu głównego węgla na różnych wysokościach co obserwowano w szeregu otworów wiertniczych. Dyjur, Chlebowski (1973) powołując się na obserwacje w kopalniach węgla brunatnego, gdzie stwierdzano

zaburzenia fałdowe pokładu węgla, interpretował całą strukturę jako zespół wąskopromiennych fałdów o wergencji południowej. Nie brano pod uwagę natomiast, że obok takich struktur występowały również elementy tektoniki nieciągłej. Zdaniem autora pracy, strefy wału mużakowskiego, gdzie stwierdzano silnie zaburzone fałdy, często z wytartymi skrzydłami, nie wykluczają istnienia łusek glacitektonicznych jako elementu głównego w budowie całej struktury.

Deformacje osadów słabo skonsolidowanych mogą tworzyć kombinację nasunięć i powstających wtórnych deformacji fałdowych (vide Aber i inni 1989, Jaroszewski 1994). Wyjaśnienie zaburzeń glacitektonicznych jedynie naciskami poziomymi powstającymi w wyniku oporu stawianego przez elementy eksponowane w rzeźbie terenu (vide Dyjor 1974) nie tłumaczy dobrze powstania opisywanych stref glacitektonicznych. Ostatnie badania wykazały (Kupetz 1997, 2001), że strefy deformacji w tym rejonie nie ograniczyły się jedynie do jednego łuku moreny spiętrzonej wału mużakowskiego wyraźnie zaznaczającego się w morfologii terenu. Odtworzona rzeźba postglacitektoniczna wskazuje na istnienie na tym obszarze struktur seryjnych (sensu Ber 1987), gdzie występuje szereg form powstałych w wyniku nakładania się kolejnych stref zaburzeń, odzwierciedlających kształt łobów. Badania wykonane w ramach tematu pozwoliły, na podstawie wykonanej mapy strukturalnej i modelu cyfrowego terenu, na wydzielenie poza zasadniczym Łukiem Mużakowa jeszcze trzech wewnętrznych łuków morenowych, położonych bardziej na północ. Szerokość całej strefy zaburzeń nie przemawia zdaniem autora za jej genezą krawędziową lub dolinną.

Obserwowane strefy zaburzeń wraz z towarzyszącymi im depresjami, wpasowanymi w ogólny plan strukturalny, są analogiczne do opisywanych przez Ruszczyńską-Szenajch (1979) glacielewacji i depresji glacitektonicznych.

Innym problemem przy wyjaśnieniu genezy zaburzeń glacitektonicznych na omawianym obszarze, jest wpływ tektoniki wgłębnej. Przedstawione dane świadczą o tym, że jest to obszar o dużej aktywności tektonicznej. Tektonika blokowa zaznacza się nie tylko w podłożu mezozoicznym, ale również stwierdzana była bezpośrednio w osadach miocenu. Tektonice blokowej musiały towarzyszyć również procesy halokinetyczne. Najnowsze dane (Kupetz 2003) pozwalają przypuszczać, że najmłodsze z uskoku przecinają glacitektoniczną strukturę Łuku Mużakowa.

Wydaje się, że na obszarze tak aktywnym neotektonicznie obszarze zaznaczać się musi wpływ tektoniki wgłębnej na procesy glacitektoniczne. Zdaniem autora nie jest to jednak bezpośrednia przyczyna zaburzeń glacitektonicznych. Argumentem może być fakt, że strefy zaburzeń w Polsce zachodniej są powszechne (Hannemann 1995, Urbański 2005). Na północ od Łuku Mużakowa, również tam, gdzie nie wykazano zjawisk neotektonicznych, a podłoże mezozoiczne jest znacznie głębiej, występują strefy silnych zaburzeń (Wzgórza Gubińskie, Wał Zielonogórski, Cybinki, Sieniawy i.t.p.).

Zdaniem autora Łądołód wkraczając dalej na południe przechodząc przez omawiany obszar oddziaływał swym ciężarem na podłoże mezozoiczne. Po jego ustąpieniu stare strefy tektoniczne uległy reaktywacji i doszło do ruchów pionowych. Objawem takich ruchów może być np. wiele poziomów terasowych w obrębie Nysy Łużyckiej, czy topolineamenty na linii uskoku Bolesławiec-Döbern.

**LITERATURA**

- ABER J., CROTT D., FENTON M., 1989 - Glacitectonic landforms and structures. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston/London; pp. 200.
- BER A., 1987 - Glaciotectonic deformation of glacial landforms and deposits in the Suwalki Lakeland (NE Poland). W. J. Meer, Tills and glacitectonics, Balkema, Rotterdam; 135-143.
- CIUK E., 1955 - O zjawiskach glacicitektonicznych w utworach plejstocenijskich i trzeciorzędowych na obszarze zachodniej i północnej Polski. Biul. Instyt. Geol. 70, Z badań czwartorzędu w Polsce. T.6. Warszawa; 107-131.
- CZERWONKA J., A., DOBOSZ T., KRZYSZKOWSKI D., 1997 - Till stratigraphy and petrography of the northern part of Silesia (southwestern Poland). Kwartalnik Geologiczny, 41,2:209-242.
- CZERWONKA J., A., KRZYSZKOWSKI D., 1992 - Pleistocene Stratigraphy of the Central Part of Silesian Lowland, Southwestern Poland. Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences, 40, 3; 203-233.
- CZERWONKA J., A., KRZYSZKOWSKI D., 1994 - Pleistocene stratigraphy and till petrography of the central Great Poland Lowland, Western Poland. Fol. Quatern. 65; 7-71.
- DOBOSZ T., SADOWSKA A., 1986 - Badania litostratygraficzne i palinologiczne osadów kenozoicznych - opracowanie specjalne dla szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, arkusze: Gubin, Kaniów, Zasięki, Lubsko, Łęknica, Trzebień, Żary. arch. CAG Państwowy Instytut Geologiczny.
- DYJOR S., CHLEBOWSKI Z., 1973 - Budowa geologiczna polskiej części Łuku Mużakowa. Acta Universitatis Wratislaviensis Pr. Geolog. Mineral. III No 192. 3-37.
- HANNEMANN M., 1995 - Über Intensität und Verbreitung glazigener Lagerungsstörungen im tieferen Quartär und im Tertiär Brandenburgs. Brandenburg. Geowiss. Beitr. 2, 1. Kleinmachnow; 51-59.
- JAROSZEWSKI W. 1994 - Glacicitektonika. w: Tektonika. Dadlez R., Jaroszewski W. PWN Warszawa.
- KLIMASZEWSKI M., 1952 - Zagadnienia plejstocenu południowej Polski. Biul. Instyt. Geol. nr. 65. Warszawa.
- KUPETZ 2003, Die geomorphologie des Muskauer Faltenbogens im hochauflösenden digitalen Geländemodell. Brandenburgische Geowiss. Beitr. 10, 1/2. Kleinmachnow. s. 19-28.
- KUPETZ M., 1997 - Geologischer Bau und Genese der Stauchendmoräne Muskauer Faltenbogen. Brandenburgische Geowiss. Beitr. 4,2.
- KUPETZ M., 2001 - Glacialtectonik. Naturwissenschaftliche Rundschau. 54Jh. 9 Hf; s. 457-464.
- MEIER, J., J. RASCHER, 1995. Exkursion: Bergbau und Bergbaufolgelandschaft im Bereich der Kohlenfelder Nochten und Lohsa. In: J. Rascher, H. Brause [eds.]: Geowissenschaftliche Probleme der Bergbaufolgelandschaften in Raum Weißwasser/Oberlausitz. Exkurs. f. u. Veröfftl., 196; s. 47-59, Berlin.

- MÜNCH U., NESTLER P. 2003, Airborne Laserscanning als Ergänzung der Erkundungsmethodik von Braunkohlen-Altbergbau. Brandenburgische Geowiss. Beitr., 10:1/2; s. 7-18.
- POTONIE R., 1930 – Über den Muskauer Faltenbogen, seine Oberflächenformen und deren Abhängigkeit von der Beschaffenheit und der Tektonik der Braunkohle. Jb. Preuß. Geol. LA, 51, Berlin. s. 392-416.
- ROTNICKI K. 1976 - The Theoretical Basis for and a Model of Origin of Glaciotectonic Deformations. Quaestio. Geograph. Z.3. Poznań; s. 103-139.
- RUSZCZYŃSKA-SZENAJCH H., 1976 – Glacitektoniczne depresje i kry lodowcowe na tle budowy geologicznej południowowschodniego Mazowsza i południowego Podlasia. Stud. Geol. Pol. 50; s.106.
- SCHWARZBACH M., 1942 – Das Diluvium Schlesiens. N. Jahrb. F. Min., B. 86.
- STACKEBRANDT W., JANY S. 2003 – Airborne Laserscanning für geologische detailuntersuchungen und Abwehrbergbaubedingter gefahren im Muskauer Faltenbogen, Südost-Brandenburg. Brandenburgische Geowiss. Beitr. 10, ½, Kleinmachnow. s.1-6.
- URBAŃSKI K., 2005 - Deformacje glacitektoniczne w środkowo-zachodniej Polsce (rejon zielonej góry) i ich wpływ na rozwój paleogeograficzny regionu. Biul. Państw. Instytut. Geol. 417. s. 169-208.
- URBAŃSKI K., KOŹMA J., KASIŃSKI J. 2005 - Reinterpretacja budowy geologicznej transgranicznego obszaru projektowanego geoparku „Łuk Mużakowa” (współpraca międzynarodowa).
- WOLF L, SCHUBERT G., 1992 – Die spättertiären bis elstereiszeitlichee Terrassen der Elbe und ihrer Nebenflüsse und die Gliederung der Elster-Kaltzeit in Sachsen. Geoprofil 4. s. 1-43.