

# WĘGIEL BRUNATNY W ŁUKU MUŻAKOWA – WARUNKI SEDYMENTACJI, POZYCJA STRATYGRAFICZNA, ZNACZENIE ZŁOŻOWE

## LIGNITE SEAMS IN THE MUSKAU ARCH - SEDIMENTATION CONDITIONS, STRATIGRAPHIC POSITION, DEPOSITS IMPORTANCE

Jacek Robert Kasiński, Barbara Słodkowska - Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

*W strefie zaburzeń glacitektonicznych Łuku Mużakowa, na obszarze występowania bogatych złóż węgla brunatnego na obszarze Polski, Brandenburgii i Saksonii (Zagłębie Lubuskie i Zagłębie Dolnołużyckie), osady czwartorzędowe i znaczna część osadów neogeńskich uległy intensywnym deformacjom, W ich efekcie fragmenty kilku pokładów węgla brunatnego zostały wydźwignięte ku powierzchni w postaci łusek i stromych fałdów glacitektonicznych. Struktury te stanowiły w przeszłości przedmiot eksploatacji po obu stronach granicy.*

*Badania palinostratygraficzne pozwoliły stwierdzić, że w skład struktur tektonicznych zostały zaangażowane trzy pokłady węgla z wyższej części profilu neogenu: I pokład środkowopolski, IIA pokład lubiński i II pokład lużycki. Pokłady węgla z niższej części profilu (III pokład ścianwski i IV pokład dąbrowski) nie zostały zaburzone.*

*Liczne świadectwa wpływów morskich w zapisie palinologicznym, mikro- i makrofaunistycznym oraz sedymentologicznym pozwalają stwierdzić, że obszar zachodniej części Ziemi Lubuskiej był w miocenie kilkakrotnie inkorporowany w obręb Zatoki Brandenburskiej Morza Północnego.*

**Słowa kluczowe:** Łuk Mużakowa, neogeńskie pokłady węgla, procesy glacitektoniczne, wpływy morskie

*On the area of occurrence of rich lignite deposits in Western Poland, Brandenburg and Saxony, in the glaciotectionic deformation zone of the Muskau Arch, both Quaternary and the younger part of the Neogene sediments were extensively deformed. During this process, many fragments of some lignite seams have been uplifted to the soil surface in form of slices and steep glaciotectionic folds. These structures were formerly a subject of mining.*

*Palynological studies displayed than three lignite seams have been involved within glaciotectionic structures. There were: 1st Mid-polish Seam, 2<sup>nd</sup> A Lubin Seam, and 2<sup>nd</sup> Lusatian Seam. The lignite seams from the lower part of Neogene 3<sup>rd</sup> Ścinawa Seam and 4<sup>th</sup> Dąbrowa Seam has been undeformed.*

*Frequent marine influx are evidenced in palynological, micro- and macrofaunistic and sedimentary record. It confirms that this area was several times incorporated inside area of the Brandenburg Gulf of the North Sea.*

**Keywords:** Muskau Arch, Neogene lignite seams, glaciotectionic processes, marine impact

### Położenie i geneza Łuku Mużakowa

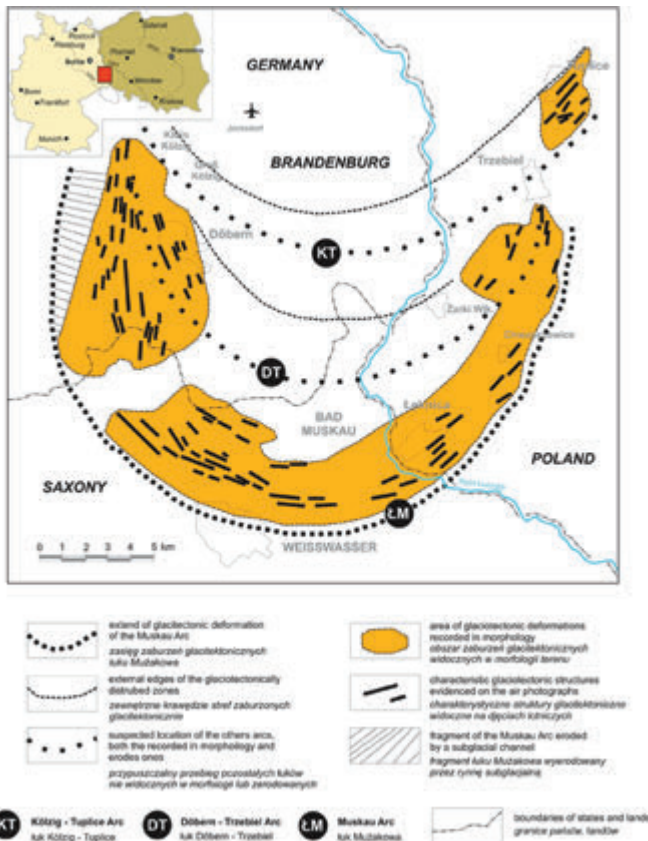
W południowej części pogranicza Polski i Niemiec występuje wyraźnie zarysowana w morfologii strefa zaburzeń glacitektonicznych Łuku Mużakowa, wypiętrzająca ku powierzchni utwory neogenu z węglem brunatnym w szeregu łusek glacitektonicznych moreny spiętrzanej przed czołem lądolodu. Struktura Łuku Mużakowa ma charakter wydłużonej podkowy o osi długości około 20 km, biegnącej od Klein Kolzig na północnym zachodzie, przez Hoyerswerdę i Łęknice na południu, po Tuplice na północnym wschodzie (rys. 1). W osi struktury przebiega dolina Nysy Łużyckiej. W przegubach antyklin glacitektonicznych i w wypiętrzonych częściach łusek na odcinku ponad 10 km ku powierzchni zostały wyniesione utwory neogenu: iły, mułki i piaski z pokładami węgla brunatnego (rys. 2); szerokość pasa ich wychodni sięga 4 .. 6 km. Ze

względu na płytkie występowanie pokładów węgla brunatnego były one powszechnie eksploatowane zarówno w zachodniej (niemieckiej) jak i we wschodniej (dziś polskiej) części omawianego obszaru.

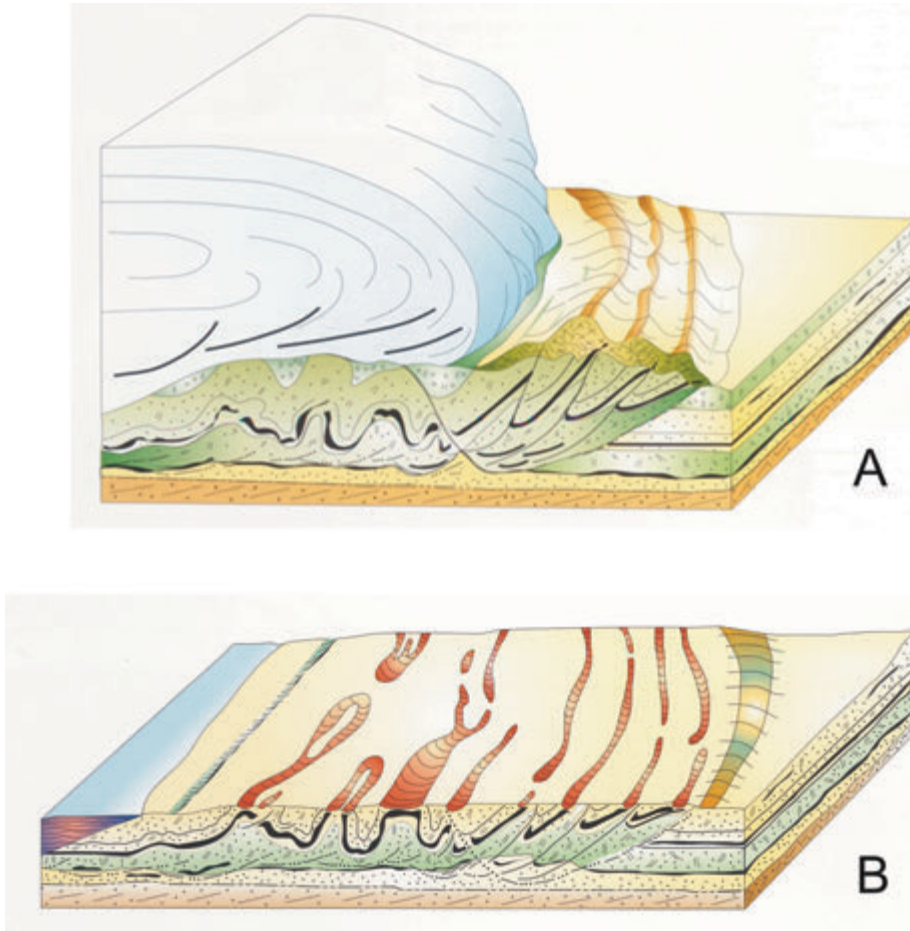
Obecnie eksploatacja węgla i innych kopalin użytecznych na obszarze Łuku Mużakowa została zaniechana, a na tym obszarze ze względu na swoją unikatową budowę geologiczną, liczne świadectwa istnienia dawnego przemysłu i walory przyrodnicze został erygowany międzynarodowy Geopark „Muskauer Faltenbogen – Łuk Mużakowa” pod egidą UNESCO [1].

### Stratygrafia miocenu w aspekcie ewolucji klimatu

Sukcesja osadów mioceńskich rejonu Łuku Mużakowa została opracowana w obszarach sąsiadujących ze strukturą,



Rys. 1. Orientacja deformacji glaciotektonicznych w obrębie moren spiętrzonych przed czołem lądolodu w Łuku Mużakowa (wg [2])  
 Fig. 1. Position of glaciotectionic deformations inside push moraine at the land-ice front (after: [2])



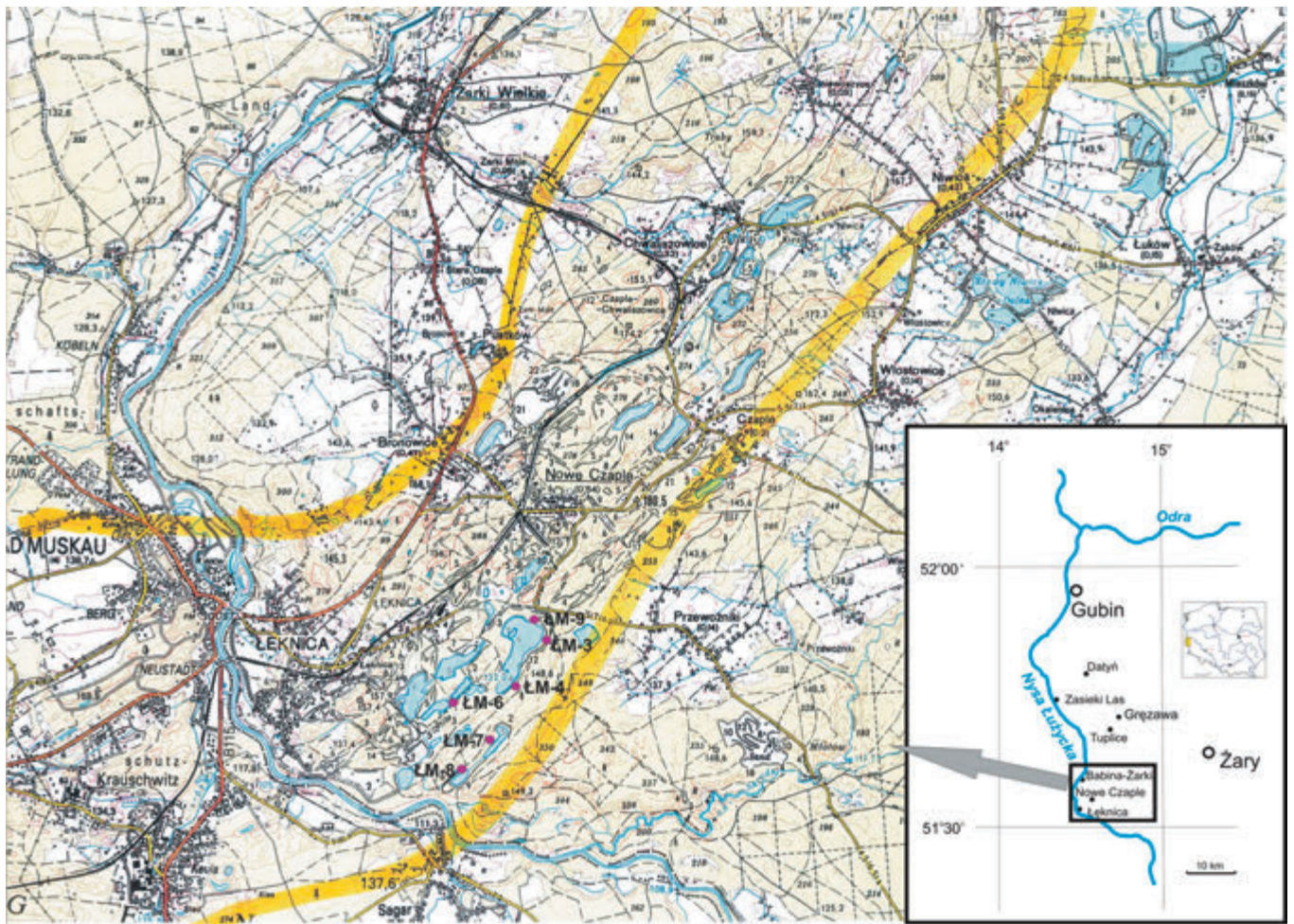
Rys. 2. Ewolucja deformacji glaciotektonicznych w obrębie moren spiętrzonych przed czołem lądolodu w Łuku Mużakowa (wg [3])  
 Fig. 2. Development of glaciogenic deformations inside push moraine at the land-ice front in the Muskau Arch (after: Kupetz [3])

gdzie profil osadów jest niezaburzony, tak po niemieckiej [4], [5] jak i po polskiej stronie struktury. W części zachodniej badania były prowadzone w odkrywkowych kopalniach węgla brunatnego oraz licznych profilach otworów wiertniczych, w części wschodniej - głównie w profilach otworów z rejonu północno-wschodniej gałęzi Łuku Mużakowa (rys. 3 i 4).

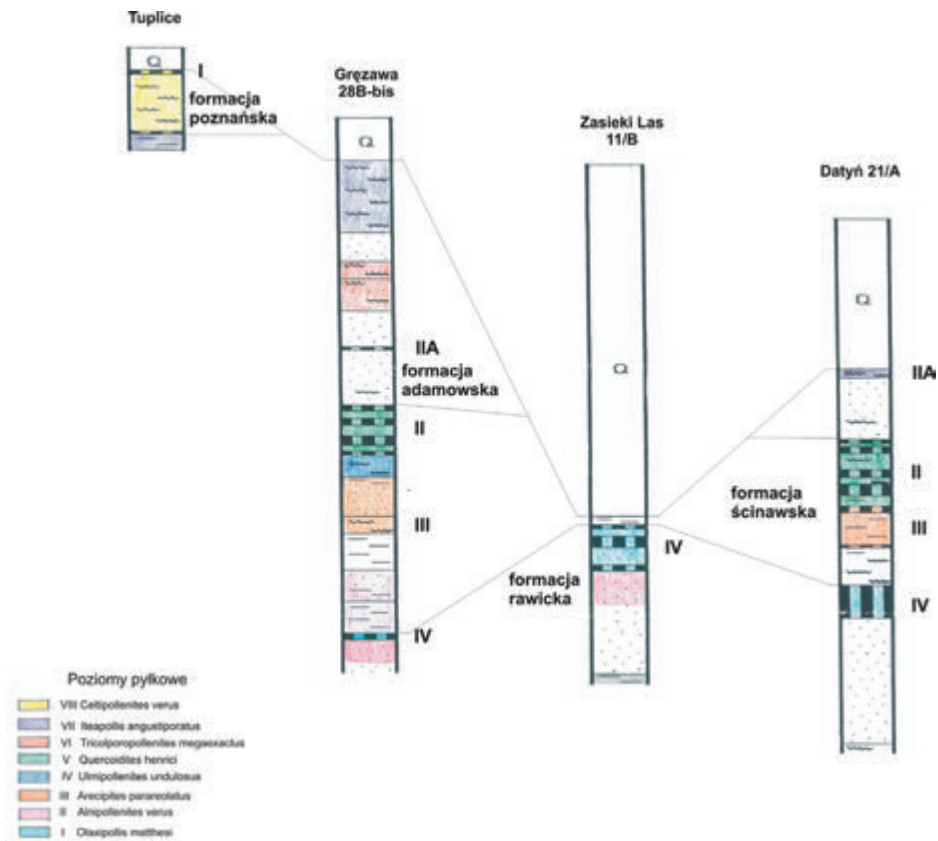
W osadach mioceńskich okolic Gubina, zwłaszcza w profilu wiercenia Gręzawa 28B-bis, została zarejestrowana ciągła sukcesja zespołów pyłkowych od najstarszego dolnego miocenu do schyłku środkowego miocenu, czyli czasu zaniku głównych cykli węglotwórczych [6].

Najstarszy I mioceński zespół pyłkowy [7] został wyróżniony w osadach IV dąbrowskiego pokładu węgla brunatnego. (rys. 5). Podczas sedimentacji tego pokładu dominowały dwa typy zbiorowisk roślinnych - zarośla krzewiaste i mezofilny las mieszany z drzewami o charakterze ciepłolubnym. Panował klimat ciepłomiarkowany do subtropikalnego.

W II poziomie postępujące pogorszenie klimatu spowodowało zubożenie roślinności i zmianę udziału dominujących zbiorowisk roślinnych. Tworzyły się mniejsze, izolowane od wpływów morskich zbiorniki akumulacji torfowej. Klimat był wyraźnie chłodniejszy, przeważał element roślinny klimatu umiarkowanego, związany ze środowiskami lasu iglastego i łęgowego. Z czasem zbiorniki bagienne uzyskały od zachodu kilkukrotne krótkotrwałe połączenie z morzem, co zaznaczyło się w osadach dolnego i środkowego miocenu. W osadach fitogenicznych pojawił się neogeński fitoplankton morski, którego skład, liczebność i stan zachowania wskazują na niewielkie ingresje morskie związane z sedimentacją biogeniczną w brzeżnej strefie zbiornika.



Rys. 3. Lokalizacja punktów pobrania próbek (otwory wiertnicze i punkty w terenie) w północno-wschodniej gałęzi Łuku Mużakowa  
 Fig. 3. Points of sampling at the Muskau Arch north-eastern branch (wells and terrain points)



Rys. 4. Węglonośne utwory miocenu w profilach otworów wiertniczych z północno-wschodniej gałęzi Łuku Mużakowa  
 Fig. 4. Coal-bearing Miocene sequences at the Muskau Arch north-eastern branch well-profiles



Zaznaczająca się w poziomie III zmiana warunków klimatycznych dała impuls dla bujnego rozwoju roślinności z bardzo licznymi elementami subtropikalnymi i bogatymi w składniki zbiorowiskami mezofilnego lasu mieszanego. Panujący klimat był bardzo ciepły, subtropikalny, stanowiąc optimum klimatyczne miocenu (MMCO). Ważną rolę odgrywały wkraczające na torfowisko krzewiaste zarośla z licznymi taksonami ciepłolubnymi (rys. 6). Torfowiska III pokładu ścinawskiego były okresowo podtapiane przez wody morskie, na co wskazuje ubogi zespół neogeńskiego fitoplanktonu morskiego.

Po etapie maksymalnego rozwoju torfowisk związanym z bardzo ciepłym epizodem klimatycznym nastąpiło ochłodzenie, podczas którego dominowała sedymentacja osadów mineralnych. W zachodniej części regionu nadal pojawiały się okresowo połączenia z Zatoką Brandenburską Morza Północnego. W poziomie IV nastąpiło ochłodzenie i zwilgotnienie klimatu: zmniejszył się udział roślin ciepłolubnych, które w większych ilościach występowały wśród zarośli krzewiastych. Główną rolę odgrywały rośliny klimatu umiarkowanego rosnące w lesie łęgowym. Ochłodzenie nie było jednak zbyt głębokie, bo w kolejnej fazie powróciły taksony ciepłolubne, pozbawione tylko gatunków o najwyższych wymaganiach termicznych. Na rozległych terenach Polski zachodniej ponownie zapanowały warunki klimatyczne sprzyjające rozwojowi bagnisk i torfowisk węglotwórczych – powstał wówczas II łuzicki pokład węgla brunatnego). W obrazie pyłkowym V poziomu zaznaczył się

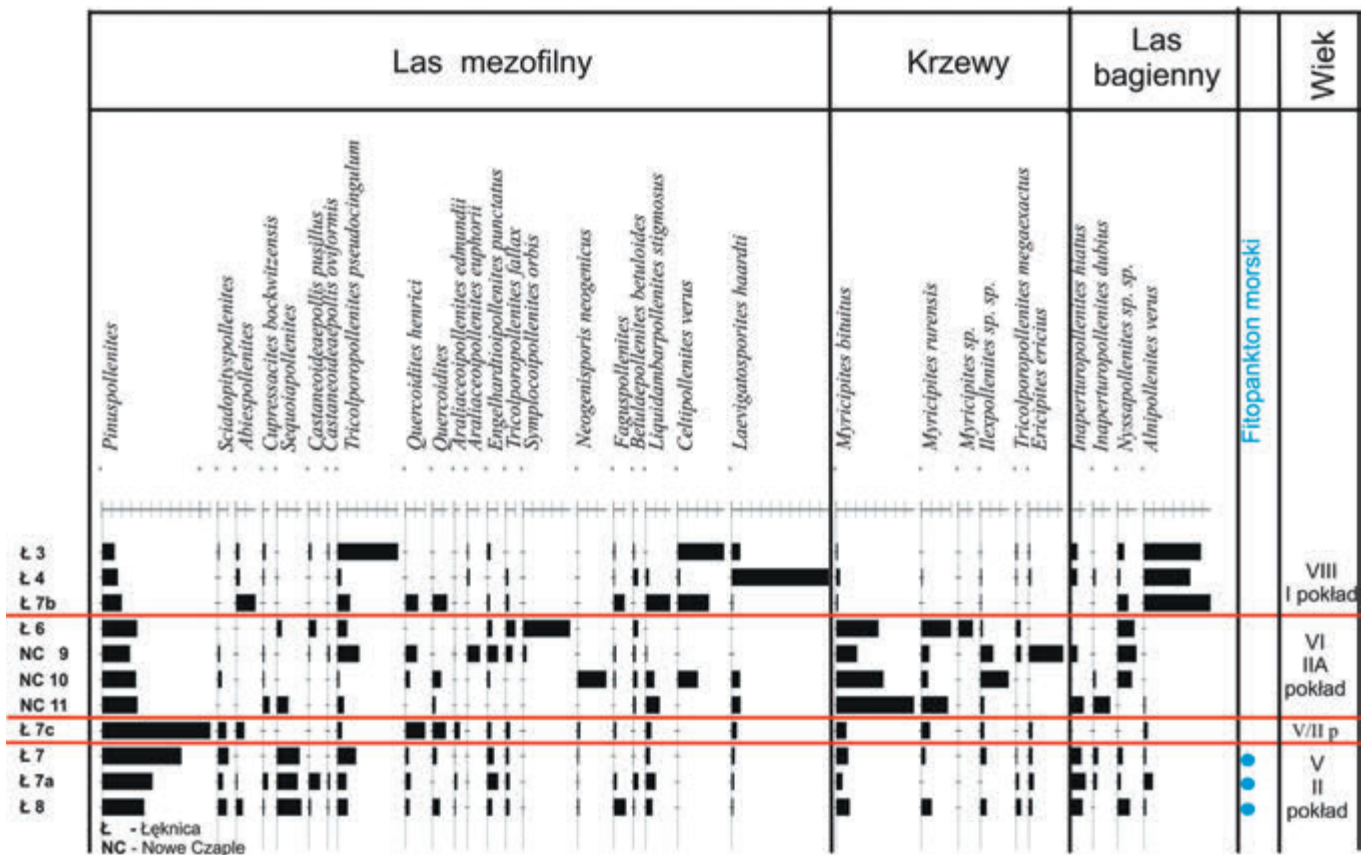
okres dominacji roślinności ciepłolubnej z bogatymi zbiorowiskami lasu mezofilnego i bagiennego (rys. 7). Torfowiska i zbiorniki wodne nadal były zasilane okresowo przez ingredujące od zachodu morze, którego wpływy są udokumentowane obecnością neogeńskiego fitoplanktonu morskiego.

W poziomie VI po fazie kulminacji bagnisk węglotwórczych nastąpiło zasypanie torfowisk materiałem piaszczystym. Panował wówczas klimat ciepłoumiarkowany, a wokół niewielkich zbiorników wodnych rozwijała się roślinność ciepłolubna widoczna zarówno w zbiorowisku lasu mezofilnego, jak i wśród zarośli krzewiastych. Ilościowo dominowały drzewa lasu iglastego, widoczny był też udział lasu łęgowego (rys. 7). Pojawienie się roślin stepowych wkraczających na nadbrzeżne solniska wskazuje na osuszenie klimatu. Powstające w tym czasie węgle IIA pokładu lubińskiego tworzą lokalnie nagromadzenia w postaci nieciągłych warstw i soczewek.

W poziomie VII zaznaczyło się krótkotrwałe ochłodzenie, na co wskazuje większy udział drzew lasu iglastego. Duże znaczenie miały też rośliny lasu mieszanego i zarośli krzewiastych. Nieliczny neogeński fitoplankton świadczy o nieznacznych wpływach morskich.

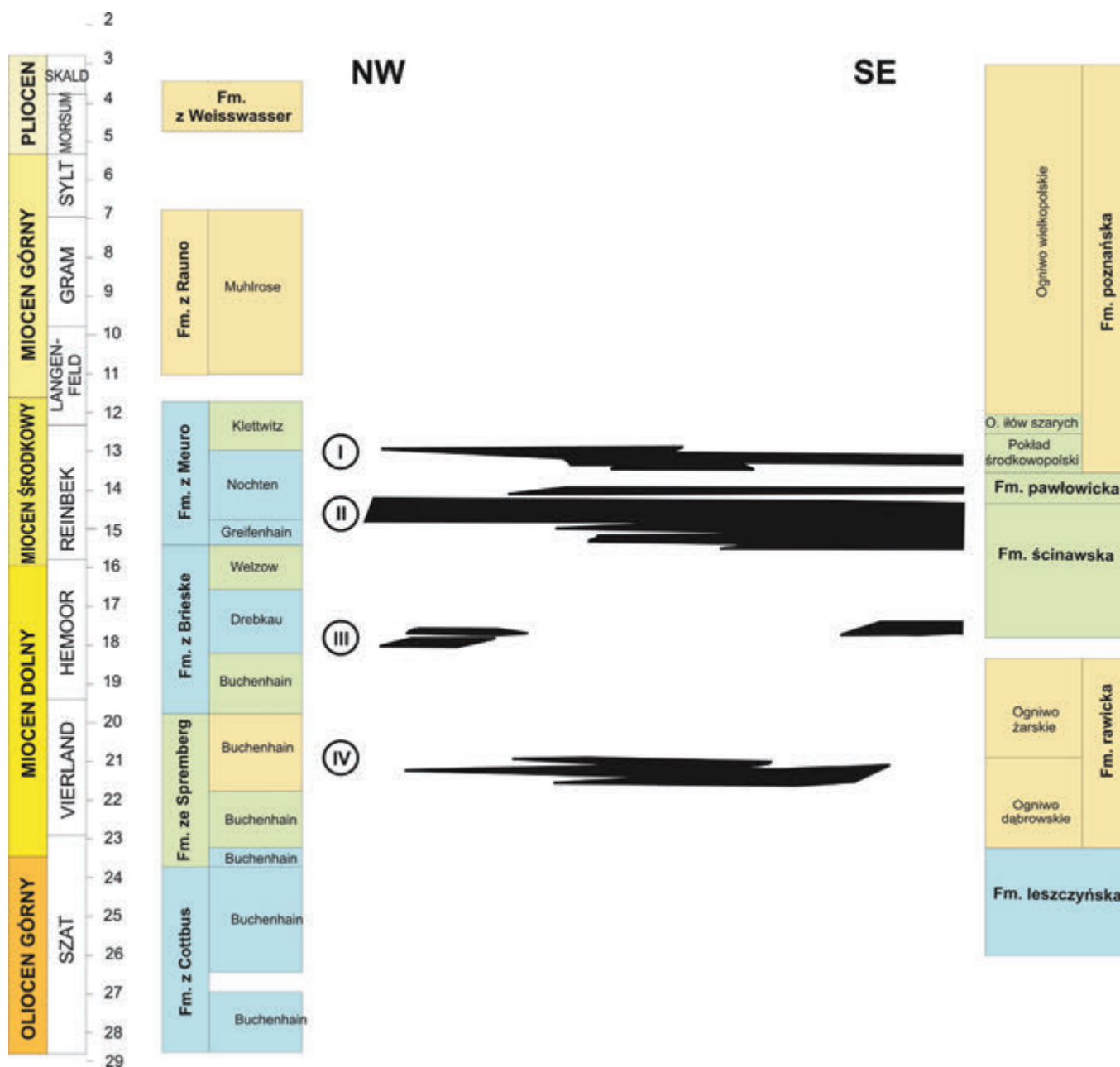
Dalsze zmiany klimatyczne zapisane w zespołach pyłkowych VIII poziomu (rys. 7) wskazują na ocieplenie i zwilgotnienie klimatu odzwierciedlone w sedentacji I środkowopolskiego pokładu węgla brunatnego. W tym okresie większą rolę odgrywały drzewa liściaste klimatu umiarkowanego przy

Ważniejsze sporomorfy oznaczone w próbkach z Łuku Mużakowa



Rys. 7. Sporomorfy oznaczone w pokładach węgla brunatnego w rejonie Łuku Mużakowa (próbki z rozcięć erozyjnych z okolic Łęknicy i nielegalnych sztucznych wyrobisk z okolic Nowych Czapple)

Fig. 7. Sporomorphs defined in the lignite seams at the Muskau Arch region (samples from erosional cuttings near Łęknica and illegal artificial excavations near Nowe Czapple)



Rys. 8. Miocenne pokłady węgla brunatnego na Łużycach Dolnych i Ziemi Lubuskiej na tle podziałów litostratigraficznych wschodnich Niemiec i południowo-zachodniej Polski

Fig. 8. Miocene lignite seams in the Lower Lusatia and Lebus area on a background of East Germany and South-west Poland lithostratigraphic columns

mniej licznej obecności roślin elementu ciepłolubnego. Na dominację wilgotnych siedlisk wyraźnie wskazuje zbiorowisko lasu bagiennego oraz liczna obecność drzew lasu łęgowego. Fitoplankton morski występuje nielicznie.

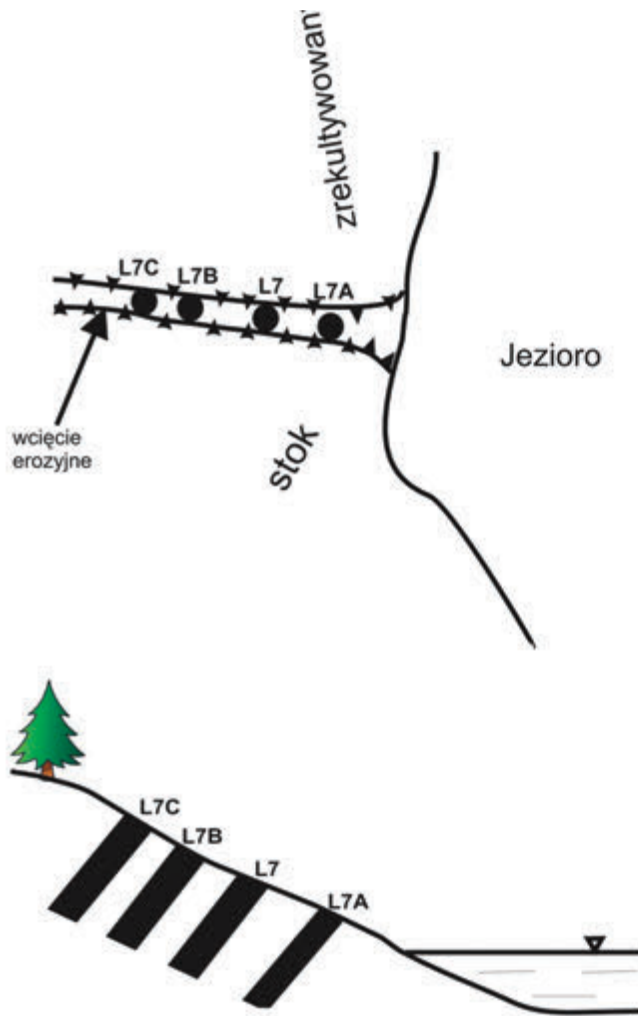
Poziom IX jest odpowiada ostatniemu okresowi sedymentacji węglowej, który zaznaczył się na obszarze Polski zachodniej. Klimat był nadal wilgotny i wystarczająco ciepły aby powstały soczewkowate nagromadzenia materii organicznej o mniejszej miąższości, stanowiące ekwiwalent sedymentacyjny IA oczkowskiego pokładu węgla brunatnego. W tym czasie dominowało zbiorowisko lasu bagiennego, znaczenie miały też ciepłolubne rośliny lasu mieszanego. Podobnie jak poprzednio panował klimat ciepły i wilgotny, jednak z mniejszym udziałem roślin ciepłolubnych. Nie odnotowano już żadnych palinologicznych wskaźników wpływów morskich.

Miocenna sukcesja zbiorowisk przedstawia ogólną tendencję ewolucji szaty roślinnej, gdy rośliny o wysokich wymaganiach termicznych stopniowo ustępowały roślinom

strefy umiarkowanej. Każdy kolejny pokład węgla zawierał coraz mniej gatunków roślin ciepłolubnych, co wskazuje, że okresy ocieplenia były coraz mniej wyraźne. W zapisie sedymentacyjnym tendencja ta manifestuje się w postaci mniej intensywnej sedymentacji materii fitogenicznej - powstające węgle tworzą cienkie nieciągłe pokłady i soczewki. Przyczyn tych zjawisk należy upatrywać w procesach geotektonicznych, rozkładzie mórz i łańcuchów górskich, gdy wynurzający się Łuk Karpat zaczynał stanowić naturalną barierę dla migracji ciepłych i wilgotnych mas powietrza z południa.

#### Miocenne osady węglonośne na obu skrzydłach struktury Łuku Mużakowa

Podjętą próbę korelacji miocennych pokładów węgla brunatnego na Dolnych Łużycach i w Polsce Zachodniej należy zwrócić uwagę na ich niewielki diachronizm (rys. 8). Pokład IV po stronie polskiej powstał wcześniej, już we wczesnym



Rys. 9. Lokalizacja punktów pobrania próbek do badań palinologicznych w okolicach Łęknicy oraz nielegalne wyrobisko („bieda-szyb”) w okolicach Nowych Czapli

Fig. 9. Location of palynological sampling points near Łęknica and illegal excavation near Nowe Czaple

wierlandzie i nie zawiera tu wskaźników facji morskich. Wynika to z faktu, że morze dolnomioceniczne nie dotarło jeszcze na obszar wschodniej części obszaru i sedimentacja odbywała się w izolowanych od wpływów morskich rozległych bagniskach. Natomiast w części zachodniej w tym czasie nie istniały warunki dogodne do tworzenia się węgla. IV pokład utworzył się tam znacznie później, dopiero w środkowym wierlandzie, gdy na tym obszarze następowały niewielkie ingresje morskie [8]. III pokład występuje w niewielkich płatach po obu stronach zasięgu osadów miocenu, w nim są także notowane wskaźniki środowiska morskiego. Sedimentacja osadów organicznych odpowiadających II pokładowi rozpoczęła się wcześniej w polskiej części Łuku Mużakowa. Po niemieckiej stronie jego odpowiednikiem jest pokład IIb, który utworzył się tam później niż po stronie polskiej i pokład II ma mniejszą miąższość. Pokład II po obu stronach granicy zawiera wskaźniki środowiska facji morskiego. W obu skrzydłach Łuku Mużakowa zaznacza się obecność IIa pokładu towarzyszącego. Główny cykl węglotwórczy kończy sedimentacja I pokładu rozpoczynająca się trochę wcześniej w Polsce zachodniej, w którym po raz ostatni rejestruje się również ślady ingresji morskich.

W samym Łuku Mużakowa identyfikacja poszczególnych pokładów węgla sprawiała znaczne trudności z uwagi na wysoki stopień zaburzeń glacictektonicznych i brak odsłoneń dłuższych niezaburzonych odcinków profilu utworów węglitych. Jedynym sposobem na pobranie próbek do badań było

wykorzystanie naturalnych rozcięć erozyjnych na częściowo zrekultywowanych stokach odkrywek nieczynnej kopalni „Przyjaźń Narodów” (rys. 9).

Badania palinologiczne przeprowadzone w rejonie Łuku Mużakowa pozwoliły datować i wzajemnie korelować wiek pokładów węgla brunatnego, które podlegały deformacjom glacictektonicznym (rys. 9, 10, tab. 1). Wykazano, że w obręb struktur glacictektonicznych zostały włączone pokłady II, IIA i I. Tylko w próbkach z pokładu II zaznacza się udział morskiego fitoplanktonu, co świadczy o wpływach morskich w trakcie funkcjonowania węglotwórczych bagnisk w tym czasie. Możliwe jest także prześledzenie rozwoju zbiorowisk roślinnych dominujących na brzegach torfowisk i mokradeł podczas akumulacji materii organicznej. Roślinność, zwłaszcza pochodząca ze zbiorowisk poza torfowiskiem, stanowiła podstawę rekonstrukcji klimatu panującego w czasie tworzenia się biomasy węglotwórczej i wahań zwierciadła wód gruntowych.

### Warunki sedimentacji

W miocenie obszar Łuku Mużakowa okresowo był włączany do strefy przybrzeżnej Zatoki Brandenburskiej Morza Północnego. We wczesnym i środkowym miocenie linia brzegowa zatoki migrowała oscylacyjnie ku wschodowi. Następstwo ingresji morskich po zachodniej stronie granicy polsko-niemieckiej zostało potwierdzone w całym profilu miocenu badaniami

Tab. 1. Wnioski palinostratigraficzne, paleoekologiczne i paleoklimatyczne na podstawie badań próbek węgla brunatnego z Łuku Mużakowa (okolice Łęknicy)  
 Tab. 1. Palynostratigraphic, paleoecological and paleoclimatic conclusions on the basis of lignite samples from the Muskau Arch (near Łęknica)

Numery próbek	Wiek zespołu faza florystyczno-klimatyczna pokład węgla brunatnego piętro	Dominujące zbiorowiska roślinne Fitoplankton	Klimat
Ł 3 Ł 4 Ł 7B	VIII <i>Celtipollenites verus</i> I środkowopolski miocen środkowy	las bagienny	ciepłumiarkowany, wilgotny
Ł 6 NC 9 NC 10 NC 11	VI <i>Tricolporopollenites megaexactus</i> IIA lubiński miocen środkowy	krzewiaste zarośla	ciepłumiarkowany, dość suchy
Ł 7C	V <i>Quercoidites henrici</i> II łużycki miocen środkowy	mezofilny las mieszany	ciepłumiarkowany, dość suchy
Ł 7 Ł 7A Ł 8	V <i>Quercoidites henrici</i> II łużycki miocen środkowy	mezofilny las mieszany fitoplankton morski in situ	ciepłumiarkowany, niezbyt wilgotny

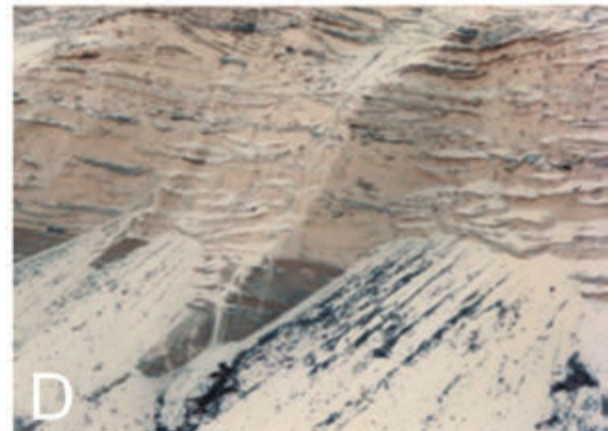
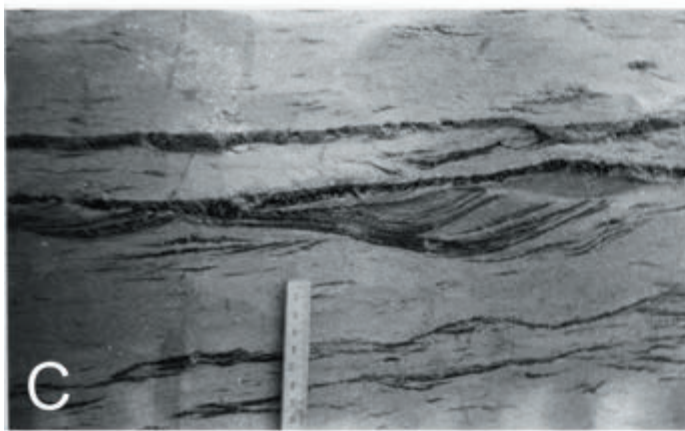
fitoplanktonu [8]. Zasięg wpływów morskich szczegółowo opracowano w formie serii map litofacjalnych [9].

Wpływy morskie są także czytelne na przyległym obszarze Polski południowo-zachodniej po wschodniej stronie granicy. Poza wspomnianym powyżej materiałem palinologicznym (fitoplankton morski) [6], [10] zaznaczają się one zarówno w zapisie paleontologicznym (makro- i mikrofauna, struktury biogeniczne – ichnofauna – [11]) jak i mineralogicznym (glaukonit). Charakter środowiska potwierdza ponadto bogaty inwentarz struktur sedimentacyjnych, charakterystycznych przede wszystkim dla strefy międzyżyłowej morza [12]. Na podstawie wszystkich tych elementów wpływy morskie we wczesnym i środkowym miocenie można na omawianym obszarze uznać za udokumentowane, chociaż ich zasięg terytorialny jest niewielki.

W osadach najniższego miocenu, w węglach IV pokładu dąbrowskiego i w osadach nadległych tworzących formację rawicką nie odnotowano wpływów morskich (rys. 5). Natomiast w wyżej leżących osadach formacji ścinawskiej są już one czytelnie zarówno w węglach brunatnych III pokładu ścinawskiego, jak i w utworach płonnych (rys. 6). W osadach tej formacji opisano różne taksony fitoplanktonu morskiego, m.in.: *Achomospaera alcornu*, *Cordosphaeridium*, *Hystrichocolpoma rigaudiae*, *Opreculodinium*, *O. tiara*, *Spiniferites* (rys. 10, 6). W okolicach Łęknicy w utworach tego wieku udokumentowano bardzo urozmaicony inwentarz struktur sedimentacyjnych oraz zespoły brakiczno-morskiej ichnofauny [12]. Wśród struktur sedimentacyjnych stwierdzono m.in. obecność symetrycznych ripplemarków o genezie falowej (rys. 11A, 11B) oraz wypełnienia kanałów pływowych (rys. 11C, 11D).

Takson	Ł7	Ł7A	Ł7B	Ł8	NC10
<i>Achomospaera</i>	+			+	
<i>Botryococcus</i>	+				
cf. <i>Cribroperidinium</i>	+				
<i>Dapsilidinium pseudocalligerum</i>		+			
<i>Hystrichocolpoma rigaudiae</i>				+	
<i>Hystrichosphaeropsis</i> cf. <i>obscura</i>	+				
<i>Melitasphaeridium</i>					
<i>Nannobarbophora</i>		+			
<i>Opreculodinium</i>	+	+			
<i>Ovoidites ligneolus</i>	+			+	
<i>Pediastrum</i>				+	
cf. <i>Reticulatosphaera</i>	+				
<i>Tetrapidiites crassus</i>			+		+
słodkowodny nieoznaczony			+		
morski nieoznaczony	+				

Rys. 10. Fitoplankton morski w utworach asocjacji brunatnowęglowej Łuku Mużakowa  
 Fig. 10. Marine phytoplankton in the Muskau Arch lignite-bearing association



Rys. 11. Struktury sedimentacyjne strefy międzyplywowej: symetryczne ripplemarki falowe (A-B) i wypełnienia kanałów pływowych (C-D). Rys. 11A i 11C pochodzą z nieczynnych dziś odkrywek kopalni „Przyjaźń Narodów” i „Frieden” (fot. D. Osijuk, 1968), rys. 11B (ripplemarki zmineralizowane związkami żelaza) pochodzi ze zrehabilitowanych obszarów poodkrywkowych z rejonu Nowych Czaplí (fot. J. Koźma, 2003), a rys. 11D z czynnej kopalni odkrywkowej „Nochten” (fot. J.R. Kasiński, 1996)

Fig. 11. Sedimentary structures related to an inter-tidal zone: symmetric wave ripples (A-B), and tidal channels sedimentary fill (C-D). Figs. 11A and 11C from abandoned open-pits of the “Przyjaźń Narodów” and “Frieden” mines (photo D. Osijuk, 1968), Fig. 11B (ripples cemented with iron compounds) from reclaimed open-pit near Nowe Czapple (photo J. Koźma, 2003), and Fig. 11D from still-working opencast mine “Nochten” (photo J.R. Kasiński, 1996)

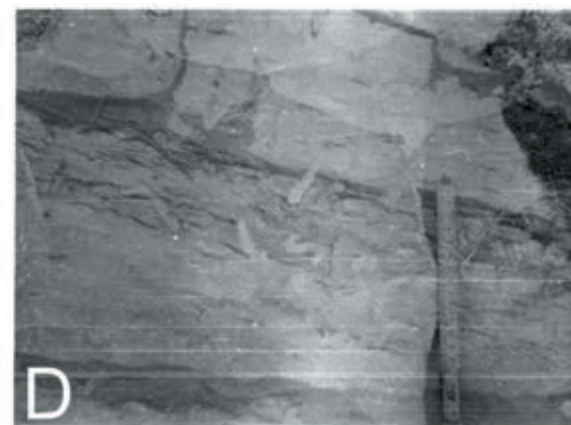
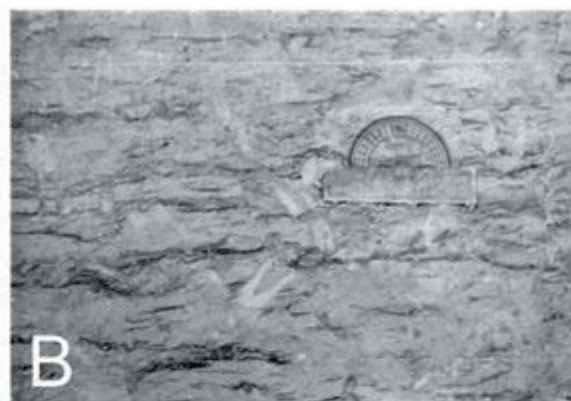
W osadach środkowego miocenu u schyłku formacji ścinawskiej, w mułkach węglistych stanowiących ekwiwalent sedimentacyjny II łużyckiego pokładu węgla brunatnego w okolicach Gubina i Łęknicy, stwierdzono występowanie nielicznych, świeżych ziarn glaukonitu i obecność skamieniałości śladowych *Ophiomorpha nodosa* [13] (rys. 12). W piaskowcach kwarcytowych koło Osieczowa znaleziono odciski małży *Lima* cf. *lima* [14]. Wśród morskiego fitoplanktonu z okolic Gubina stwierdzono: *Achomosphaera*, *Apteodinium*, *Cribroperidinium*, *Dapsilidium* cf. *pseudocolligerum*, *Hystrichocolpoma rigaudiae*, *Hystrichosphaeropsis* cf. *obscura*, *Melitasphaeridium*, *Nannobarbophora*, *Operculodinium*, *O. tiara*, *Reticulosphaera*, *Spiniferites*, *Systematophora*, *Tectatodinium* i. in [10].

W utworach formacji pawłowskiej środkowego miocenu w szarozielonych mułkach występują pojedyncze ziarna glaukonitu, liczne igły gąbek i konkretne wapniste (Piwocki, 1975, Frankiewicz 1982). W tych osadach stwierdzono dobrze zachowane struktury sedimentacyjne, charakterystyczne dla osadów pływowych (Osijuk 1979). Obserwowano także struktury biogeniczne – charakterystycznie rozgałęzione kanały typu *Ophiomorpha*. W osadach tej formacji w rejonie Gubina, Mostów i Żar w piaskach i mułkach spotykano dość liczne świeże ziarna glaukonitu, występowały tam też igły gąbek,

skorupki otwornic, fragmenty skorup mięczaków i kolce jeżowców (Dyjur 1967; Dyjur & Chlebowski 1973) oraz cysty *Dinoflagellata* (Słodkowska 1995, 2014).

W osadach węglistych wiązanych z IIA pokładem węgla w formacji pawłowskiej w rejonie Gubina są również rejestrowane wskaźniki facji morskich oznaczone tu morski fitoplankton: *Achomosphaera*, *Cordosphaeridium*, *Glaphyrocysta*, *Homotryblum*, *Hystrichocolpoma*, *Impagidinium*, *Operculodinium*, *Spiniferites*, *Tectatodinium*, *Thalassiphoea pelagica* [6, 10].

I środkowopolski pokład węgla brunatnego został udokumentowany w północno-wschodniej części Łuku Mużakowa w wierceniu Tuplice, w którym w obrębie piaszczystych interkalacji stwierdzono występowanie dinocyst, będących wskaźnikami facji morskich [16]. Wśród utworów drobnoklastycznych w zasięgu wyższej części formacji poznańskiej stwierdzono występowanie ziarn glaukonitu oraz otwornic z rodzajów *Globigerina*, *Bulimina*, *Cibicides* i *Elphidium*, a także okruchy mszywiolów, igły gąbek, kolce jeżowców [17], [18], [19], [20] można zatem przypuszczać, że w wyższej części ogniwa ilów szarych występują jeszcze ślady ingresji morskich. Są to najmłodsze osady, w obrębie których udokumentowano wpływy morskie - w występujących powyżej soczewkowatych nagro-



Rys. 12. Ichnofauna strefy międzyplywowej: *Ophiomorpha nodosa* (A-C) i ślady żerowania drobnych organizmów mułozernych. Rys. 12A, 12B i 12D pochodzą z nieczynnych dziś odkrywek kopalń „Przyjaźń Narodów” i „Frieden” fot. [15], rys. 12C - z czynnej kopalni odkrywkowej „Nochten” fot. [23]  
 Fig. 12. Ichnofauna from an inter-tidal zone: *Ophiomorpha nodosa* (A-C) and traces of small mud-eaters activity. Figs. 12A, 12B and 12D from abandoned open-pits of the “Przyjaźń Narodów” and “Frieden” mines photo [15], Fig. 12C from still-working opencast mine “Nochten” photo [23]

madzeniach biomasy torfotwórczej, stanowiącej ekwiwalent sedymentacyjny IA oczkowieckiego pokładu węgla brunatnego, nie zarejestrowano już żadnych wskaźników facji morskich.

Porównawcze badania sedymentologiczne i paleontologiczne w wybranych kopalniach węgla brunatnego z Dolnych Łużyc (Klettwitz Nord, Nochten, Welzow Süd), potwierdziły obecność wskaźników facji morskich oznaczono m. in. liczne okazy *Ophiomorpha nodosa*, miejscami tworzące całe poziomy bioturbacji (rys. 12C). Ichnoskamieniałości w postaci nor mieszkalnych (Domichnia) skorupiaków typu współczesnych *Callianassa* [21] są wskaźnikiem środowiska brakicznego,



Rys. 13. Ślady drążenia świdraka okrętowego (*Teredo navalis*) w ksylicie z kopalni piasków szklarskich w Hohenbocka  
 Fig. 13. Hollow traces of *Teredo navalis* in xylite from the Hohenbocka glass-sand mine

plywowego i estuariowego. W kopalni piasków szklarskich w Hohenbocka wśród białych piasków kwarcowych z warstw w Nochten znaleziono uwęglony dobrze zachowany ksylitu z licznymi śladami drążenia, które oznaczono jako ślady drążenia *Teredo navalis* (rys. 13).

### Znaczenie złożowe węgla brunatnego

Liczne złoża węgla brunatnego występujące w Łuku Mużakowa, przede wszystkim w jego obrzeżeniu, są związane głównie z II pokładem łużyckim. Po stronie polskiej są to złoża: Mosty, na NE od Mostów i Lubsco [22], a po stronie niemieckiej: Jänschwalde, Cottbus Nord, Welzow Süd, Oberflöz (w Brandenburgii), oraz Bluno, Spreetal, Burghammer, Scheibe, Lohsa, Nochten, Bärwalde, Reichwalde (w Saksonii). Większość z tych złóż była eksploatowana w XIX i XX wieku, ale tylko trzy: Jänschwalde, Cottbus Nord, Nochten i Reichwalde są eksploatowane do dziś.

W granicach strefy zaburzeń glacictektonicznych Łuku Mużakowa wypiętrzone węgle brunatne II pokładu łużyckiego, zwanego przez górników pokładem dolnym (*Unterflöz*) albo niekiedy pokładem głównym (*Hauptflöz*), oraz II A pokładu lubińskiego i – lokalnie - I pokładu środkowopolskiego były w przeszłości przedmiotem intensywnej eksploatacji w licznych niewielkich kopalniach podziemnych i odkrywkowych [23].

Górnictwo węgla brunatnego w polskiej części struktury Mużakowa rozwijało się w powiązaniu z lokalnym przemysłem ceramicznym, tartacznym, szklarskim i rolno-spożywczym. Intensywny rozwój górnictwa nastąpił w wyniku przemian



Rys. 14. Kopalnia „Conrad” w Groß Kolzig [27]  
Fig. 14. The „Conrad” mine in Groß Kolzig [27]

gospodarczych około połowy XIX wieku. Eksploatację prowadzono metodą głębinową i odkrywkową: w XIX wieku wydobywanie odkrywkowe było rentowne na obszarach, gdzie liniowy stosunek N:W nie mógł przekraczać wartości 4:1, przy minimalnej grubości pokładu węglowego 1,5 .. 2 m. W okolicach Mużakowa, gdzie pokłady węgla są ustawione dość stromo, eksploatacja odkrywka stosowana była tylko na wychodniach, a w niższych częściach łusek wydobywanie było prowadzone było systemem głębinowym. Pokład węglowy udostępniano za pomocą szybów lub upadowych, a eksploatację prowadzono od wykonanych w węglu poziomych przekopów i gęstych chodników systemem filarowym na zawał.

Działalność górnicza w okolicach Mużakowa rozpoczęła się około 1825 r., ale pierwotnie dotyczyła eksploatacji iłów i mułków ałunowych występujących wśród węglonośnych utworów neogenu ponad pokładem węgla brunatnego [24], [25]. Do podgrzewania surowca i ługowania gorącą wodą ałunu używano początkowo drewna, a później rozpoczęto stosować w tym celu węgiel brunatny. Pierwsza kopalnia węgla brunatnego „Julius” powstała w roku 1843 koło miejscowości Wolfshain (Brandenburgia). W następnych latach nowe wystąpienia węgla brunatnego zostały odkryte w wykopach przy budowie linii kolejowej; tak powstały kopalnie „Franz”, „Conrad” „Providentia”

Tab. 2. Złóża węgla brunatnego na obszarze polskiej części Łuku Mużakowa  
Tab. 2. Lignite deposit in the Polish part of the Muskau Arch

Złoże	Powierzchnia złoża	Zasoby węgla	Miąż-szość węgla	Miąż-szość nadkładu	N:W	Wartość opałowa	Popielność	Całkowita zawartość siarki
	km <sup>2</sup>	mln Mg	m	m		Q <sub>i</sub> <sup>r</sup> MJ/Mg	A <sup>r</sup> %	S <sub>i</sub> <sup>r</sup> %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Babina 0I	0.13	4.38	17.2	122.8	7.1	9 567	7.73	0,71
Babina 0II	0.13	1.33	10.2	129.8	13.3	9 538	8.08	0,64
Babina 0III	0.48	6.49	11.4	128.6	11.3	9 538	8.08	0,61
Babina 0-0A	0.22	3.14	16.8	123.2	7.3	9 764	7.12	0,63
Babina F-G	0.30	1.96	12.4	39.4	3.2	9 948	6.18	0,78
Babina-Pustków	3.00	19.20	11.0	46.8	8.1	9 630	8.00	0.85
Babina-Żarki	12.00	142.16	10.7	105.0	9.8	9 332	9.14	0,55
Mosty	20.50	220.00	9.1	73.6	8.1	9 367	9.05	0.78
Łęknica II	bd	3.10	bd	bd	bd	bd	bd	bd
Trzebiel-Tuplice	4.00	50.00	10.0	bd	bd	9 550	8.45	0.76
Ogółem:	> 40.76	451.76						

i „Felix” koło Döbern w Brandenburgii (rys. 14). Systematyczne poszukiwania geologiczne węgla brunatnego, prowadzące do odkrycia dużych złóż we wschodniej części Łuku Mużakowa, rozpoczęto po roku 1846. [24]. Odkryto wówczas złożo Babina (tab. 2) o bilansowych zasobach geologicznych rzędu 230 mln Mg [22]. Na tym złożu uruchomiono w 1921 roku zakład górniczy „Babina”, W roku 1937 wydobywanie węgla w kopalni „Babina” wynosiło 225.5 tys. Mg a produkcja brykietów około 70 tys. Mg. W 1945 roku kopalnia „Babina” została przejęta przez Zjednoczenie Przemysłu Węgla Brunatnego w Żarach i weszła w skład przedsiębiorstwa górniczego „Przyjaźń Narodów” z siedzibą w Łęknicy [26]. Produkcję węgla wznowiono w roku 1946, a roczne wydobywanie węgla dochodziło do 276,7 tys. Mg. W roku 1973 kopalnia została uznana za nierentowną i zlikwidowana.

W drugiej połowie XIX wieku we wschodniej części Łuku Mużakowa powstało wiele drobnych podziemnych kopalń węgla brunatnego, z których kilka („Pauline”, „Wilhelmine II”, „Friede”, „August” i „Friedenschluss”) prowadziło wydobywanie do końca II wojny światowej (Illner 1936). Po wojnie kopalnie głębinowe nie zostały reaktywowane, ale ograniczone próby nielegalnej eksploatacji podziemnej podjęto w latach dziewięćdziesiątych w kilku „bieda-szybach” w okolicy Nowych Czapl.

W wyniku osiadania terenu ponad strefami wyeksploatowanych wyrobisk podziemnych powstawały podłużne, wąskie zapadliska. Są one obecnie zwykle wypełnione wodą, podobnie jak zaniechane wyrobiska odkrywkowe.

## Podsumowanie i wnioski

Badania palinostratygraficzne pozwoliły stwierdzić, że w strefie zaburzeń glacitektonicznych Łuku Mużakowa w skład struktur tektonicznych zostały zaangażowane trzy pokłady węgla z wyższej części profilu neogenu: I pokład środkowopolski (1. Lausitzer Flöz), IIA pokład lubiński (Oberbegleiter Flöz) i II pokład łuzycy (2. Lausitzer Flöz). Pokłady węgla z niższej części profilu (III pokład ścianwski i IV pokład dąbrowski) nie zostały zaburzone.

Zapis palinologiczny, mikro- i makrofaunistyczny oraz sedymentologiczny wpływ morskich pozwala stwierdzić, że obszar zachodniej części Ziemi Lubuskiej był w miocenie kilkakrotnie włączony w obręb Zatoki Brandenburskiej Morza Północnego.

## Literatura

- [1] Worms, T., Kupetz, M., 2010. *Der Nationale Geopark Muskauer Faltenbogen – Geopark Narodowy Łuk Mużakowa*. Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 62; 16-22
- [2] Kupetz M., Keßler J., 1997. *Eismächtigkeitsabschätzung für den „Muskauer Gletscher“*. Freib. Forschungshf., C:470; 53-64, Freiberg
- [3] Kupetz M., 1997. *Geologischer Bau und Genese der Stauchendermoräne Muskauer Faltenbogen*. Brandenburgische Geowiss. Beitr., 4:2; 1-19, Kleinmachnow
- [4] Alexovsky, W., Standke G., Suhr P., 1989. *Beitrag zur weiteren lithostratigraphischen Kartiergliederung des Tertiärprofiles in der Niederlausitz*. Geoprofil, 1:1; 57-62, Freiberg
- [5] Standke G., 1996. *Stratygrafia i facje dolnołużyckiej serii trzeciorzędowej*. Przegl. Geol. 44:12; 1223-1228, Warszawa
- [6] Słodkowska B. 2014. *The Miocene climatic changes in the western Poland in the palynological record*. 9th European Palaeobotany – Palynology Conference, 26-31.08.2014, Padova – Italy, 251
- [7] Piwocki M., Ziemińska-Tworzydło M., 1995. *Litostratygrafia i poziomy sporowo-pyłkowe neogenu na Niżu Polskim*. Przegl. Geol., 43:11; 916-927, Warszawa. Warszawa
- [8] Strauss, C., 1991. *Taxonomie und Biostratigraphie des marinen Mikroplanktons min organischer Wandung im Oligo-Miozän Ostdeutschlands*, Dr. rer. Nat. Diss., 155 p., Bergakademie, Freiberg
- [9] Standke G., Rascher J., Strauss C., 1993. *Relative sea-level fluctuations and brown-coal formation around the Early/Middle Miocene boundary in the Lusatian Brown-Coal District*. Geol. Rundsch., 82:2; 295-305, Berlin
- [10] Słodkowska B. 1995. *Rozwój paleoflory, biostratygrafia i paleogeografia trzeciorzędowej formacji węgla brunatnego w Polsce Zachodniej*. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa
- [11] Kasiński J.R., 2005. *Zapis sedymentacyjny wpływ morskich w mioceńskiej asocjacji brunatnowęglowej w rejonie Łuku Mużakowa*. In: I. Lipiarski [ed.]: “28. Symp.: Geologia formacji węglonośnych Polski”, 28; 39-46, Akad. Gór.-Hutn., Kraków
- [12] Osijuk D., 1979. *Cechy sedymentacji mioceńskich osadów węglonośnych na podstawie wybranych przykładów z obszarów zachodniej i środkowej Polski*. Biul. Inst. Geol., 320; 56-131, Warszawa
- [13] Piwocki, M., Badura, J., Przybylski, B., 2004. *Neogen*. In: *Budowa geologiczna Polski, stratygrafia, kenozoik: paleogen i neogen*. 1:3a, 71-133, Państw. Inst. Geol., Warszawa
- [14] Woźny, E., 1962. *Fauna mioceńska z okolic Bolesławca (Dolny Śląsk)*. Prace Inst. Geol., 30; 225-233, Warszawa
- [15] Osijuk D., 1970. *Cechy sedymentacji mioceńskich osadów węglonośnych na podstawie wybranych przykładów z zachodniej i środkowej Polski*. Rozprawa doktorska. 191pp., Arch. Inst. Geol. Podstaw. Uniw. Warszawskiego, Warszawa
- [16] Sadowska A. 1977. *Roślinność i stratygrafia górnomioceńskich pokładów węgla brunatnego Polski południowo-zachodniej*. Acta Palaeobot., 18;1; 87-122
- [17] Dyjor, S., 1968. *Poziomy morskie w obrębie serii ilów poznańskich*, Kwart. Geol., 12:4; 941-957, Warszawa
- [18] Dyjor, S., 1969. *Budowa geologiczna zaburzonej glacictektonicznie strefy Miostowic koło Żar (Ziemia Lubuska)*. Acta Univ. Wratisl., 86; 3-58, Wrocław
- [19] Dyjor, S., 1970. *Seria poznańska w Polsce zachodniej*. Kwart. Geol., 14:4; 819-835, Warszawa
- [20] Łuczkowska, E., Dyjor, S., 1971. *Mikrofauna utworów trzeciorzędowych serii poznańskiej Dolnego Śląska*. Rocznik Pol. Tow. Geol., 41:2, 337-358, Kraków
- [21] Suhr, P., 1982. *Ophiomorpha nodosa Lundgren 1891 im Miozän der Lausitz*. Abh. Staatl. Mus. f. Mineralogie u. Geologie zu Dresden, 21; 173-176, Leipzig
- [22] Ciuk E., Piwocki m., 1990. *Map of brown-coal deposits and prospect areas in Poland, scale 1:500 000*. 22 p., Państw. Inst. Geol., Warszawa
- [23] Kasiński J.R., 2006. *Złoża węgla brunatnego na obszarze Łuku Mużakowa – budowa geologiczna, dawne górnictwo, stan obecny, przyszłość*. In: I. Lipiarski [ed.]: “29. Symp.: Geologia formacji węglonośnych Polski”, 29; 43-56, Akad. Gór.-Hutn., Kraków
- [24] Pietzsch K., 1925. *Die Braunkohlen Deutschlands*. 488 p., Borntraeger, Berlin
- [25] Klein G., 1927. *Handbuch für den Deutschen Braunkohlenbergbau*, 1:3; 1-511, Halle
- [26] Żaba J., 1976. *Zarys historii eksploatacji surowców mineralnych na terenie województwa zielonogórskiego*. Zesz. Nauk. Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze – Budownictwo, 43:8; 107-133, Zielona Góra
- [27] Illner F., 1928. *Das braunkohlenvorkommen bei Tzschöppeln, O.-L.*. Abh. Naturforsch. Ges. Görlitz, 30:2; 89-144, Görlitz
- [28] Dyjor S., Chlebowski W., 1973. *Budowa geologiczna polskiej części Łuku Mużakowa*. Acta. Univ. Wratislaviensis., Prace Geol.-Mineral.. 192:3; 3-41, Wrocław
- [29] Frankiewicz, J.K., 1982. *Utwory mioceńskie w strefie uskoku środkowej Odry między Lubinem a Bytomiem Odrzańskim (bez warstw poznańskich)*. Geol. Sudetica, 17:1-2; 7-56, Warszawa