

## Próba wyznaczenia współczynnika konsolidacji torfów dla pokładów węgla brunatnego

Marek Widera\*

**An attempt to determine consolidation coefficient of peat for lignite seams.** *Prz. Geol.*, 50: 42–48.

*S u m m a r y.* The use of traditional methods for describing peat consolidation, partly excluding Hager and others' method, provide quite different results. That is why the new method of determination of consolidation coefficient of peat for lignite seams, was worked out by the present author. This method can be applied in case postsedimental erosion, glacitectonics or tectonics are excluded, and consolidation was uniform in every point of a peat-bog/lignite seam. However, if a lignite seam contains sand layers, the obtained results are too low. Two lignite seams were studied: (1) Middle Polish Seam in deposit Patnów IV and (2) Lusatian Seam in deposit Lubstów (eastern Wielkopolska, central Poland). The consolidation coefficients of peat are 1,96 for lignite seam from Patnów IV, and 2,34 for lignite one from Lubstów. In this method the initial thickness of peat (peat-bog depth) prior to covering by mineral sediments is known. Moreover, it is possible to estimate the postsedimental displacements. The performed method is mathematically very simple, but its application needs preparing a great number of geological cross-sections, which is pretty laborious consolidation coefficient, peat, lignite, Tertiary.

**Key words:** consolidation coefficient, peat, lignite, Tertiary

Kompakcja, a raczej konsolidacja gdyż mowa nie tylko o upakowaniu ale także o przejściu osadu luźnego w skałę związłą, torfu jest przedmiotem zainteresowania badaczy od co najmniej kilkudziesięciu lat. Jeszcze w latach 50. XX w. szacowano, że dla powstania 1 m karbońskiego węgla kamiennego potrzebne było nagromadzenie ponad 3 m torfu (Kulczyński, 1952). Powyższe wyniki otrzymano na podstawie pomiarów najdłuższej i najkrótszej średnicy spłaszczonego pni lepidodendronów. W odniesieniu do węgla brunatnych tę metodę stosowali Harisch i Hunger ([W:] Piwocki, 1975), a w Polsce Piwocki (1975). Autor ten dla węgla brunatnych okolic Rawicza otrzymał wartość współczynnika kompaktacji od ok. 3,0 dla odmiany ksylitowej do ok. 5,0 dla odmiany ziemistej. Na podstawie pośrednich wskaźników kompaktacji, jak: wyżej wymienione zmiany przekroju poprzecznego, zmiany kąta nachylenia, skrócenie długości itd. (patrz: Jaroszewski, 1980), dla węgla z KWB Bełchatów Wojewoda (1992) wyznaczył stopnie kompaktacji, które po przeliczeniu na współczynniki kompaktacji mieszczą się w przedziale 1,4–9,0. Z podanych wartości wynika, że dla powstania 1 m węgla brunatnego potrzebne było nagromadzenie od 1,4 do 9,0 m torfu. Przedstawione wyżej współczynniki nie mogą być wykorzystane do odtworzenia wyjściowej miąższości torfu, a także określenia współczynnika kompaktacji/konsolidacji torfu dla całego profilu węglowego. Przyjmując za Kasińskim (1983), który uśrednił wyniki badań Piwockiego (1975), wartość współczynnika kompaktacji 4,0, to głębokość niektórych miocenkich torfowisk w Polsce należałoby szacować na kilkaset metrów np.: strefa dyslokacyjna Poznań-Oleśnica (rowy: Mosiny, Czempinia, Krzywina, Gostynia), rów Lubstowa, rów Bełchatowa, niecka żytańska (Ciuk, 1978; Ciuk i Piwocki, 1982; Kasiński 1983, 1984; Widera, 1998, 2000a, 2001). Można zatem stwierdzić, że wszystkie wymienione pośrednie metody wyznaczania współczynnika kompaktacji torfu informują wyłącznie o deformacjach elementów tor-

fowiska (najczęściej: pni, gałęzi, korzeni, szyszek itd.), a nie całego torfowiska, będącego wielofazową mieszaniną o różnej podatności na kompaktację/konsolidację. Dlatego też właściwe jest mówienie o kompaktacji jedynie makroszczątków roślinnych, natomiast w stosunku całej masy torfowej należy mówić o konsolidacji torfu. Należy zauważyć, że stopień rozkładu — biodegradacji materii organicznej w spągu i w stropie bardzo różniły się już w chwili zakończenia przyrostu masy torfowej (Teichmüller, 1982; Kruszewska & Dybova-Jachowicz, 1997). W wyniku procesów bio- i geochemicznych, w tym również ciśnienia nadkładu, nastąpiła daleko posunięta homogenizacja pokładu węglowego, wykazującego zbliżone wartości parametrów fizycznych w profilu pionowym trzeciorzędowych węgla brunatnych (Piwocki, 1975; Nurkowski, 1984).

Nadrzędnym celem artykułu jest zaprezentowanie metody wyznaczenia współczynnika konsolidacji torfu i odtworzenie pierwotnej głębokości torfowiska w momencie zakończenia sedymentacji fitogenicznej dla trzeciorzędowych pokładów węgla brunatnego. Rekonstrukcja pierwotnej miąższości torfowiska pozwala nie tylko w sposób jakościowy, ale także ilościowy określić rozmiary subsydencji dna basenu sedymentacyjnego (Chain, 1974). W przypadku węgla brunatnych nie można zastosować prostych obliczeń stosowanych dla osadów mineralnych, gdzie kompaktacja jest przede wszystkim funkcją porowatości. Poza tym dla gruntów mineralnych zakłada się nieściśliwość szkieletu ziarnowego (Wiłun, 1987). O wiele bardziej skomplikowany przebieg ma konsolidacja torfu. Oprócz zmniejszenia porowatości w wyniku odpływu wody (konsolidacja filtracyjna) i poprzez przejście części wody wolnej w związaną (konsolidacja strukturalna), dochodzi także do ubytku masy/objętości torfu w wyniku zachodzących procesów biochemicznych (konsolidacja biochemiczna). Część produktów rozkładu materii organicznej, m.in. H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> może zostać usunięta poza przestrzeń pierwotnego basenu sedymentacyjnego (Teichmüller, 1982; Polański, 1988; England & Mackenzie, 1989). Oprócz tego konsolidację filtracyjną i strukturalną można modelować fizycznie, np. w edometrze, śledzić ich przebieg, rozmiary i czas ich zakończenia (Wiłun, 1987).

\*Instytut Geologii UAM, ul. Maków Polnych 16, 61-606 Poznań

Nie można natomiast w warunkach laboratoryjnych prześledzić procesu biodegradacji materii organicznej — konsolidacji biochemicznej, co wynika ze skali problemu (Bayer, 1989). Pomijając wyjściową heterogeniczność litologiczną i redukcyjno-oksydacyjną w obrębie basenu sedymentacyjnego, nie można w laboratorium skrócić czasu procesów biochemicznych (Bayer, 1989; Wiesner i in., 1984). Dodać trzeba, że poddane poniżej analizom węgle brunatne: I — środkowopolskiego i II — łżyckiego pokładu tworzyły/tworzą się przez ostatnie ok. 26–15 mln lat (Dyjur & Sadowska, 1986; Standke i in., 1993; Piwocki & Ziemińska-Tworzydło, 1995).

W związku z przedstawionymi trudnościami wyznaczenia współczynnika konsolidacji torfu dla trzeciorzędowych węgli brunatnych niemieccy geolodzy zastosowali oryginalne podejście do omawianego problemu (Hager i in., 1981). Autorzy podjęli próbę określenia wyjściowej miąższości torfu i jego kompaktacji/konsolidacji, co po wykonaniu bardzo prostych przeliczeń pozwala wyznaczyć współczynnik konsolidacji torfu dla badanego węgla brunatnego. Metoda ta wymaga krótkiego omówienia, gdyż koncepcyjnie bliska jest metodzie przedstawionej w tym artykule.

#### Metoda Hagera i in. (1981) wyznaczania wyjściowej miąższości torfu

Celem badań Hagera i in. (1981), podobnie m.in. jak niniejszego opracowania, było wyznaczenie wyjściowej grubości torfu, z którego powstał trzeciorzędowy węgiel brunatny. Badania przeprowadzono w okolicach Kilonii, w tzw. basenie dolnoreńskim. Analizom poddano osady mineralne i organiczne z 4 otworów, z których w jednym pokład węgla brunatnego osiągał miąższość 101 m.

Autorzy przyjęli dwa założenia. Pierwsze, że w czasie rozwoju torfowisk w basenie dolnoreńskim w ich otoczeniu dochodziło do sedymentacji mineralnej rzecznej i morskiej. Drugie, że osady organiczne i mineralne na badanym obszarze nie uległy erozji postsedymentacyjnej. Oba założenia wydają się w pełni uzasadnione. Współcześnie również obserwuje się ząbienie osadów lądowych organicznych i mineralnych z osadami mineralnymi Morza Północnego (Raistrick & Marshal [W:] Kulczyński, 1952; Tobolski, 2002). Podobna sytuacja istniała na omawianym obszarze zapewne w trzeciorzędzie, kiedy rozwijał się rów dolnego Renu (Vinken, 1988). W warunkach wzmoczonej subsydencji podłoża — rozwój rowu tektonicznego, dominuje akumulacja, zaś erozja może zachodzić tylko lokalnie, a osady ulegają redepozycji w obrębie tego samego basenu sedymentacyjnego (Kasiński, 1983, 1984; Widera, 1998, 2000a).

Hager i in. (1981) porównali lateralnie ząbające się węgle brunatne i równowiekowe osady mineralne. W jednym otworze miąższość węgla brunatnego wynosi 101 m, w drugim otworze natomiast, odległym o ok. 35 km, miąższość osadów mineralnych z przewarstwieniami węgla brunatnych osiąga 258,5 m. Uwzględniając nacisk obecnego nadkładu obliczono, że w chwili zakończenia rozwoju torfowiska (obecnie 101 m węgla brunatnego) miąższość osadów mineralno-organiczných w porównywanym otworze była większa o 9,5 m i wynosiła 268 m. Zatem przyjęto, że wyjściowa grubość torfu, z którego

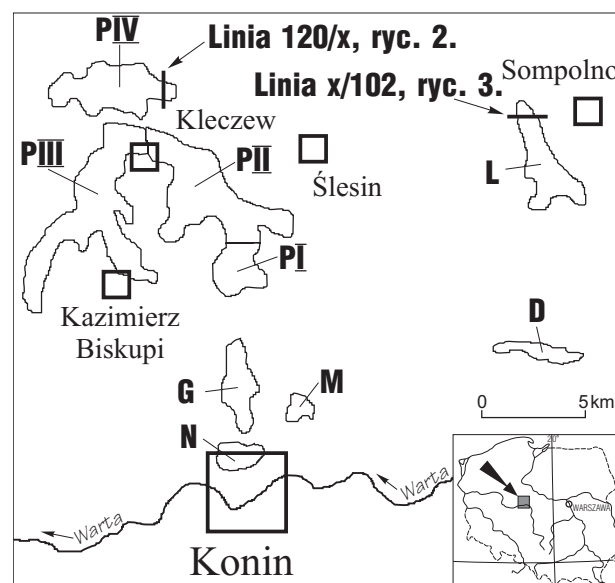
powstało 101 m węgla brunatnego, wynosiła także 268 m (Hager i in., 1981). Jak łatwo można obliczyć konsolidacja wynosi 62,3% ( $268\text{ m} - 101\text{ m} / 268\text{ m} \times 100\% = 62,3\%$ ), a współczynnik konsolidacji 2,65 ( $268\text{ m} / 101\text{ m} = 2,65$ ). Dla drugiej pary porównywanych otworów, odległych o ok. 10 km, obliczono konsolidację na 70,9% ( $57\text{ m} - 16,5\text{ m} / 57\text{ m} \times 100\% = 70,9$ ), zaś współczynnik konsolidacji równa się 3,45 ( $57\text{ m} / 16,5\text{ m} = 3,45$ ).

#### Zalety i wady metody Hagera i in. (1981)

Największą zaletą metody Hagera i in. (1981) jest oryginalne podejście, zupełnie odmienne niż innych badaczy, do problemu konsolidacji osadów organicznych. Wymienieni autorzy jako pierwsi podali szacunkową, jak sami piszą, wyjściową miąższość torfu (głębokość torfowiska), z którego w wyniku konsolidacji powstał węgiel brunatny.

Można wskazać również znaczące uchybienia omawianej metody. Podane wyniki są w znacznym stopniu przypadkowe, na co wpływ ma odległość (10–35 km) między porównywanymi otworami oraz ich dobór. Gdyby porównano przemiennie otwory, tj. otwór o miąższości 268 m osadów mineralno-organiczných po dekonsolidacji i otwór z 16,5 m warstwą węgla, które są oddalone o ok. 30 km ( $30\text{ km} < 35\text{ km}$ , porównaj wyżej), to otrzymano by niewiarygodną konsolidację wynoszącą 93,8% ( $268\text{ m} - 16,5\text{ m} / 268\text{ m} \times 100\% = 93,8\%$ ), a współczynnik konsolidacji równałby się 16,2 ( $268\text{ m} / 16,5\text{ m} = 16,2$ ). Podany przykład nie weryfikuje negatywnie samej metody, ale ukazuje ograniczenia jej stosowalności w przypadku bardzo oddalonych otworów wiertniczych.

Wadą metody Hagera i in. (1981) jest skomplikowane obliczanie wyjściowej miąższości osadów mineralno-organiczných. O ile obliczenia inicjalnej miąższości osadów



Ryc. 1. Lokalizacja analizowanych linii przekrojowych na ryc. 2 i 3; Złoże węgla brunatnego: N — Niesusz, M — Morzysław, G — Gosławice, D — Drzewce, L — Lubstów, PI — Pątnów I, PII — Pątnów II, PIII — Pątnów III, PIV — Pątnów IV

Fig. 1. Location of the analyzed crosssections in Figs 2 and 3; Lignite deposits: N — Niesusz, M — Morzysław, G — Gosławice, D — Drzewce, L — Lubstów, PI — Pątnów I, PII — Pątnów II, PIII — Pątnów III, PIV — Pątnów IV

mineralnych są stosunkowo proste, o tyle obliczenia dotyczące kilkunastometrowych nawet przewarstwień organicznych są dowodem kołowym. Autorzy konsolidację grubszego pokładu obliczają m.in. na podstawie cieńszych pokładów, co jest błędne metodycznie. Należałoby więc do porównań stosować dane z otworów z jednej strony wyłącznie węglowych, a z drugiej strony wyłącznie bezwęglowych.

Metodę Hagera i in. (1981) można stosować dla równowiekowych osadów organicznych i ich mineralnych ekwiwalentów. Basen dolnoreński należy do obszarów, gdzie zazębianie się facji morskich i lądowych, wsparte badaniami paleontologicznymi i palinologicznymi, pozwala na korelację osadów różnowiekowych na znacznych obszarach (Fabian; Schneider & Thiele [W:] Hager i in. 1981). W przypadku polskich złóż węgla brunatnego i ich otoczenia korelacja osadów jednowiekowych jest trudna, a często wręcz niemożliwa. Bardziej rozpowszechniona jest korelacja litostratygraficzna, a granice jednostek litostratygraficznych są najczęściej diachroniczne.

W Polsce metodę Hagera i in. (1981), jak dotychczas, zastosował jedynie Kasiński (1984). Dla pokładów węgla brunatnego z rowów Krzywina, Złoczewa oraz niecki żytańskiej autor ten wyznaczył wartość współczynnika konsolidacji torfu mieszczący się w przedziale 1,7–2,9. W cytowanej pracy zamieszczono obok przekrojów geologicznych wykresy słupkowe przedstawiające aktualną miąższość węgla brunatnego i pierwotną miąższość torfu. Niemniej jednak nie podano danych liczbowych (miąższości osadów), na podstawie których wspomniane wykresy skonstruowano. Dlatego podane w pracy Kasińskiego (1984) wielkości współczynnika konsolidacji mają raczej charakter półilościowo-jakościowy, a nie ilościowy.

### Proponowana metoda wyznaczania współczynnika konsolidacji torfu dla pokładów węgla brunatnego — założenia metody

**I.** Powierzchnia torfowiska, a później pokładu węglowego nie uległy erozji postsedymentacyjnej.

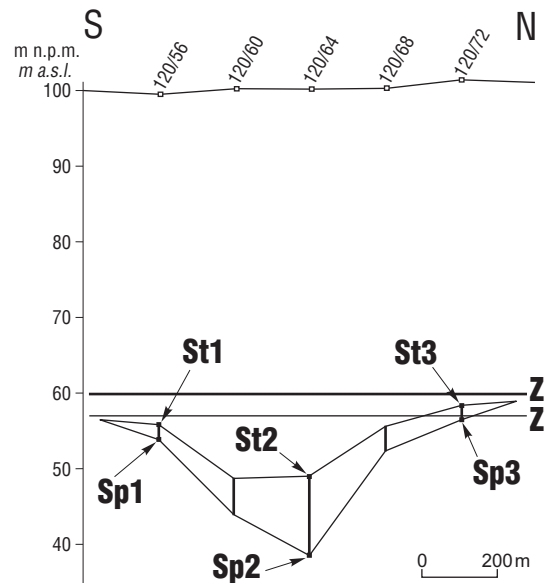
**II.** Torfowisko/pokład węglowy nie podlegały deformacjom wewnętrznym — tektonicznym i zewnętrznym — glacitektonicznym po zakończeniu sedymentacji organicznej.

**III.** Współczynnik konsolidacji torfu w obrębie pokładu węglowego jest równy, o ile nie ma przerostów mineralnych.

Wolno przyjąć, że I założenie jest spełnione jeśli w stropie pokładu węglowego występują osady drobnoziarniste, jak: drobne piaski, mułki, a przede wszystkim ility. Znajomość mechanizmów sedymentacji mineralnej w basenach węglotwórczych upoważnia do stwierdzenia, że wymienione osady reprezentują najczęściej facje jeziorne i bagienne, gdzie akumulacja zdecydowanie dominuje nad erozją (Kasiński 1983, 1984; Widera 1998, 2000a). Analizom poddano głównie I — środkowopolski pokład węglowy przykryty formacją poznańską, a zatem trzeciorzędową erozję można wykluczyć.

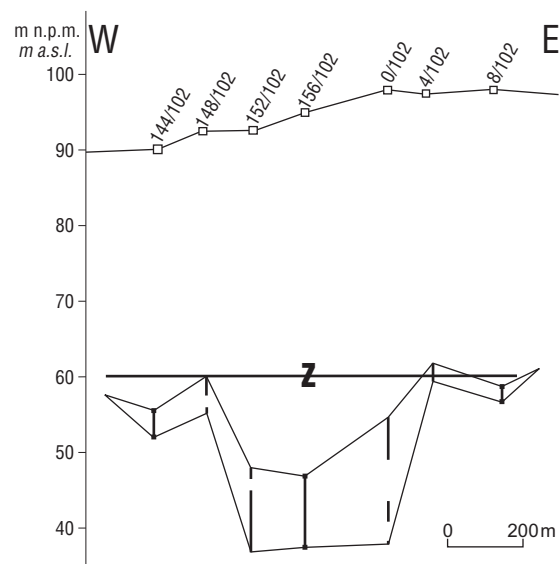
Erozja czwartorzędowa natomiast, a dokładniej — plejstocenska, wyraźnie zaznaczyła się na obszarach większości złóż węgla brunatnego. Wyjątkowo duży, niszczący wpływ wywarła egzaracja lądolodów skandynawskich i

ich wód roztopowych na płytko zalegające złoża we wschodniej Wielkopolsce (Widera, 1998, 2000b, 2001). Niemniej jednak wpływ plejstocenskich procesów destruk-



**Ryc. 2.** Uproszczony przekrój geologiczny przez złożo węgla brunatnego Pątnów IV wzdłuż linii 120/x (lokalizacja na ryc. 1); St<sub>1</sub>, St<sub>2</sub>, St<sub>3</sub> — wysokość stropu pokładu węgla w m n.p.m.; Sp<sub>1</sub>, Sp<sub>2</sub>, Sp<sub>3</sub> — wysokość spągu pokładu węgla w m n.p.m.; pozostałe objaśnienia w tekście

**Fig. 2.** Simplified section through the Pątnów IV lignite deposit along the line 120/x (location in Fig. 1); St<sub>1</sub>, St<sub>2</sub>, St<sub>3</sub> — of lignite seam top in m a.s.l.; Sp<sub>1</sub>, Sp<sub>2</sub>, Sp<sub>3</sub> — height of lignite seam bottom in m a.s.l.; other explanations in text



**Ryc. 3.** Uproszczony przekrój geologiczny przez złożo węgla brunatnego Lubstów wzdłuż linii x/102 (lokalizacja na ryc. 1); Objaśnienia w tekście i na ryc. 2

**Fig. 3.** Simplified section through the Lubstów lignite deposit along the line x/102 (location in Fig. 1); Explanations in text and in Fig. 2



**Tab. 1. Parametry wysokościowe pokładu węgla brunatnego ze złoża Pątnów IV wykorzystane do obliczeń współczynnika konsolidacji torfu — linia 120/x**

Table 1. Lignite seam parameters from Pątnów IV deposit used for calculations the consolidation coefficient of peat — line 120/x

Numer otworu	Rzędna terenu m n.p.m.	Rzędna stropu węgla m n.p.m.	Rzędna spągu węgla m n.p.m.	Miąższość węgla m
<b>120/56</b>	<b>99,3</b>	<b>55,9</b>	<b>53,8</b>	<b>2,1</b>
120/60	100,2	48,9	43,5	5,4
<b>120/64</b>	<b>100,32</b>	<b>48,92</b>	<b>38,52</b>	<b>10,4</b>
120/68	100,6	55,6	52,2	3,4
<b>120/72</b>	<b>101,49</b>	<b>58,29</b>	<b>56,59</b>	<b>2,0</b>

cyjnych na zmianę paleomorfologii stropu pokładów węglowych w postaci egzaracyjnych rynien glacialnych lub erozyjnych rynien subglacialnych jest łatwy do stwierdzenia. Dlatego otwory, w których na węglu zalegają bezpośrednio osady czwartorzędowe nie mogą być wykorzystane w proponowanej metodzie.

Odnosnie założenia II — najczęściej przyjmuje się, że wygasanie tektonicznej subsydencji podłoża lub jej raptowne przyspieszenie, w kontekście zmian klimatycznych, było główną przyczyną zakończenia rozwoju trzeciorzędowych torfowisk (Hager i in., 1981; Standke i in., 1993; Piwocki & Ziemińska-Tworzydło, 1995; Sadowska, 1995). Niemniej jednak w przypadku pewnych fragmentów niektórych złóż, np. strefy dyslokacyjnej Poznań—Oleśnica (Ciuk, 1978; Walkiewicz, 1984), rowów Lubstowa i Kleczewa (Widera, 2000a, 2000b, 2000c), przejawy późnotrzeciorzędowych, a nawet czwartorzędowych ruchów tektonicznych są łatwo czytelne. Postsedymenacyjne deformacje tektoniczne zaznaczają się w postaci: uskoków transformacyjnych (Ciuk, 1978; Walkiewicz, 1984), wysokiej pozycji hipsometrycznej części złoża (Widera, 2000a), anormalnie miąższych interglacialnych osadów organicznych (Widera, 2000c). Proponowana metoda wyznaczania współczynnika konsolidacji torfu pozwala wyróżnić i oszacować rozmiary deformacji wywołanych postsedymenacyjną tektoniką wglębną.

**Tab. 2. Parametry wysokościowe pokładu węgla brunatnego ze złoża Lubstów wykorzystane do obliczeń współczynnika konsolidacji torfu — linia x/102**

Table 2. Lignite seam parameters from Lubstów deposit used for calculations the consolidation coefficient of peat — line x/102

Numer otworu	Rzędna terenu m n.p.m.	Rzędna stropu węgla m n.p.m.	Rzędna spągu węgla m n.p.m.	Miąższość węgla m
<b>144/102</b>	<b>90,21</b>	<b>55,41</b>	<b>51,81</b>	<b>3,6</b>
148/102	93,68	60,18 55,98	57,58 55,28	2,6 0,7
152/102	93,63	48,13 45,13	46,63 36,93	1,5 8,2
<b>156/102</b>	<b>95,06</b>	<b>46,96</b>	<b>37,56</b>	<b>9,6</b>
0/102	97,71	54,71 43,21 8,41	49,21 40,51 38,11	5,5 2,7 0,3
4/102	97,0	61,8	59,4	2,4
<b>8/102</b>	<b>98,0</b>	<b>58,7</b>	<b>56,5</b>	<b>2,2</b>

Procesy glacictoniczne szczególnie wyraźnie zafałdowały pokłady węglowe w zachodniej Polsce (Ciuk, 1981; Widera 2000b). Niemniej jednak również w innych częściach kraju, zwłaszcza w stropie I — środkowopolskiego pokładu, deformacje glacictoniczne mogą występować. Dobrym przykładem są wielkopolskie odkrywki węgla brunatnego, gdzie

stwierdzono liczne deformacje glacictoniczne, jak: struktury diapirowe, struktury iniekcyjne, porwaki oraz fałdy obalone i łuski odwracające porządek stratygraficzny (Widera, 2000c, 2001). Struktury wywołane glacictoniką są najczęściej strome i osiągają wysokość od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów, z tego względu rzadko udaje się je nawiercić. Niemniej jednak w sytuacji kiedy w sąsiedztwie otworów o zbliżonej miąższości węgla występuje otwór, w którym grubość węgla jest zdecydowanie większa, a nie jest to efekt tektoniki wglębnej, to trzeba zachować dużą ostrożność. Należy wykonać pomocnicze przekroje, a w przypadku jakichkolwiek wątpliwości otwór o anormalnej miąższości węgla nie może być brany pod uwagę przy wyznaczaniu współczynnika konsolidacji.

Jeśli chodzi o założenie III — w chwili zakończenia sedymentacji fitogenicznej powierzchnia torfowiska była wyrównana, stymulowana poziomem wód gruntowych (Kulczyński, 1952; Hager i in., 1981; Standke i in., 1993; Sadowska, 1995, Kruszewska & Dybowa-Jachowicz, 1997). Przebieg konsolidacji do tego momentu nie będzie brany pod uwagę, chociaż niewątpliwie procesy biodegradacji materii organicznej, zwłaszcza w przyspągowych warstwach torfowiska, były daleko posunięte. Przerosty mineralne natomiast spowodowały dodatkowo również znaczną konsolidację filtracyjną i strukturalną. Ponieważ przerosty mineralne obniżają współczynnik konsolidacji torfu, dlatego najbardziej wiarygodne

wyniki można uzyskać analizując otwory z ciągłym pokładem węglowym. Od chwili zmiany sedymentacji organicznej na mineralną intensyfikacji nabrały procesy konsolidacji filtracyjnej i strukturalnej, wywołanych ciężarem wyżejległych osadów trzecio- i czwartorzędowych oraz łądolodów skandynawskich. Część wolnej wody została wyparta z przestrzeni porowej torfu/węgla, a część przeszła w wodę związaną (Wiłun, 1987). Wymienionym procesom fizycznym przez cały czas towarzyszyły procesy biochemiczne — konsolidacja biochemiczna, których skutkiem było także zmniejszenie objętości torfu/węgla brunatnego (Teichmüller, 1982; Polański 1988; England & Mackenzie, 1989; Kruszewska, Dybowa-Jachowicz, 1997). Ze względu na duże różnice w gęstości objętościowej torfu i węgla

brunatnego w stosunku do gęstości objętościowej nadkładu mineralnego oraz niewielkie grubości analizowanych pokładów węglowych w stosunku do miąższości nadkładu i ładolodów można przyjąć, że maksymalne obciążenia efektywne były bardzo zbliżone w każdym punkcie torfowiska/pokładu węglowego. Potwierdzają to zbliżone parametry fizyczne, jak: gęstość właściwa, gęstość objętościowa, porowatość, wilgotność itd., zarówno w stropowych, jak i spagowych partiach tego samego pokładu. Pewne różnice zaznaczają się dopiero pomiędzy różnymi stratygraficznie pokładami (Piwocki, 1975; Nurkowski, 1984). Wolno zatem przyjąć, że torfy, niezależnie od miąższości i pozycji w obrębie jednego pokładu, charakteryzują się bardzo zbliżoną średnią podatnością na konsolidację. Przykładowo, jeśli współczynnik konsolidacji wynosi 2,0, to wyjściowa miąższość torfu, np. dla warstw węgla o grubości 0,1 i 10 m wynosiła odpowiednio 0,2 m ( $0,1 \text{ m} \times 2,0 = 0,2 \text{ m}$ ) i 20 m ( $10 \text{ m} \times 2,0 = 20 \text{ m}$ ). O ile przestrzeganie założeń I i II zależy od kompetencji badacza, jego znajomości geologii złóż węgla brunatnego, o tyle założenie III wynika z ogólnych prawidłowości rządzących konsolidacją osadów organicznych i jest w proponowanej metodzie kluczowe dla wyznaczenia wyjściowej miąższości torfu, z którego powstał węgiel brunatny.

#### Wybór otworów oraz wykonanie obliczeń

Prezentowana metoda zostanie omówiona na przykładzie złoża Pątnów IV, a następnie wykonane zostaną analogiczne obliczenia dla fragmentu złoża Lubstów (ryc. 1). Analizom poddano otwory wiertnicze, w których występuje węgiel brunatny. Następnie spośród otworów węglowych wybrano wyłącznie te otwory, które spełniają omówione wcześniej założenia metody. Dla jasności tłumaczenia i uproszczenia obliczeń wybrano otwory układające się w krótką, południkowo przebiegającą, a jednocześnie prostopadłą do wschodniej odnogi złoża Pątnów IV linię przekrojową 120/x (ryc. 1 i 2). W nadkładzie węgla, w każdym otworze wzdłuż linii 120/x, występuje co najmniej kilka metrów ilów formacji poznańskiej — spełnione założenie I. Wstępna analiza miąższości i paleomorfologii stopu pokładu węglowego nie wskazuje na postsedymentacyjne deformacje tektoniczne i glacitektoniczne — spełnione założenie II. Brak przerostów mineralnych pozwala wykorzystać do obliczeń wszystkie otwory wzdłuż linii 120/x — spełnione założenie III (ryc. 2).

Do obliczenia współczynnika konsolidacji torfu dla pokładu węgla brunatnego jest potrzebna znajomość rzędnej powierzchni torfowiska, w dzisiejszej pozycji hipsometrycznej, w chwili zakończenia przyrostu masy roślinnej, a także miąższość i rzędne stropu i spągu pokładu węglowego, które są znane (tab. 1). Rzędna torfowiska Z zostanie wyznaczona za pomocą średniej wysokości  $Z'$  najwyższych położonych, w skrajnych na przekroju otworach 120/56 i 120/72, wystąpień węgla brunatnego oraz za pomocą orientacyjnego współczynnika konsolidacji  $Wk'$  w otworze 120/64, nie uwzględniającego konsolidacji we wspomnianych skrajnych otworach z cienkimi warstwami węgla (ryc. 2).  $Z'$  i  $Wk'$  obliczono według następujących wzorów:

$$Z' = 0,5 \times (St_1 + St_3)$$

$$Wk' = (Z' - Sp_2) / (St_2 - Sp_2)$$

gdzie:  $St_1, St_2, St_3$  — rzędne stropu węgla w otworach wykorzystanych do obliczeń;  $Sp_1, Sp_2, Sp_3$  — rzędne spągu węgla w otworach wykorzystanych do obliczeń (ryc. 2 i 3).

Dysponując wartością  $Wk'$  należy uwzględnić również konsolidację cienkich warstw węgla, wcześniej pominiętą, w skrajnych otworach 120/56 i 129/72. Mnożąc miąższość węgla we wspomnianych otworach przez  $Wk'$  wyznaczona zostanie wyjściowa grubość torfu w tych otworach. Następnie otrzymane grubości dodane do rzędnych spągu i uśrednione pozwolą uzyskać średnią rzędną torfowiska Z (ryc. 2). Wartość Z można obliczyć z wzoru:

$$Z = 0,5 \times \{ [Sp_1 + (St_1 - Sp_1) \times Wk'] + [Sp_3 + (St_3 - Sp_3) \times Wk'] \}$$

Znając rzędną torfowiska w obecnej pozycji hipsometrycznej oraz rzędne stropu i spągu węgla w otworze 120/64, wybranym do obliczeń  $Wk'$ , można już obliczyć wartość współczynnika konsolidacji torfu w tym otworze wg wzoru:

$$Wk = (Z - Sp_2) / (St_2 - Sp_2)$$

Podstawiając do ww wzorów dane zamieszczone w tab. 1 obliczono wartości:  $Z'$ ,  $Wk'$ , Z i Wk. Wynoszą one:  $Z' = 57,1 \text{ m}$ ;  $Wk' = 1,79$ ;  $Z = 58,9 \text{ m}$ ;  $Wk = 1,96$ . Zatem dla powstania warstwy węgla w otworze 120/64 o miąższości 10,4 m i przy współczynniku konsolidacji  $Wk = 1,96$  potrzebne było ok. 20,4 m torfu w chwili zakończenia sedymentacji fitogenicznej. Wartość 20,4 m jest tożsama z głębokością torfowiska w schyłkowym okresie jego rozwoju w otworze 120/64.

Wykorzystując obliczone dla otworu 120/64 wartości  $Z = 58,9 \text{ m}$  i  $Wk = 1,96$  oraz dane z tab. 1 obliczono Z i Wk dla otworów 120/60 i 120/68 (ryc. 2). Dla otworu 120/60 otrzymano  $Z = 54,1 \text{ m}$  a  $Wk = 2,85$ . Natomiast dla otworu 120/68 wartości te wynoszą  $Z = 58,9 \text{ m}$  i  $Wk = 1,97$ . Współczynnik konsolidacji torfu w otworze 120/68 jest prawie równy temu, który wyznaczono w otworze 120/64, a więc nie wymaga dyskusji i potwierdza słuszność przyjętego założenia III. Natomiast wartość współczynnika konsolidacji torfu w otworze 120/60 znacznie różni się od jego wartości uzyskanych w otworach 120/64 i 120/68. Przyczynę tak znacznych rozbieżności można tłumaczyć co najmniej trojako. Po pierwsze, w końcowym okresie rozwoju torfowiska, kiedy powstałoby dodatkowo jeszcze ok. 2,5 m węgla wobec obecnych 5,4 m, w otoczeniu otworu 120/60 odbywała się już sedymentacja mineralna, co jest mało prawdopodobne. Po drugie, konsolidacja w obrębie tego samego pokładu węglowego przybierała znacznie różniące się rozmiary — wbrew założeniu III. Po trzecie, torfowisko/pokład węglowy w sąsiedztwie otworu 120/60 uległy pionowym dyslokacjom postsedymentacyjnym. Ostatnie wyjaśnienie potwierdza m.in. późnotrzeciorzędowa i czwartorzędowa aktywność tektoniczna stwierdzona na obszarze innych konińskich złóż węgla brunatnego, np. złóż Pątnów II i Lubstów (Widera, 2000a, 2000c). Przyjmując powyższe tłumaczenie za słuszne można łatwo obliczyć wielkość tektonicznego zrzutu osadów organicznych który wynosi 4,8 m w otworze 120/60 ( $58,9 \text{ m} - 54,1 \text{ m} = 4,8 \text{ m}$ ).

W analogiczny sposób jak przedstawiono wyżej wyznaczono  $Z'$ ,  $Wk'$ , Z i Wk dla złoża Lubstów (ryc. 1).

Wybór odpowiedniej linii przekroju był dość trudny ze względu na postsedymentacyjne deformacje tektoniczne i erozyjne, które doprowadziły do znacznego zniszczenia pokładu węglowego (Widera, 2001). W tym miejscu należy dodać, że analizom poddano II łużycki— lubstowski pokład węglowy, który maksymalnie osiąga 86,2 m ciągłego profilu węglowego (Widera, 1998, 2000a). Niemniej jednak SE część złoża z najgrubszymi warstwami węgla została tektonicznie wyniesiona, szacunkowo o kilkadziesiąt nawet metrów, a następnie częściowo zerodowana przez lądolody i ich wody roztopowe. Dlatego dla większego fragmentu złoża Lubstów nie można zastosować omawianej metody wyznaczania współczynnika konsolidacji torfu.

Obliczenia wykonano wzdłuż linii x/102 położonej w północnej części złoża, o przebiegu równoleżnikowym, prawie prostopadłym do osi struktury rowu Lubstowa (ryc. 1 i 3). Analizom poddano otwory skrajne 144/102 i 8/102 oraz jedyny otwór 156/102 z ciągłym profilem węglowym, położony w strefie osiowej złoża. Pozostałe otwory nie spełniają stawianych przed metodą założeń, gdyż w profilu występują przerosty mineralne, bądź łatwo zauważalne są tektoniczne wyniesienia podłoża, np. w otoczeniu otworu 148/102 i 4/102 (ryc. 3). Do obliczeń wykorzystano rzeczywiste dane z kart otworów wiertniczych (tab. 2). Według wzorów przedstawionych wcześniej wyliczono:  $Z' = 57,1$  m;  $Wk' = 2,03$ ;  $Z = 60,1$  m i  $Wk = 2,34$ . Zatem dla powstania 9,6 m węgla brunatnego w otworze 156/102 w chwili zakończenia sedymentacji organicznej było potrzebne ok. 22,5 m torfu.

### Dokładność i ocena błędu

Dokładność proponowanej metody zależy przede wszystkim od spełnienia postawionych założeń. Dlatego istotny jest właściwy dobór otworów wiertniczych, które na obszarach udokumentowanych w kategorii  $C_2$  i wyższej oddalone są od siebie o ok. 200 m, np. złoża Pątnów IV i Lubstów. W tym miejscu należy przypomnieć, że w metodzie Hagera i in. (1981) porównywane otwory były oddalone aż o 10–35 km (patrz wyżej). Wybór odpowiedniej do analiz linii przekrojowej powinien być poprzedzony wykonaniem co najmniej kilkunastu, w przybliżeniu prostopadłych i równoległych do osi złoża, przekrojów geologicznych. Wykonane przekroje, bardzo nawet uproszczone, dostarczą cennych informacji o budowie i procesach deformacyjno-niszczących badane złożo. Przedstawione wyżej przekroje zostały wyselekcjonowane spośród 14 przekrojów przez złożo Pątnów IV (ryc. 2) i 30 przekrojów przez złożo Lubstów (ryc. 3). Z wymienionej liczby wykonanych przekrojów do wykorzystania w omawianej metodzie nadają się tylko po 2 przekroje z obu złożów wyznaczające, oprócz przedstawionych wyżej, linie: 24/x — złożo Pątnów IV i x/26 — złożo Lubstów.

Błąd metody zostanie wyznaczony na podstawie przedstawionych wcześniej obliczeń. Pomijając przyczyny obiektywne, tj. geologiczne i ludzkie, np. brak dokładności w opisie głębokości zalegania węgla, to jedynym źródłem błędów mogą być działania matematyczne. Trzeba przypomnieć, że  $Z'$  i  $Wk'$  określono pomijając najpierw konsolidację cienkich warstewek węgla w skrajnych otworach 120/56 i 120/72 (ryc. 2), a następnie wykorzystując  $Wk'$

określono  $Z$  i  $Wk$ , uwzględniając już konsolidację wspomnianych warstewek węgla brunatnego. Tę procedurę można było powtórzyć wielokrotnie, wykorzystując za każdym razem nowo otrzymany współczynnik konsolidacji  $Wk$  (tab. 3). Jak przedstawiono w tab. 3, na przykładzie złoża Pątnów IV, już w wyniku trzeciego przybliżenia otrzymano wynik, którego nie zmieniają dalsze działania matematyczne. Natomiast różnica pomiędzy pierwszym, a końcowym (trzecim i następnymi) przybliżeniem wynosi w liczbach bezwzględnych:  $Z = 0,4$  m (59,3 m n.p.m.— 58,9 m n.p.m. = 0,4 m) i  $Wk = 0,04$  (2,00 — 1,96 = 0,04). W tym przypadku względny błąd matematyczny obliczonego współczynnika konsolidacji torfu dla pokładu węgla brunatnego wynosi 2% ( $0,04/2,00 \times 100\% = 2\%$ ) i jest znacznie mniejszy niż powszechnie przyjmowany 5% poziom istotności. Decydujący wpływ na wielkość błędu ma miąższość węgla w skrajnych otworach. Im warstewki węgla są cieńsze, tym błąd będzie mniejszy. Niemniej jednak błąd pierwszego przybliżenia jest porównywalny z błędem jaki może powstać przy opisie profilu w czasie wiercenia. Dlatego kolejne przybliżenia, chociaż uszczegółowią obliczenia matematyczne, to nie wnoszą istotnych informacji na temat poziomu torfowiska i współczynnika konsolidacji torfu (tab. 3).

### Zalety i wady metody

Podstawową zaletą proponowanej metody jest jej prostota. Może ją wykorzystać każdy z podstawową znajomością działań matematycznych, komu bliska jest geologia złóż węgla brunatnego. Metoda ta pozwala w sposób ilościowy określić wyjściową miąższość torfu, z którego powstał węgiel brunatny, a to po przeliczeniu daje współczynnik konsolidacji. Wykorzystana w metodzie rekonstrukcja poziomu torfowiska w czasie zakończenia sedymentacji fitogenicznej może być bardzo przydatna w badaniach paleomorfologii i paleotektoniki obszarów złóż węgla brunatnego (Widera, 1998). Obliczony współczynnik konsolidacji pozwala także stwierdzić i oszacować rozmiary postsedymentacyjnych deformacji tektonicznych (patrz wyżej, ryc. 3).

Zaprezentowana metoda chociaż prosta, to jest jednak pracochłonna, co jest niewątpliwie jej największą wadą. Wykonanie licznych przekrojów geologicznych, z których nieliczne, spełniające założenia metody nadają się do

**Tab. 3. Wyniki kolejnych przybliżeń wartości współczynnika konsolidacji torfu dla pokładu węgla brunatnego ze złoża Pątnów IV — objaśnienia w tekście**

Table 3. Results of approximation of the consolidation coefficient of peat for lignite seam from Pątnów IV deposit — explanations in text

Numer przybliżenia	$Z'$ [m n.p.m.]	$Wk'$	$Z$ [m n.p.m.]	$Wk$
1	57,1	1,79	58,9	1,96
2	—	1,96	59,2	1,99
3	—	1,99	59,3	2,00
4	—	2,00	59,3	2,00
...	—	—	—	—
n	—	2,00	59,3	2,00



wykorzystania, wymaga przejrzania z co najmniej kilkuset kart otworów wiertniczych. Wyselekcjonowanie odpowiedniej linii przekrojowej nie może odbyć się w sposób automatyczny. Niemniej jednak nie sprawi trudności komuś, komu bliska jest problematyka geologii złóż węgla brunatnego. Wadą metody jest również to, że otrzymane wartości współczynnika konsolidacji nie są reprezentatywne dla całego złoża, a jedynie dla otoczenia pojedynczych otworów wiertniczych, co wynika z przyczyn geologicznych. Ponadto zbyt mała liczba danych nie upoważnia do zastosowania metod statystycznych. Na obecnym, wstępnym etapie badań proponowana metoda nie pozwala obliczyć współczynnika konsolidacji torfu w otworach, gdzie w pokładzie węglowym występują przerosty mineralne.

### Podsumowanie

Dotychczas stosowane bezpośrednio i pośrednio metody wyznaczania współczynnika konsolidacji torfu na podstawie pomiarów elementów pokładu węgla brunatnego nie dawały zadowalających rezultatów. Wyniki wcześniejszych badań informowały raczej o kompaktacji wybranych makroszczałków roślinnych, niż o konsolidacji całej masy torfowej. Próbę ilościowego określenia konsolidacji torfu podjęli Hager i in. (1981). Autorzy ci przedstawili metodę, której opisane wyżej ograniczenia nie pozwalały na zastosowanie jej w przypadku większości polskich złóż węgla brunatnego. Niemniej jednak metoda Hagera i in. (1981) wskazała oryginalne podejście do omawianego problemu oraz była inspiracją dla opracowania nowej, prostej, a jednocześnie dokładnej metody wyznaczania stopnia konsolidacji torfów. Proponowana metoda jest obwarowana trzema założeniami, których przestrzeganie pozwala na osiągnięcie wiarygodnych wyników. Na przykładzie kilku otworów z obszaru złoża Pątnów IV omówiono tok postępowania i obliczono współczynnik konsolidacji, który dla 10,4 m warstwy węgla I środkowopolskiego pokładu wynosi 1,96, a po wykonaniu dodatkowych przybliżeń 2,00 (tab. 3). Podobne obliczenia wykonano na przykładzie złoża Lubstów, charakteryzującego się bardziej złożoną budową geologiczną. W tym przypadku dla 9,6 m warstwy węgla II łużyckiego pokładu węglowego obliczono współczynnik konsolidacji, który wynosi 2,34. Ponadto proponowana metoda pozwala określić poziom powierzchni torfowiska w jego schyłkowym okresie, a także rozmiary postsedymentacyjnych deformacji tektonicznych torfowiska/pokładu węgla.

Autor pragnie bardzo serdecznie podziękować Panu doc. dr. hab. M. Piwockiemu za udostępnienie kserokopii pracy Hagera i in. (1981), której wcześniejsze próby zdobycia w kraju okazały się bezowocne.

### Literatura

BAYER U. 1989 — Sediments compaction in large scale system. *Geol. Rundsch.*, 78: 155–169.  
CHAIN W. J. 1974 — *Geotektonika ogólna*. Wyd. Geol.  
CIUK E. 1978 — Geologiczne podstawy dla nowego zagłębia węgla brunatnego w strefie rowu Poznań–Czempiń–Gostyń. *Prz. Geol.*, 26: 588–594.

CIUK E. 1981 — Polska. [W:] Bolewski (red.) *Surowce mineralne świata*. Węgiel brunatny. Wyd. Geol.  
CIUK E. & PIWOCKI M. 1982 — Geologia trzeciorzędu w rowie Kleszczowa i jego otoczeniu. *Przew. 52 Zjazdu Pol. Tow. Geol.*, Bełchatów: 56–70.  
DYJOR S. & SADOWSKA A. 1986 — Próba korelacji wydzieleni stratygraficznych i litostratygraficznych trzeciorzędu zachodniej części Niżu Polskiego i śląskiej części Paratetydy w nawiązaniu do projektu IGCP Nr 25. *Prz. Geol.*, 34: 380–386.  
ENGLAND W.A. & MACENZIE A.S. 1989 — Some aspects of organic geochemistry of petroleum fluids. *Geol. Rundsch.*, 78: 291–303.  
HAGER H., KOTHEN H. & SPANN R. 1981 — Zur Setzung der rheinischen Braunkohle und ihrer klastischen Begleitschichten. *Fortschr. Geol. Rheinld. U. Westf.*, 29: 319–352.  
JAROŚZEWSKI W. 1980 — Tektonika uskoków i fałdów. *Wyd. Geol.*  
KASIŃSKI J. 1983 — Mechanizmy sedymentacji cyklicznej osadów trzeciorzędowych w zapadliskach przedpola Sudetów. *Prz. Geol.*, 31: 237–243.  
KASIŃSKI J. 1984 — Tektonika synsedymacyjna jako czynnik warunkujący sedymentację formacji burowęglowej w zapadliskach tektonicznych na obszarze zachodniej Polski. *Prz. Geol.*, 32: 260–268.  
KRUSZEWSKA K. & DYBOWA-JACHOWICZ S. 1997 — Zarys petrologii węgla. *Wyd. UŚl.*, 525: 3–201.  
KULCZYŃSKI S. 1952 — Geneza karbońskich złóż węglowych. *Pr. Wrocł. Tow. Nauk.*, Ser. B, 64: 5–68.  
NURKOWSKI J. 1984 — Coal quality, coal rank variation and its relation to reconstructed overburden, Upper Cretaceous and Tertiary plains coal, Alberta, Canada. *Am. Ass. Petr. Geol. Bull.*, 68: 285–295.  
PIWOCKI M. 1975 — Trzeciorząd okolic Rawicza i jego węglonośność. *Biul. Inst. Geol.*, 284: 73–125.  
PIWOCKI M. & ZIEMBIŃSKA-TWORZYDŁO M. 1995 — Litostratygrafia i poziomy sporowo-pyłkowe neogenu na Niżu Polskim. *Prz. Geol.*, 43: 916–927.  
POLAŃSKI A. 1988 — *Podstawy geochemii*. Wyd. Geol.  
SADOWSKA A. 1995 — Palinostratygrafia i paleoekologia neogenu Przedgórze Sudetów. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, *Wyd. specjalne*, Wrocław: 37–47.  
STANDKE G., RASCHER J. & STRAUSS C. 1993 — Relative sea-level fluctuations and brown coal formations around the Early–Middle Miocene boundary in the Lusitanian Brown Coal District. *Geol. Rundsch.*, 82: 295–305.  
TEICHMÜLLER M. 1982 — Rank determination on sedimentary rocks and other coal. [In:] Stach E., Mackowsky M.T., Teichmüller M., Taylor G.H., Chandra D. & Teichmüller R. (eds) — *Textbook of coal petrology*, 3<sup>rd</sup> ed., Borntraeger, Stuttgart: 363–371.  
TOBOLSKI K. 2002 — O geologii torfowisk i innych mokradeł. *Streszczenia referatów Pol. Tow. Geol.*, Oddz. Poznański. *Wyd. Inst. Geol. UAM*: (w przygotowaniu).  
VINKEN R. (red.) 1988 — The Northwest European Tertiary Basin, Results of the IGCP, Project No 124. *Geologisches Jahrbuch Reihe A*, Hannover: 1–512.  
WALKIEWICZ Z. 1984 — Trzeciorząd na obszarze Wielkopolski. *Seria Geologia*, *Wyd. Nauk. UAM*, 10: 1–103.  
WIDERA M. 1998 — Ewolucja paleomorfologiczna i paleotektoniczna elewacji konińskiej. *Continuo*, 3: 55–103.  
WIDERA M. 2000a — Geneza i główne etapy rozwoju rowu Lubstowa w alpejskiej epoce tektonicznej. *Prz. Geol.*, 48: 935–941.  
WIDERA M. 2000b — Węgiel brunatny w Wielkopolsce — przeszłość, teraźniejszość, przyszłość. *Streszczenia referatów Pol. Tow. Geol.*, Oddz. Poznański. *Wyd. Inst. Geol. UAM*: 47–60.  
WIDERA M. 2000c — Stratigraphy and lithology of Quaternary sediments in the Kleczew region and in key sections of the eastern Wielkopolska Lowland, central Poland. *Geol. Quart.*, 44: 212–220.  
WIDERA M. 2001 — Geologiczno-górnictwo warunki zalegania kopaliny w wielkopolskich odkrywkach węgla brunatnego. *Górn. Odkryw.* 2–3: 91–106.  
WIESNER M.G., WONG H.K. & DEGENS E.T. 1989 — Provenance and diagenesis of organic matter in Late Cretaceous and Tertiary sediments from the southern Black Sea margin. *Geol. Rundsch.*, 78: 793–806.  
WIŁUN J. 1987 — *Zarys geotechniki*. *Wyd. Komunikacji i Łączności*.  
WOJEWODA J. 1992 — Odkształcenia elementów strukturalnych i ich otoczenia w osadzie w następstwie kompaktacji — przykład zastosowania dla wybranych pokładów KWB „Bełchatów”. *Przew. Sem. Sedyment.*, *Inst. Geol. UAM*, Poznań: 69.