

Tomasz KUŁAKOWSKI\*

## WPŁYW WARUNKÓW GEOLOGICZNYCH NA STOPIEŃ METAMORFOZY WĘGLI WARSTW ŻACLERSKICH W DOLNOŚLĄSKIM ZAGŁĘBIU WĘGLOWYM

### SPIS TREŚCI

Streszczenie . . . . .	103
Wstęp . . . . .	104
Ważniejsze poglądy na temat metamorfozy węgla . . . . .	105
Seria węglonośna warstw żaclerskich w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym . . . . .	106
Rejon wałbrzyski . . . . .	106
Seria węglonośna pola „A” . . . . .	106
Seria węglonośna pola „B” . . . . .	112
Przykłady metamorfozy węgla żaclerskich kopalni K <sub>2</sub> . . . . .	117
Rejon noworudzki . . . . .	117
Stopień metamorfozy węgla żaclerskich . . . . .	117
Porównanie stopnia uwęglenia i próba wyjaśnienia przyczyn metamorfozy węgla serii żaclerskiej w Zagłębiu Dolnośląskim . . . . .	118
Czas trwania metamorfozy węgla . . . . .	121
Temperatura uwęglenia . . . . .	122
Analiza statystyczno-matematyczna . . . . .	124
Analiza czynnikowa . . . . .	124
Metoda regresji krzywoliniowej . . . . .	128
Wnioski . . . . .	132
Literatura . . . . .	133
Geological environments of coalification of the Żacler Beds in the Lower Silesian Coal Basin — Summary . . . . .	135

### Streszczenie

Badania nad metamorfozą węgla przeprowadzono na pokładach węglowych warstw żaclerskich odsłoniętych w polach eksploatacyjnych kopalń K<sub>1</sub> i K<sub>2</sub> oraz materiale wiertniczym z rejonu noworudzkiego. Obserwacje petrograficzne wykazały, że torfy, z których powstały badane węgle, rozwijały się w facji torfowisk leśno-łądowych. Analizując wielkość i zmienność stopnia uwęglenia ustalono, że podstawowy stopień metamorfozy węgla w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym jest wynikiem paleogradientu geotermicznego, a proces uwęglenia trwał 15–16 milionów lat i zachodził generalnie w temperaturze nie wyższej niż 170°C. Najwyższy poziom uwęglenia badanego obszaru reprezentują węgle w polu „A” i w części pola „B”

kopalni K<sub>1</sub>, a jest on wynikiem odpowiedniego gradientu geotermicznego i bliskiego sąsiedztwa ogniska magmowego, którego akcentem jest masyw porfirowy Chelmcza. Różnica stopnia metamorfozy pomiędzy węglami dolnej i górnej grupy węglowej warstw żaclerskich pozwala sądzić, że po osadzeniu dolnej grupy węglowej nastąpiło uruchomienie magmy. W pracy zastosowano analizę statystyczno-matematyczną. Analiza czynnikowa pozwoliła wyodrębnić główne czynniki kontrolujące poziom uwęglenia badanego obszaru. W wyniku analizy regresyjnej otrzymano modele matematyczne, których zastosowanie pozwoli prognozować jakość węgla w badanym obszarze.

\* Instytut Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego, ul. Cybulskiego 30, 50–205 Wrocław.

## WSTĘP

Badania nad metamorfozą (uwęglaniem, karbonifikacją) węgla warstw żaclerskich Zagłębia Wałbrzyskiego przeprowadzono na pokładach węglowych odsłoniętych w polach eksploatacyjnych „A” i „B” należących do kopalni  $K_1$  oraz w polach eksploatacyjnych kopalni  $K_2$  (fig. 1). Obserwacje wyrywkowe stopnia uwęglania poczyniono również na węglach żaclerskich rejonu noworudzkiego (fig. 15). Porównanie danych uzyskanych z tych dwóch rejonów może mieć znaczenie w wyjaśnieniu przyczyn metamorfozy węgla omawianego obszaru.

Celem badań było ustalenie czynników geologicznych, których działanie doprowadziło do przekształcenia pierwotnej substancji roślinnej w wysoko uwęglone węgle koksujące i antracytowe.

Prace terenowe obejmowały obserwacje w chodnikach kopalnianych, w których pobrano 350 prób brzdowych i punktowych węgla, przeznaczonych

na wykonanie oznaczeń zawartości części lotnych i szlifów jednostronnych oraz 150 próbek skał towarzyszących. Części lotne  $V^a$  oznaczono zgodnie z normą PN-55/C-04328, jako ubytek ciężaru powstały przez odgazowanie węgla w piecu elektrycznym przy stosowanej temperaturze  $850^\circ\text{C}$ , pomniejszony o procentową zawartość wilgoci w próbie. Zawartość części lotnych  $V^b$  uzyskano drogą przeliczenia  $V^a$  na stan bezpopiołowy i suchy zgodnie z formułą (Kobiel-Najzarek, Wasilewski 1973):

$$V^b = V^a \frac{100}{100 - W^a - A^a}$$

Dane dotyczące parametrów uwęglania ( $V^b$ ) oznaczone przez autora (130 próbek) stanowią tylko część pełnej puli danych.

Ze względu na trudności pobierania prób ze wszystkich interesujących wyrobisk i znaczny stopień

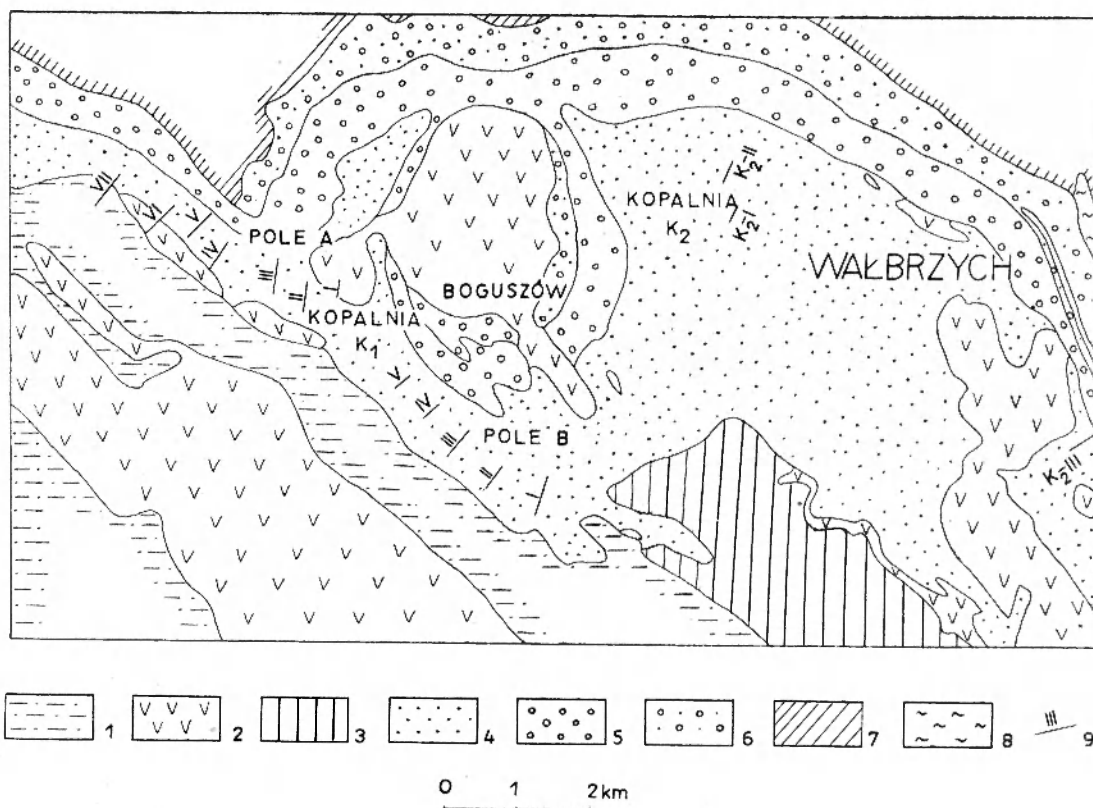


Fig. 1

Mapa geologiczna obszaru badań — rejon wałbrzyski (wg mapy Dolnośląskiego Zjednoczenia Przemysłu Węglowego) wraz z lokalizacją opisywanych pól eksploatacyjnych i przekopów

1 — czerwony spągowiec; 2 — skały wulkaniczne; 3 — warstwy stefiańskie; 4 — warstwy żaclerskie; 5 — warstwy białokamieńskie; 6 — warstwy wałbrzyskie; 7 — kulum; 8 — gnejsy; 9 — przekop nr III

Geological sketch map of Wałbrzych district (based on geological map by Dolnośląskie Zjednoczenie Przemysłu Węglowego, Wałbrzych) showing location of the studied exploitation fields and tunnels  
1 — rotliegendes deposits; 2 — volcanic rocks; 3 — Stephanian deposits; 4 — Żaclęf Beds; 5 — Białokamień Beds; 6 — Wałbrzych Beds; 7 — lower carboniferous (Kulm) deposits; 8 — gneisses; 9 — tunnel no. III

zwietrzenia niektórych pokładów węglowych posłużono się wynikami analiz ( $V^b$ ) wykonanymi przez Laboratorium Głównego Instytutu Górniczego w Wałbrzychu. Dane dotyczące spiekalności węgla (Liczba Rogi) pochodzą w całości z powyższego Laboratorium. Zawartość części lotnych i spiekalność węgla przedstawiono w formie wykresów wkomponowanych w odnośne przekroje geologiczne przez analizę przekopów kopalnianych rejonu wałbrzyskiego (fig. 3–14) i profile wierceń wykonanych w rejonie noworudzkim (fig. 16). Uzyskane dane liczbowe dotyczące zawartości części lotnych i spiekalności węgla rozpatrzono z zastosowaniem analizy czynnikowej celem wyjaśnienia możliwych przyczyn metamorfozy węgla. Ponadto zastosowano metodę regresji krzywoliniowej,

która stwarza szansę stawiania prognoz co do jakości węgla w oddzielnych partiach badanego obszaru. Wielkim udogodnieniem było udostępnienie autorowi przez Dyрекcję Dolnośląskiego Zjednoczenia Przemysłu Węglowego w Wałbrzychu materiałów kopalnianych, jak również okazywana życzliwość podczas prowadzonych prac. Szczególną wdzięczność winien jestem doc. dr. J. Boczarowi — kierownikowi Laboratorium GIG w Wałbrzychu, jak i geologom z dolnośląskich kopalń węgla kamiennego. Składam serdeczne podziękowania panu prof. K. Dziedzicowi za udzielanie rad i wskazówek w trakcie opracowywania niniejszego zagadnienia. Za udzieloną pomoc dziękuję również mgr. mgr. Cz. Augustowi i W. Nemeccowi.

### WAŻNIEJSZE POGLĄDY NA TEMAT METAMORFOZY WĘGLI

Niejednakowy stopień przeobrażenia pokładów węglowych od dawna zwracał uwagę geologów, a zwłaszcza użytkowników. Zaobserwowanym prawidłowościom w tym względzie dał wyraz Hilt (vide Roga 1958) wskazując, że w obrębie danego zagłębia, w miarę przejścia do pokładów leżących niżej zaznacza się wzrost uwęglenia, manifestujący się zwiększoną zawartością pierwiastka „C” i ubytkiem części lotnych w węglu. Zmiany te tłumaczone były wzrostem temperatury i ciśnienia wraz z głębokością. W miarę postępu prac i napływu nowych materiałów dawniejsze tłumaczenia (reguła Hilta) okazały się niewystarczające do wyjaśnienia złożonej natury powstałych przemian, które dla węgla kamiennych określono mianem metamorfizmu (Teichmüller M. i R. 1967; Schüller 1961).

Poważniejsza dyskusja w kwestii uwęglenia datuje się od lat pięćdziesiątych, kiedy to Trotter (vide Wellman 1950) rozpatrując metamorfizm węgla w Zagłębiu Walijskim uznał, że przyczyną ich przeobrażeń są deformacje tektoniczne typu nasunięć, co w rozumieniu Wellmanna (1950) odnosi się raczej do wzrostu temperatury uwarunkowanej głębokością pograżenia pokładów w czasie wielkich nasunięć tektonicznych. Podobne zdanie o tektonicznych przyczynach metamorfozy w Zagłębiu Wałbrzyskim wypowiedział Suchodolski (1952), który równocześnie zwrócił uwagę na potrzebę wyjaśnienia wpływu wglębnych mas magmowych na poziom uwęglenia. Dopita i Zeman (1958) analizując stopień uwęglenia węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym wskazują, że jest ono odbiciem zróżnicowanego, a przy tym szeroko pojętego reżimu geotektonicznego tego obszaru. Niektórzy geolodzy (Karweil 1956; Huck, Patteisky 1964) wyrażają przekonanie, że ciśnienie górotworu raczej hamuje proces

metamorfozy węgla, a rola podwyższonej temperatury wynikającej z deformacji tektonicznych ogranicza się do niewielkich zmian uwęglenia (Jungten, Karweil 1962). W literaturze panuje przekonanie, że temperatura i czas trwania procesu uwęglenia są najważniejszymi czynnikami metamorfizującymi (Karweil 1956; van Krevelen, Schuyer 1958; Etinger *et al.* 1963; Kuhl 1963; Gedenk 1963; Lensch 1963; Huck, Patteisky 1964; Wolf 1965; Teichmüller M. i R. 1967; Wassojewicz 1967; Borowski 1968; Łopatin 1971; Teichmüller R. 1973; Gawriłowa *et al.* 1975; Zil'Brandt *et al.* 1976 i in.). Rozważany jest również wpływ gradientu geotermicznego wynikającego z odalenia górnego płaszcza Ziemi (Teichmüller R. 1973). W procesie uwęglenia ważną rolę zdaje się odgrywać również charakter skał nadkładu (Mc Kenzie-Taylor *vide van Krevelen, Schuyer 1958; Kuhl, Kapuściński 1966*), potencjał oksydacyjno-redukcyjny okresu przeobrażeń węgla (Fuchs *vide Roga 1958; Boczar 1963*) oraz działalność roztworów hydrotermalnych (Teichmüller M. i R. 1967). Niezależnie od czynników wtórnych powyżej scharakteryzowanych zwraca się również uwagę na zależność stopnia uwęglenia od pierwotnych warunków facjalnych zbiornika, w którym zachodziła akumulacja fitogeniczna (Sibaoka 1963; Izosimowa, Frołow 1962), a także od składu petrograficznego węgla (Ziółkowski 1960; Gromowa, Gołubiewa 1962; Gabzdyl 1969), uwarunkowanego facją paleotorfowisk (Keramsin 1952; Teichmüller, Thomson 1958; Hacquebard, Donaldson 1964). Z przedstawionego przeglądu wynika, że na proces uwęglenia składały się różnorodne czynniki, z których tylko pewne mogą być analizowane, inne natomiast są bezpośrednim obserwacjom niedostępne.

## SERIA WĘGLONOŚNA WARSTW ŻACLERSKICH W DOLNOŚLĄSKIM ZAGŁĘBIU WĘGLOWYM

W Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym wyróżnia się dwa główne rejony występowania węgla kamiennych — wałbrzyski i noworudzki. W obydwu rejonach pokłady węglowe grupują się w dolnej i środkowej części serii górnokarbońskiej, które często, zwłaszcza w języku górniczym, określane są odpowiednio jako spągowa i stropowa seria produkcyjna. Seria spągowa, nazywana warstwami wałbrzyskimi, stratygraficznie należy do niższego namuru (namur A), a stropowa, zwana warstwami żaclerskimi, reprezentuje westfal A/B (Gothan, Gropp 1933). Warstwy wałbrzyskie i żaclerskie są oddzielone płonymi warstwami białokamieńskimi (g. namur-d. westfal) — (Gothan, Gropp 1933; Grocholski 1974), natomiast ku górze warstwy żaclerskie przechodzą w utwory zaliczane do stefanu (Dziedzic 1966). Warstwy żaclerskie zbudowane są z trzech zespołów litologicznych, tj. dolnej i górnej grupy węglowej, rozdzielonych gruboławicowymi piaskowcami zlepieńcowatymi z wkładkami łupków i mułowców (Dziedzic 1966). Trójdzielność warstw żaclerskich jest szczególnie widoczna w rejonie Wałbrzycha, słabiej się zaznacza w rejonie Słupca, a trudna jest do ustalenia w zachodniej części, na zachód od Gorców (Don 1961; Dziedzic 1965; Augustyniak 1970). Badaniami szczegółowymi objęto węgle warstw żaclerskich rejonu wałbrzyskiego, a dla celów porównawczych uwzględniono również niektóre dane z rejonu noworudzkiego. Mniej uwagi poświęcono natomiast utworom płonym rozdzielającym obydwie grupy węglowe warstw żaclerskich.

## REJON WAŁBRZYSKI

W rejonie wałbrzyskim dokładniejsze obserwacje przeprowadzono w odsłoniętych wyrobiskami górniczymi polach „A” i „B” należących do kopalni K<sub>1</sub>.

## SERIA WĘGLONOŚNA POLA „A”

W wyrobiskach górniczych pola „A” udostępnione są pokłady węglowe dolnej i górnej grupy warstw żaclerskich (fig. 2). Warstwy grupy dolnej zbudowane są w przewodzie z osadów drobnoklastycznych o miąższości od 140 m w okolicy przekopu IV (fig. 6) do około 260 m w profilu przekopu I (fig. 3) i zawierają 13 pokładów węglowych o numeracji od 61 do 31<sup>1</sup>. Miąższość pokładów węglowych rzadko przekracza 1 m. Wyjątek stanowią pokłady 40 i 32, których grubość sięga miejscami odpowiednio 2,5 i 4,0 m (fig. 4, 6). Górna grupa węglowa o miąższości 170—200 m zbudowana jest ze skał piaszczystych, zlepieńcowatych i ilastych z licznymi (10) pokładami węgla (nr 30—4). Miąższość pokładów z reguły nie prze-

kracza 1 m, z wyjątkiem pokładu 9, który sięga 3,0 m w okolicy przekopu II (fig. 4). Pokłady obu grup węglowych odznaczają się dość szerokim rozprzeszczeniem i, z wyjątkiem stref uskokowych, w miarę jednolitą grubością. Dobry stan zachowania macerałów w węglach oraz delikatnych szczątków roślinnych w łupkach nadwęglowych wskazują na autochtoniczną genezę węgla.

## Charakterystyka petrograficzna pokładów węglowych pola „A”

W składzie petrograficznym węgla wyróżnia się głównie macerały grupy wityrynytu i inertynitu. Zawartość wityrynytu jest zmienna i waha się od 53,8 (pokład 59, przekop II) do 92,5% (pokład 56, przekop III). Wityrynit składa się głównie z kolinitu, a telinit występuje podrzędnie. Tylko w pokładzie 8, w okolicach przekopu II, wityrynit składa się w przewadze z telinitu (64,2%). Z macerałów grupy inertynitu najczęstszy jest pustokomórkowy i cienkościenny fuzynit. Macerał ten jest często zafałdowany, podobnie jak i występujący w mniejszych ilościach semifuzynit (maksymalnie 16,4% w pokładzie 59, w okolicach przekopu II). Omawiane węgle należą do mikrolitotypów takich, jak: wityryt, fuzyt, wityrynertyt wityrynitowy i wityrynertyt inertynitowy. Stosunki ilościowe poszczególnych macerałów zmieniają się po rozciągnięciu pokładów, jednakże w granicach nie wykraczających poza normy przyjęte dla wyżej wymienionych mikrolitotypów, taki skład petrograficzny węgla świadczy o lądowo-leśnej facji (FTM) rozwoju ówczesnych torfowisk (Hacquebard, Donaldson 1964).

## Stopień metamorfozy węgla w polu „A”

W polu „A” pokłady dolnej i górnej grupy udostępnione są w przekopach, z których zebrane sprostżenia, zarówno do następstwa pokładów, jak i ich uwęglenia oraz towarzyszącej litologii utworów przyległych, zostaną rozpatrzone poniżej, oddzielnie dla poszczególnych przekopów.

Przekop I. W przekopie I (fig. 3) występują pokłady dolnej i górnej grupy węglowej (poz. Ia i Ib). Na poziomie Ia zawartość części lotnych w pokładach od najstarszego do najmłodszego zwiększa się odpowiednio od 9,4 do 18,9% (fig. 3).

W grupie dolnej węgle są niespiekające, a wyraźna zmiana klasy węgla zaznacza się w odcinku między dolną i górną grupą węglową. Najniższy pokład grupy górnej (p. 29) ma węgiel spiekający i zawiera o 3,4% części lotnych więcej niż węgiel pokładu leżącego niżej (37), należącego do grupy dolnej. Zgodnie z upadem wzrasta uwęglenie pokładów i na pionowej

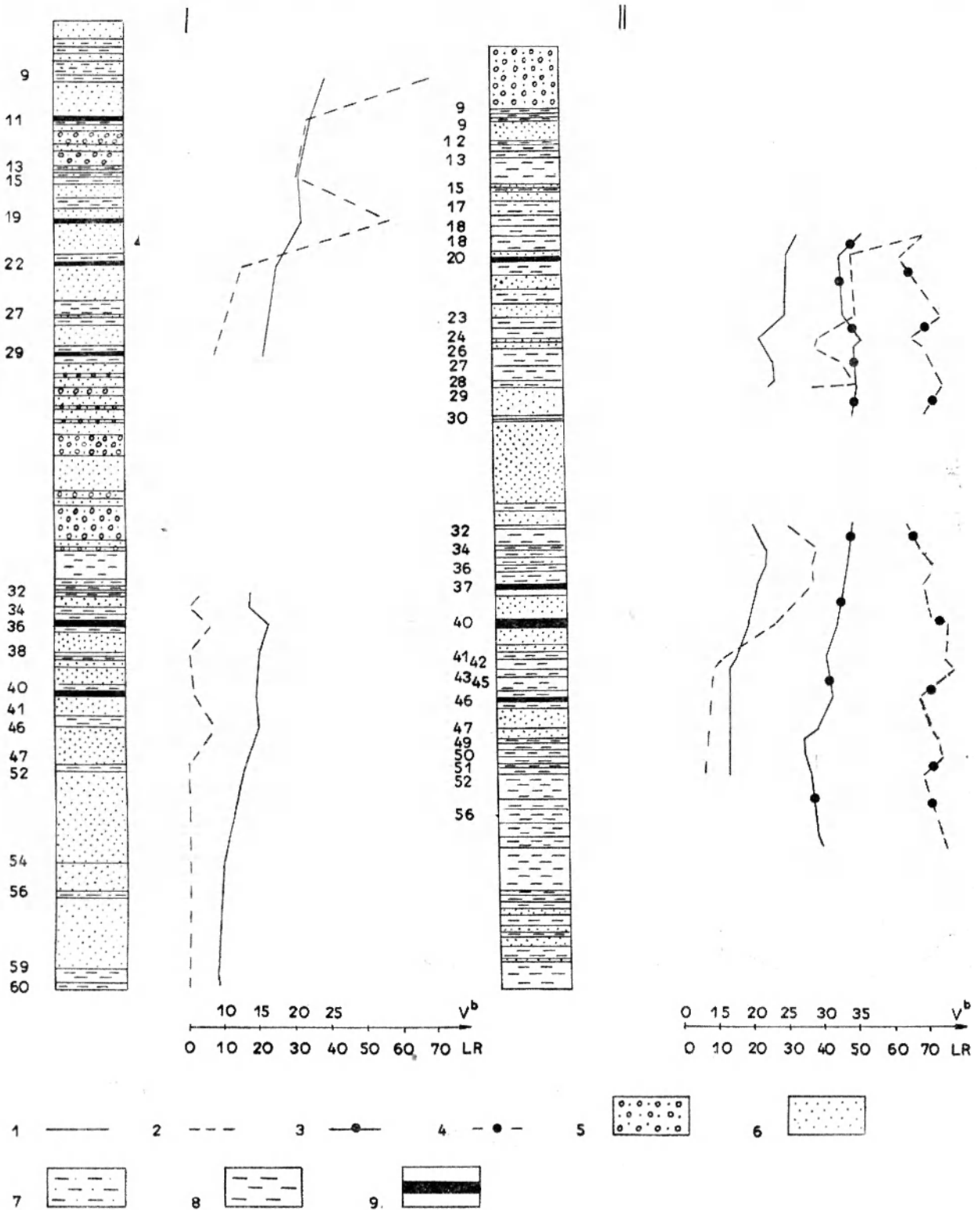


Fig. 2

Profil (wg Augustyniaka 1970) i uwęglenie warstw żaclerskich w kopalni K<sub>1</sub>

I – pole „A”: 1 –  $V^b$  (średnia zawartość części lotnych); 2 – LR (średnia spiekalność); II – pole „B”, przekopy I–III: 1 –  $V^b$ , 2 – LR (see above); III – pole „B”, przekopy IV–VII: 3 –  $V^b$ , 4 – LR (see above); litologia: 5 – zlepnieńce, 6 – piaskowce; 7 – łupki piaszczyste, 8 – mulowce i ilowce, 9 – pokłady węgla

Žacler Beds profile and coal-rank variation in the mine K<sub>1</sub>

I – field “A”: 1 – mean volatile-matter content ( $V^b$ ), 2 – mean Roga's number (LR); II – field “B”, tunnels I–III: 1 –  $V^b$ , 2 – LR (see above); III – field “B”, tunnels IV–VII: 3 –  $V^b$ , 4 – LR (see above); lithology: 5 – conglomerate, 6 – sandstone, 7 – sandy shale, 8 – siltstone and shale, 9 – coal seam

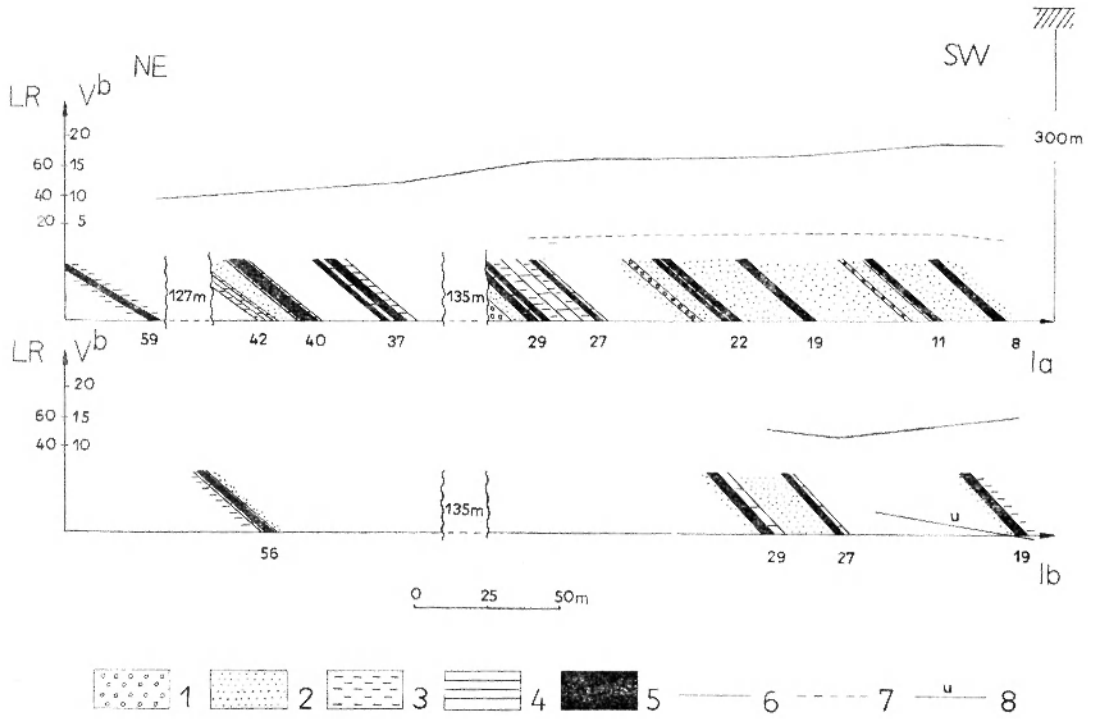


Fig. 3

Przekop I, pole „A”, kop. K<sub>1</sub> – zmienność stopnia uwęglania

1 – zlepienie; 2 – piaskowce i łupki piaszczyste; 3 – skały ilasto-mułowcowe; 4 – łupki węglowe; 5 – pokłady węgla; 6 – części lotne; 7 – spiekalność; 8 – uskoki

Coal-rank variation in the tunnel I (field “A”, mine K<sub>1</sub>)

1 – conglomerate; 2 – sandstone and sandy shale; 3 – siltstone and shale; 4 – coaly shale; 5 – coal seam; 6 – volatile matter content (Vb); 7 – Roga's number (LR); 8 – faults

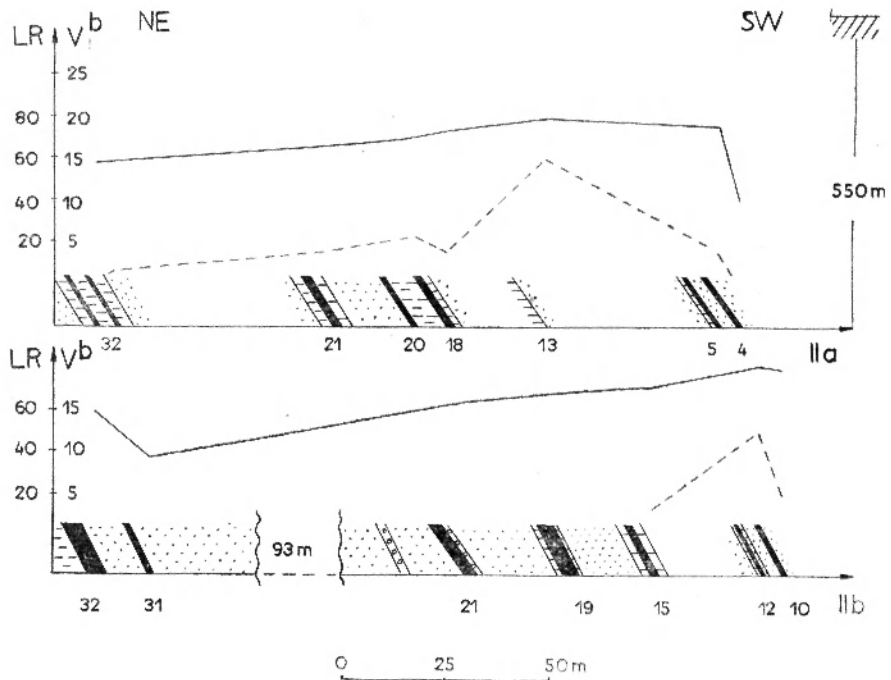


Fig. 4

Przekop II, pole „A”, kop. K<sub>1</sub> – zmienność stopnia uwęglania. Oznaczenia jak na figurze 3

Coal-rank variation in the tunnel II (field “A”, mine K<sub>1</sub>). Explanations as in figure 3

odległości rzędu 70 m (poz. Ia i Ib) spadek zawartości części lotnych w pokładach 29 i 27 wynosi odpowiednio 2,9 i 4,7%. Należy zaznaczyć, że w pokładach tych stwierdzono zaburzenia uskokowe (fig. 3).

Przekop II. W przekopie występują węgle dolnej (poz. IIb) i górnej (poz. IIb i IIa) grupy węglowej (fig. 4). Węgły odznaczają się wysokim stopniem metamorfizmu, a zawartość części lotnych wzrasta w kierunku pokładów młodszych (fig. 4).

Znacznie mniejszą zawartość części lotnych względem pokładów starszych zanotowano w pokładzie 4 na poziomie IIa i w pokładzie 31 na poziomie IIb (fig. 4). Zawartość części lotnych wynosi w nich odpowiednio 9,7 i 9,46%, a w pokładach bezpośrednio starszych, tj. 5 i 32, wartości te liczą 18,7 i 14,98% (fig. 4). Należy zaznaczyć, że pokład 31 jest blisko czterokrotnie cieńszy od pokładu leżącego niżej. Stopień uwęglenia zwiększa się po upadzie pokładów, co wyraża się spadkiem części lotnych, wynoszącym 0,45% i 0,39% odpowiednio do pokładów 21 i 20, a określonym między dwoma poziomami odległymi w pionie o 72 m. O wzroście klasy węgla na poziomie niższym świadczy też obniżenie spiekalności węgla, które z wyjątkiem pokładów najmłod-

szych (15, 12, 10) należą do węgla niespiekających. Stopień karbonifikacji zmienia się silnie z głębokością stratygraficzną. Na tych samych poziomach, przy odległości 20 m między pokładami 18 i 20, różnica zawartości części lotnych wynosi 1,9 na poz. IIa i 1,03% na poz. IIb. Dla uzupełnienia należy podkreślić, że nie zauważa się obniżenia zawartości części lotnych w węglach objętych strefą zaburzeń dyslokacyjnych (grupa dolna poz. IIb). Niższą spiekalność od przeciętnej wykazuje pokład 18 (poz. IIa), co może wiązać się ze składem petrograficznym węgla zawierającym 8,7% sklerotynitu, 35,2% fuzynitu, a na resztę przypada kolinit z telinitem i substancją mineralną.

Przekop III. W przekopie III odsłonięte są warstwy żaclerskie od dolnej po górną grupę węglową (fig. 5). Zawartość części lotnych w węglach grupy dolnej wzrasta na poz. IIIa od 9,6 (p. 56) do 15,01% (p. 40). Węgły grupy górnej na tym samym poziomie zawierają od 15,6 części lotnych (p. 29) do 25,1% (p. 11, fig. 5). Wyraźny jest zatem konsekwentny spadek stopnia metamorfozy w kierunku pokładów młodszych, wyrażany zwiększającą się zawartością części lotnych i podnoszeniem spiekalności. Odchylenia od

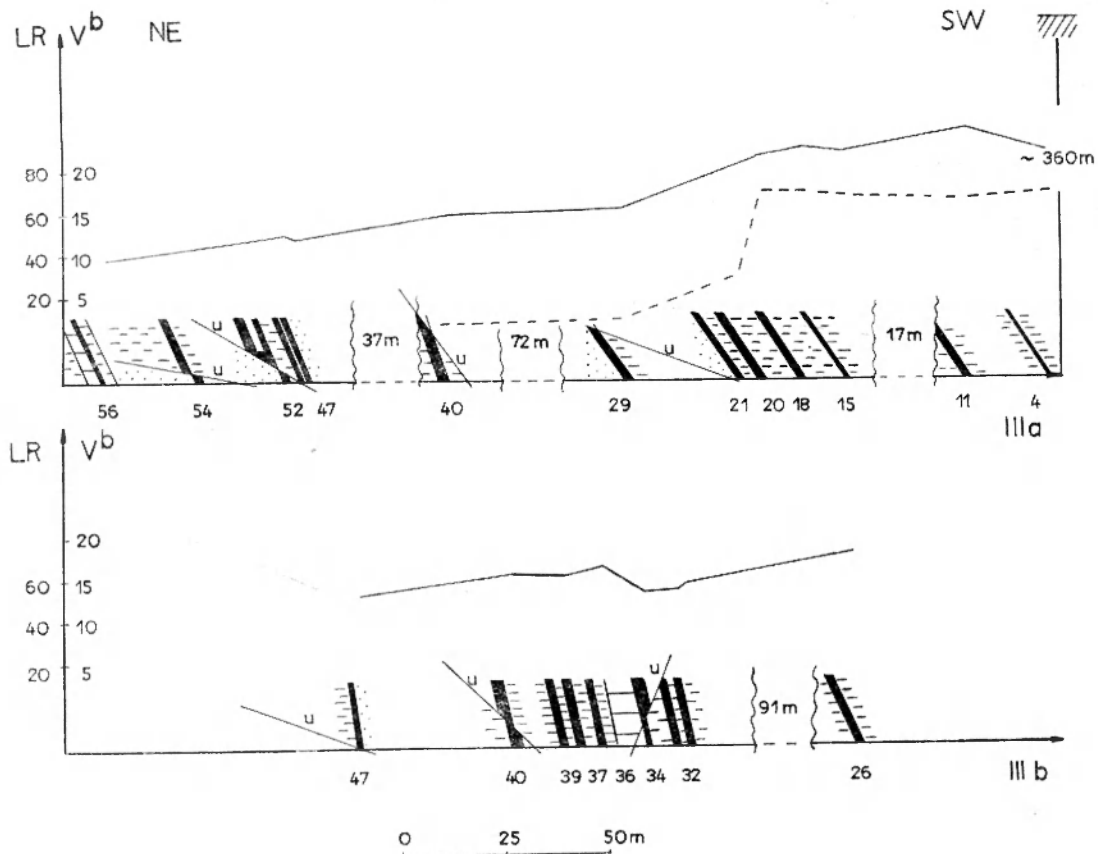


Fig. 5

Przekop III, pole „A”, kop. K<sub>1</sub> — zmienność stopnia uwęglenia. Oznaczenia jak na figurze 3  
Coal-rank variation in the tunnel III (field „A”, mine K<sub>1</sub>). Explanations as in figure 3

tej zasady wykazują pokłady 47, 15 i 4, które mają niewielką miąższość. Należy zaznaczyć, że w stropie pokładu 47 występuje piaskowiec (fig. 5). Opisywane serie skalne poprzecinane są licznymi uskokami konsekwentnymi. W stosunku do poziomu IIIa, na poziomie IIIb nie notuje się wyraźnego wzrostu stopnia metamorfozy węgla zarówno w poszczególnych pokładach, jak i zgodnie z ich upadem. Z głębokością stratygraficzną zawartość części lotnych zwiększa się bardzo nieznacznie. Węgla w pokładach 34 i 32, które są przecięte uskokiem asekwentnym są wyżej uwęglone niż pokłady starsze 36, 37 i 39 (fig. 5).

Przekop IV. Przekop IV obejmuje trzy poziomy (IVa, IVb i IVc), z których IVa i IVc udostępniają górną i dolną grupę węglową warstw żaclerskich, a IVb tylko dolną. Pokłady węglowe reprezentują

na ogół wysoki stopień metamorfozy (fig. 6). Na poz. IVa zawartość części lotnych zmienia się od 12,6 (p. 52) do 25,2% (p. 10). Podobnie jak w poprzednich trzech przekopach stopień karbonifikacji rośnie w kierunku pokładów starszych a węgle grupy dolnej są, poza nielicznymi wyjątkami (p. 47 i 37), niespiekającymi. Niską stosunkowo zawartość części lotnych notuje się w węglu z pokładu 34, co może się wiązać z wpływem uskoku, jak również z obecnością piaskowca w nadkładzie pokładu węglowego. Na poziomie niższym IVb pokłady dolnej grupy zawierają węgle niespiekające, a zawartość części lotnych zmienia się w granicach od 9,30 (p. 60) do 15,1% (p. 37) — figura 6.

Również na poziomie IVc węgle grupy dolnej należą do typu niespiekających, a zawartość w nich części lotnych wzrasta w kierunku pokładów młod-

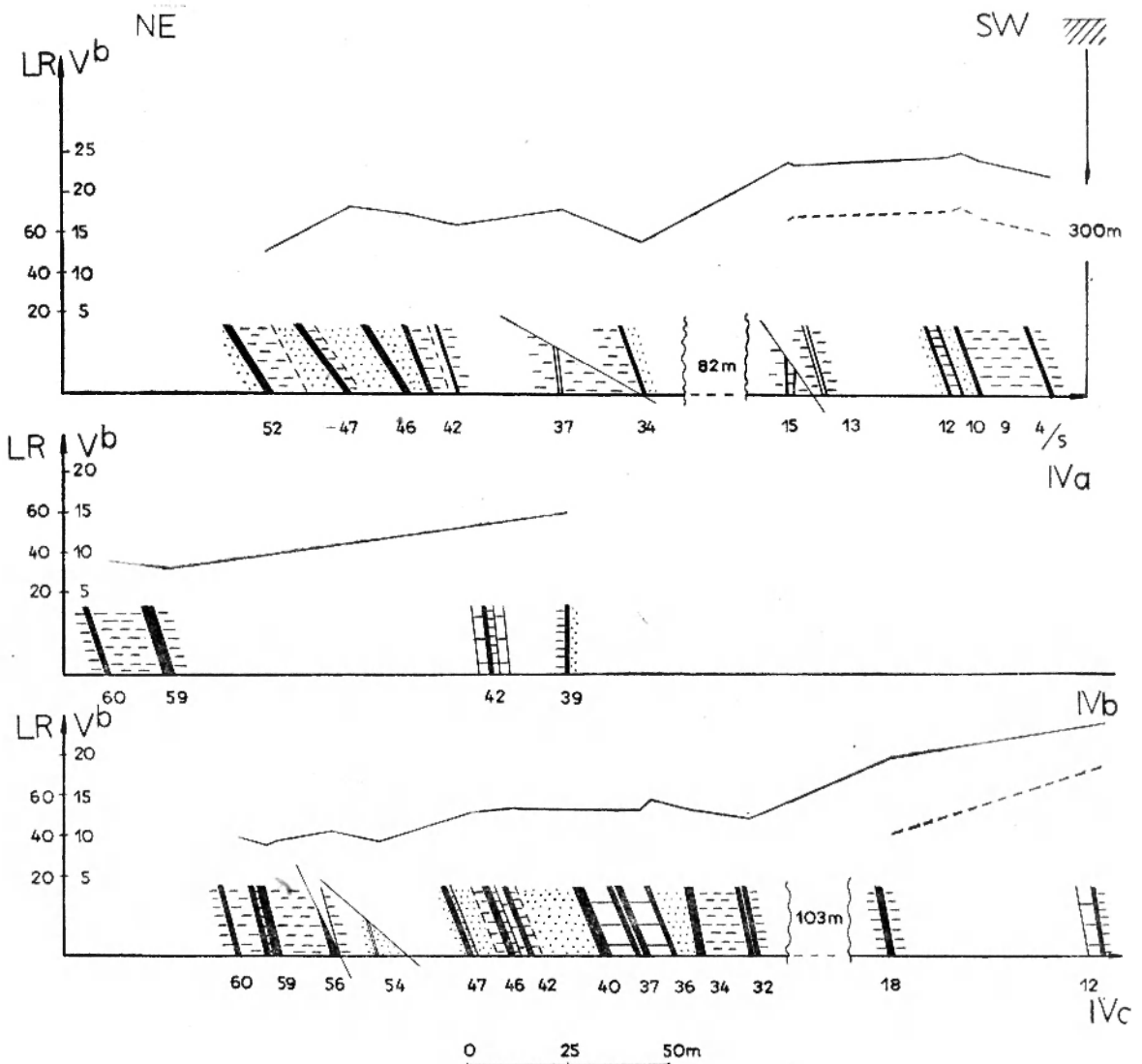


Fig. 6

Przekop IV, pole „A”, kop. K<sub>1</sub> — zmienność stopnia uwęglenia. Oznaczenia jak na figurze 3  
Coal-rank variation in the tunnel IV (field „A”, mine K<sub>1</sub>). Explanations as in figure 3



szych, nie przekraczając jednak 15%. Wyjątek stanowi pokład 54, którego stopień metamorfozy jest wyraźnie niższy niż pokładu starszego 56. Oba pokłady przecięte są uskokami, a pokład 54 przykryty jest łupkiem piaszczystym (fig. 6). Węgla górnej grupy warstw żaclerskich na obu poziomach IVa i IVc charakteryzują się znacznie wyższą zawartością części lotnych w stosunku do węgla z grupy dolnej (fig. 6). Również ich spiekalność jest odpowiednio wysoka. Wzrost stopnia metamorfozy węgla jest na ogół wyraźniejszy, jeśli uwzględnić położenie stratygraficzne, a nie głębokość pograżenia pokładów. Na poziomie IVa różnica zawartości części lotnych między pokładami 42 i 37 wynosi 1,8%, przy poziomej odległości między nimi równej 25 m, natomiast spadek części lotnych w p. 42 między poziomami IVa i IVb wynosi 1,9%, przy odległości pionowej tych poziomów 70,5 m oraz 0,8% między poziomami IVb i IVc (odległość pionowa 70,0 m). Na podkreślenie zasługuje bardzo wyraźna różnica stopnia metamorfozy między najwyższym pokładem dolnej i najniższym górnej grupy węglowej. Relacje powyższe uwidocznił na fig. 6 (p. 34 i 15 na poz. IVa oraz 32 i 18 na poz. IVc).

Przekop V. W przekopie udostępnione są węgle dolnej (poz. Va i Vb) i górnej grupy węglowej

(poz. Vb). Na obu poziomach pokłady są ustawione pod kątem zbliżonym do prostego, a nawet przewalone (fig. 7). Na poziomach tych ujawniają się zaburzenia uskokowe. Węgla grupy dolnej należą do typu niespiekającego o zawartości części lotnych poniżej 15%, tylko w p. 40 (na poz. Va) zawartość części lotnych wynosi 15,6% (fig. 7).

Pokłady węglowe na poz. Va reprezentują prawie jednakowy poziom uwęglenia, przy pewnym spadku stopnia metamorfozy w pokładach młodszych. Mniej części lotnych w stosunku do pokładów starszych zawiera p. 32, przecięty uskokiem asekwentnym. Stopień uwęglenia pokładów rośnie z ich upadem, a różnica części lotnych w p. 40 między opisywanymi poziomami wynosi 1,5% (fig. 7). Na poziomie Vb uwęglenie pokładów dolnej grupy węglowej rośnie również nieznacznie z głębokością stratygraficzną. Należy jednak zaznaczyć, że mniej części lotnych w stosunku do pokładów bezpośrednio starszych mają pokłady 54, 42 i 32. W stropie p. 54 znajduje się piaskowiec, p. 42 jest przewalony, a jego miąższość wynosi zaledwie 0,55 m, natomiast w p. 32 stwierdzono zaburzenia uskokowe. Między pokładami dolnej i górnej grupy węglowej następuje znaczne obniżenie stopnia karbonifikacji, co wyraża się spadkiem

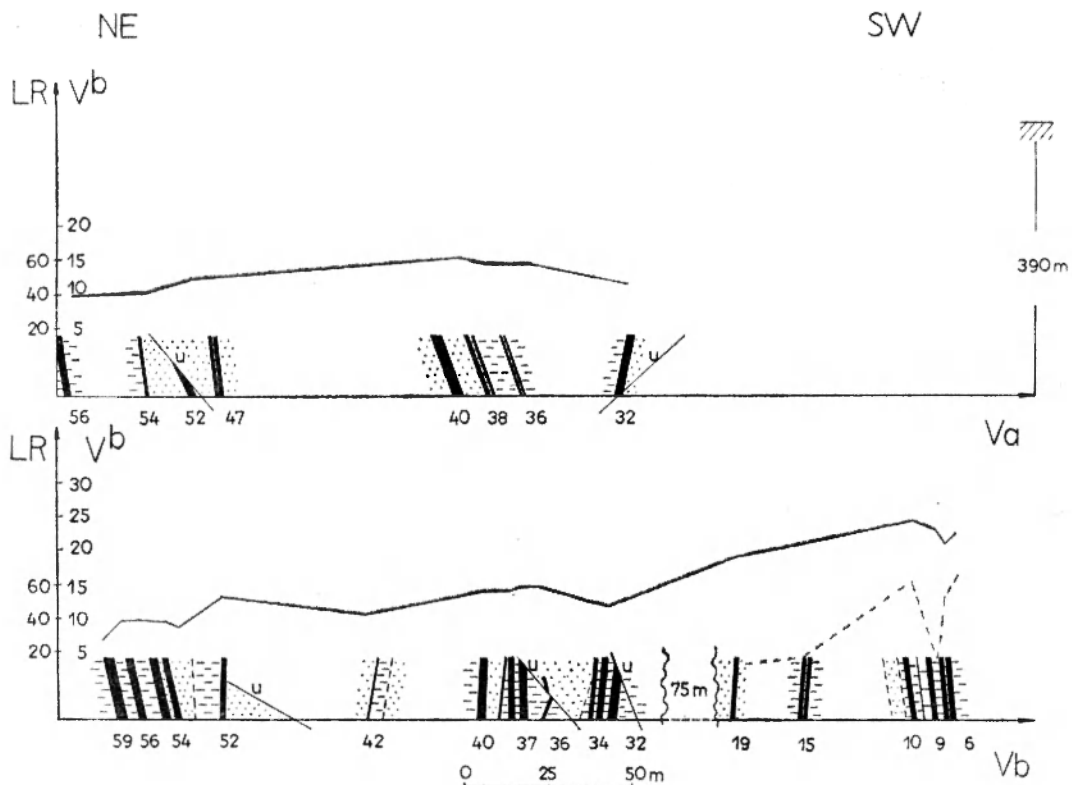


Fig. 7

Przekop V, pole „A”, kop. K<sub>1</sub> — zmienność stopnia uwęglenia. Oznaczenia jak na figurze 3  
Coal-rank variation in the tunnel V (field “A”, mine K<sub>1</sub>). Explanations as in figure 3

zawartości części lotnych wynoszącym 5,6% między pokładami 32 i 19, przy odległości poziomej między nimi wynoszącej 96 m.

#### SERIA WĘGLONOŚNA POLA „B”

W wyrobiskach pola „B”, podobnie jak w polu „A”, udostępnione są do obserwacji obydwie grupy węglowe warstw żaclerskich wraz z rozdzielającym je pakietem skał płonych (fig. 2). Miąższość grupy dolnej w okolicy przekopu VII wynosi około 350 m i jest dwukrotnie większa niż w przekopie I, podczas gdy grupa górna ma miąższość wyrównaną rzędu 200 m, nieco mniejszą jednak w przekopie I. Odwrotne relacje miąższościowe wykazuje seria płona, która w przekopie I liczy 100 m i jest o 1/3 większa niż w przekopie VII. W dolnej i górnej grupie węglowej występuje odpowiednio 15 (59–32) i 16 (30–9) pokładów węglowych o przeciętnej miąższości 1m. Większą miąższość mają w okolicy przekopu II pojedyncze pokłady tak w dolnej (p. 40), jak i w górnej grupie węglowej (p. 9).

#### Charakterystyka petrograficzna pokładów węglowych pola „B”

Węgla pola „B” wykazują niektóre cechy charakterystyczne dla basenów typu hipautochtonicznego, co wyraża się występowaniem zjawisk allochtonicznych w pewnych punktach basenu węglowego (Hacquard, Donaldson 1964). W tym przypadku zaznacza się to zmianą miąższości pokładów na niewielkich obszarach (fig. 11–14), jak również ich bocznym i pionowym przechodzeniem w czarne łupki węglowe, a także często nie najlepszym stanem zachowania

macerałów. Wyrywkowe obserwacje w świetle odbitym wskazują, że węgiel jest typu wityrytu i wityrytytu wityrynitowego. Węgla grupy górnej, a zwłaszcza pokłady 6, 13, 18, 26, 19, zawierają od 70,2 do 84,0% wityrynytu, pozostałe składniki budujące węgiel to inertynit, substancje ilaste, piryty i chalkopiryty. Rzadziej spotykane są węgle o nieco innym składzie. Do nich należą pokłady 10 zawierający 53,0% inertynitu i 17 zawierający ponad 41,0% substancji ilastej (łupek węglowy).

#### Stopień metamorfozy węgla w polu „B”

Przeobrażenia węgla w polu „B” rozpatrzono na przykładzie poszczególnych przekopów, których lokalizację przedstawia figura 1.

Przekop I. W przekopie na poz. Ia występują węgle górnej grupy węglowej (29–9). Zawartość części lotnych w węglach rośnie w kierunku pokładów młodszych, przy czym zwiększa się ona niemal jednostajnie od p. 29 do 9 (fig. 8).

Mniejszą zawartość części lotnych w porównaniu z pokładami leżącymi niżej wykazuje pokład 26 i 15. Pierwszy z nich ma niewielką miąższość (0,47 m), a w stopie drugiego występuje piaskowiec. Spiekalność węgla na opisanym poziomie zmienia się dość szybko. O ile pokład 8 ma węgiel niespiekający, to najmłodsze węgle w tym profilu charakteryzują się wysoką spiekalnością, w granicach 40–63 jednostek (fig. 8).

Odwrotne wartości wykazują pokłady 15–18, między którymi spiekalność rośnie w kierunku pokładów starszych. Anomalia ta zdaje się wiązać ze składem petrograficznym węgla. Pokład 18 zawiera

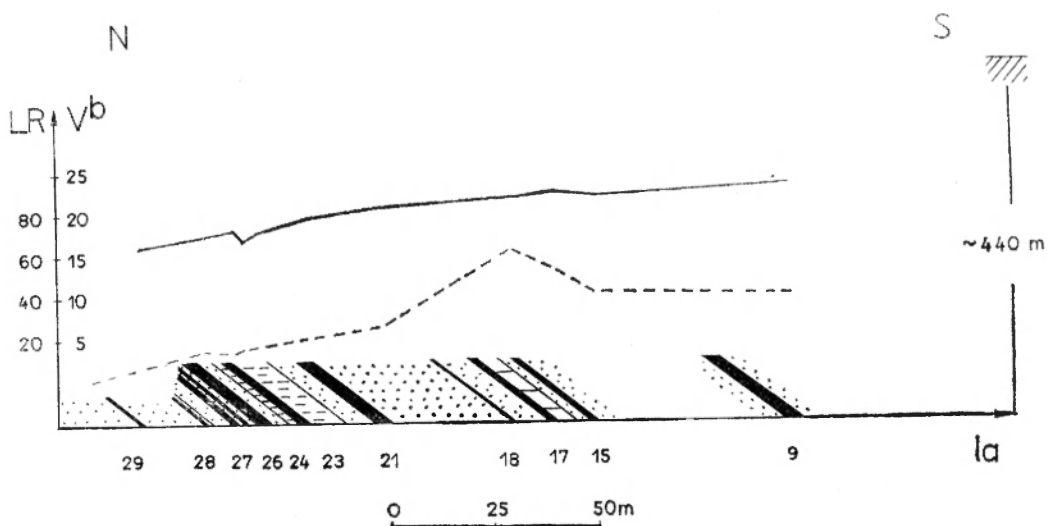


Fig. 8

Przekop I, pole „B”, kop. K<sub>1</sub> — zmienność stopnia uwęglenia. Oznaczenia jak na figurze 3  
Coal-rank variation in the tunnel I (field “B”, mine K<sub>1</sub>). Explanations as in figure 3

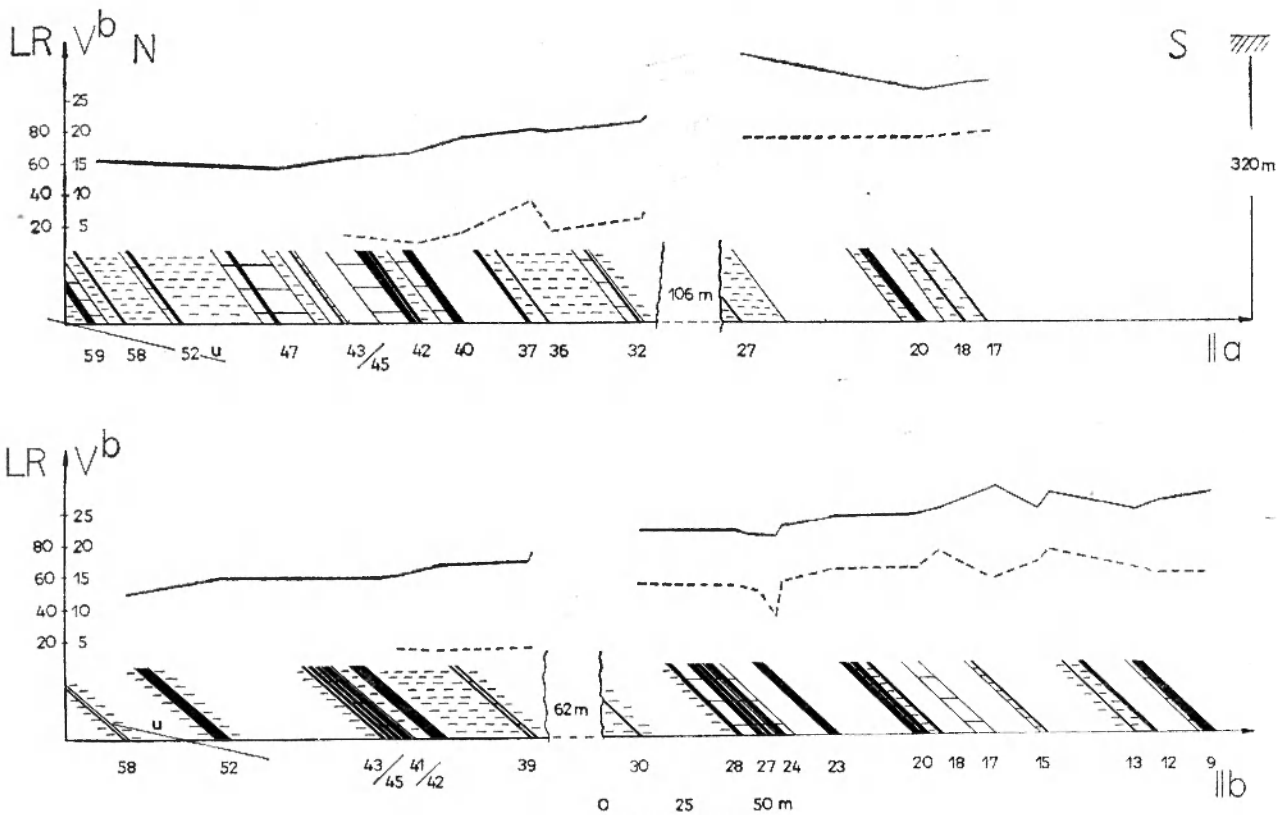


Fig. 9

Przekop II, pole „B”, kop. K<sub>1</sub> — zmienność stopnia uwęglenia. Oznaczenia jak na figurze 3

Coal-rank variation in the tunnel II (field “B”, mine K<sub>1</sub>). Explanations as in figure 3

82,1% wityrnytu, 9,0% inertynitu oraz 8,9% substancji mineralnej. Pokład 17 to lupek węglowy, a 15 reprezentuje typ wityrnytytu inertynitowego.

Przekop II. Na dwóch poziomach przekopu II (poz. IIa i IIb) odsłaniają się pokłady obydwu grup węglowych (fig. 9). Pokłady najstarsze (60 i 59) grupy dolnej na poz. IIa i pokłady od 58 do 43/45 na poz. IIb zawierają węgle niespiekające o niskiej zawartości (poniżej 15%) części lotnych. Węgłe młodsze są spiekającymi i wartość Liczby Rogi rośnie w kierunku pokładów młodszych. W całym przekroju zawartość części lotnych w węglach zmniejsza się wraz z głębokością stratygraficzną. Na poziomie IIa między pokładami 59 i 32 oddalonymi o 170 m różnica części lotnych wynosi 6,5%, natomiast między graniczącymi pokładami dolnej i górnej grupy węglowej (p. 32 i 27) wynosi 9,9%, przy odległości poziomej tych pokładów rzędu 120 m.

Na poziomie IIb zawartość części lotnych zmienia się wolniej, natomiast charakterystyczne są wyraźne zmiany spiekalności wyrażające się jej wzrostem między pokładami 36 i 30 odpowiednio od 16 do 57 jednostek.

Mniejszą zawartość części lotnych w stosunku do pokładów starszych notuje się w węglach, których strop stanowią skały piaszczyste i zlepniocowate

(np. 30, 17, 12 i 9). Zależność ta nie występuje jednak w przypadku pokładów 23 i 18 (poz. IIb) oraz 10 (poz. IIa), który jest kilkakrotnie grubszy od pokładu leżącego niżej (p. 42).

Przekop III. Na poziomie III pokłady 40 i 32 (ława dolna i górna) mają węgle spiekające o zawartości części lotnych około 25% (fig. 10). Między poziomami IIIa i IIIb zawartość części lotnych w pokładzie 40 spada zaledwie o 0,07%. Różnica ta natomiast między poziomami IIIa i IIIc wynosi 3,7%. W profilu poziomym IIIb występują węgle reprezentujące średni stopień uwęglenia wyrażający się zawartością części lotnych od 20,0 do 25,5% i wysokim parametrem spiekalności (fig. 10).

Najwyżej zmetamorfizowany jest pokład węglowy 56, przez który biegnie uskoki. Na poziomie IIIc różnicowanie klasy węgla dolnej i górnej grupy nie jest wyraźne, chociaż wyższe uwęglenie notuje się w pokładach starszych.

Przekop IV. Na poziomie IVb węgle dolnej i górnej grupy, niezależnie od pozycji stratygraficznej, charakteryzują się podobnym stopniem uwęglenia (fig. 11). Podobna jest także klasa węgla sąsiadujących pokładów z grupy dolnej i górnej. Mniejszą spiekalność niż w węglach starszych notuje się w p. 37 i 36. Zwraca także uwagę zależność między zawartością

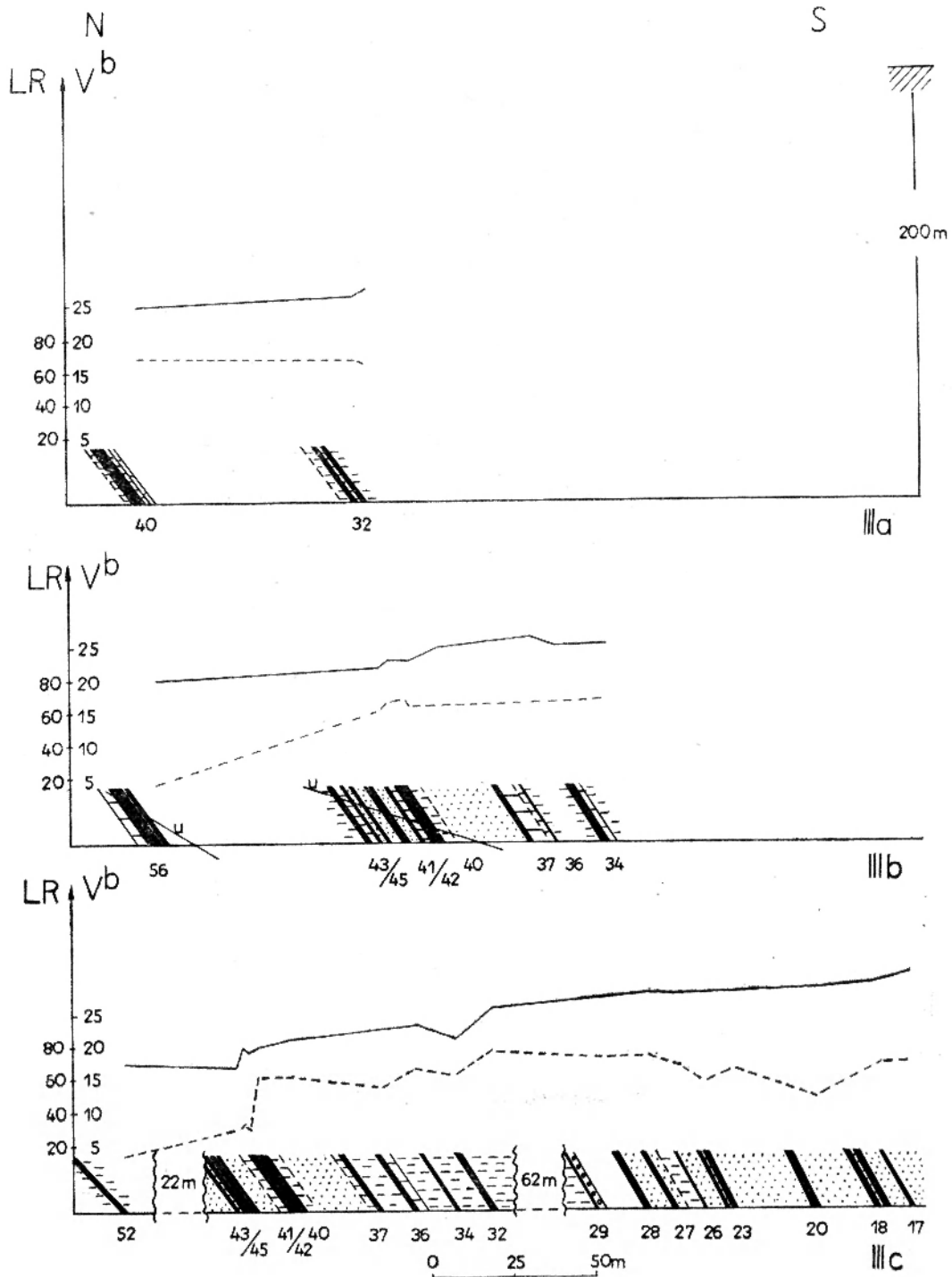


Fig. 10

Przekop III, pole „B”, kop.  $K_1$  — zmienność stopnia uwęglania. Oznaczenia jak na figurze 3  
 Coal-rank variation in the tunnel III (field “B”, mine  $K_1$ ). Explanations as in figure 3

części lotnych a rodzajem skał w nadkładzie węgla. W przypadku nadkładu o większej porowatości (zlepieniec piaskowiec) węgle mają mniejszą zawartość części lotnych niż pokłady starsze przykryte utworami o mniejszej porowatości i przepuszczalności (skały ilasto-mułowcowe). Przykładem takich zależności są

pokłady, w których nadkładzie występują odpowiednio piaskowce i skały ilaste (fig. 11).

Przekop V. Na poziomie Va dolna grupa węglowa wraz z pokładami węgla ustawiona jest prawie pionowo, a w środkowej części przekroju warstwy są odwrócone. Cała seria jest intensywnie zaburzona

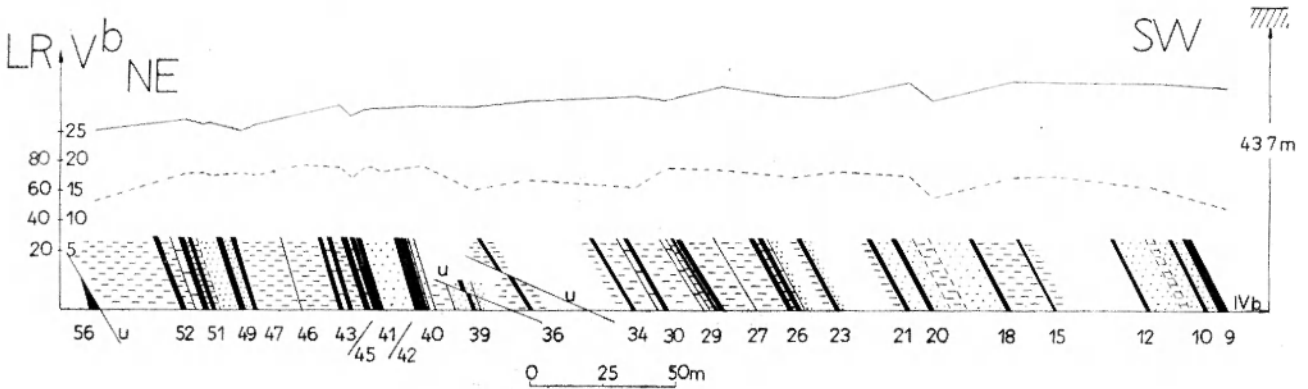


Fig. 11

Przekop IV, pole „B”, kop. K<sub>1</sub> — zmienność stopnia uwęglania. Oznaczenia jak na figurze 3  
Coal-rank variation in the tunnel IV (field “B”, mine K<sub>1</sub>). Explanations as in figure 3

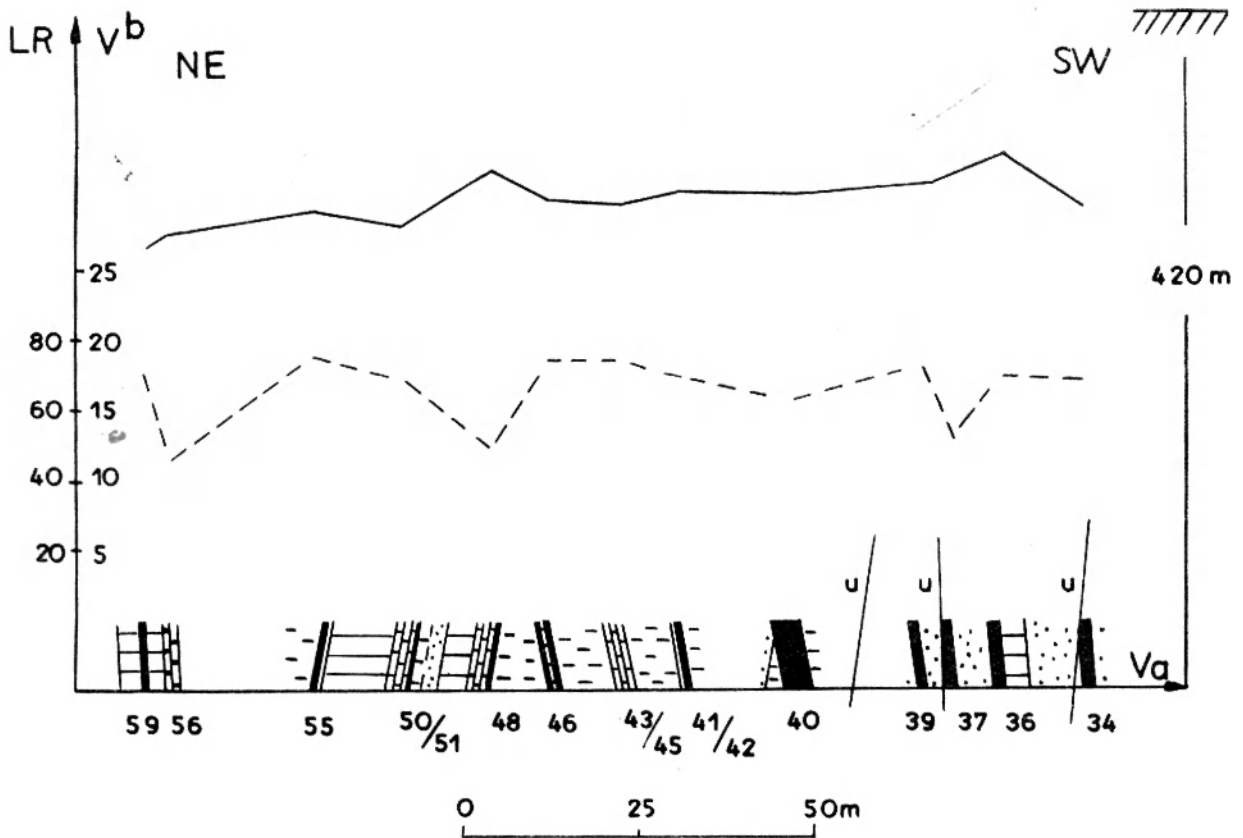


Fig. 12

Przekop V, pole „B”, kop. K<sub>1</sub> — zmienność stopnia uwęglania. Oznaczenia jak na figurze 3  
Coal-rank variation in the tunnel V (field “B”, mine K<sub>1</sub>). Explanations as in figure 3

przez uskoki (fig. 12). Węgle w tym obszarze osiągnęły średni stopień uwęglania (od 26 do 33% części lotnych), a zmiany stopnia metamorfozy słabo zaznaczają się z głębokością stratygraficzną (fig. 12).

Nieznaczne wahania karbonifikacji notuje się w tych miejscach, gdzie pokłady są objęte uskokami lub przykryte przez piaskowce lub łupki piaszczyste.

Widoczne są także zależności między zawartością części lotnych a ilością przerostów płonnych w węglach wyrażające się zmniejszeniem uwęglania w przypadku częstszych przerostów płonnych.

Przekop VI. Węgle reprezentują dolną i górną grupę węglową (fig. 13). Stopień uwęglania zmienia się bardzo nieznacznie, rosnąc w kierunku pokładów

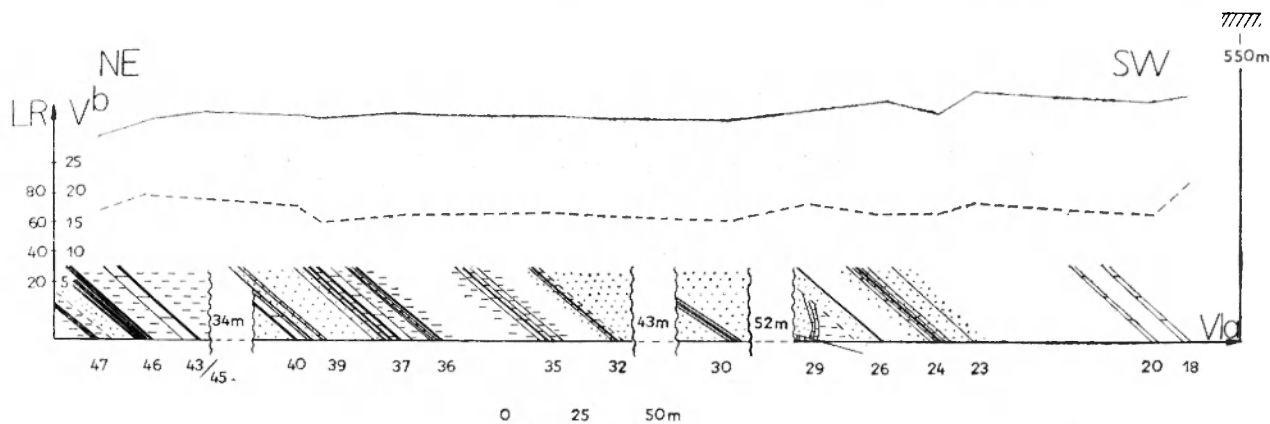


Fig. 13

Przekop VI, pole „B”, kop. K<sub>1</sub> — zmienność stopnia uwęglenia. Oznaczenia jak na figurze 3  
Coal-rank variation in the tunnel VI (field “B”, mine K<sub>1</sub>). Explanations as in figure 3

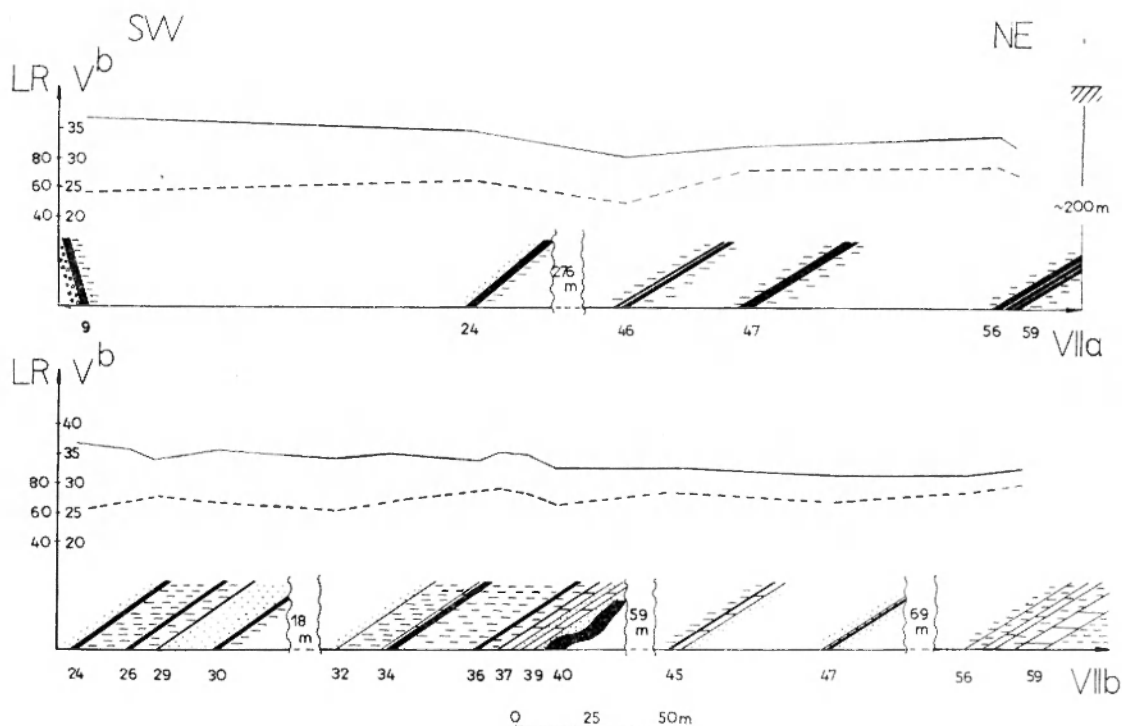


Fig. 14

Przekop VII, pole „B”, kop. K<sub>1</sub> — zmienność stopnia uwęglenia. Oznaczenia jak na figurze 3  
Coal-rank variation in the tunnel VII (field “B”, mine K<sub>1</sub>). Explanations as in figure 3

starszych. Zawartość części lotnych w pokładzie najwyższym grupy górnej w stosunku do pokładu najniższego grupy dolnej wzrasta o 6,9%, przy odstępnie poziomym tych pokładów rzędu 350 m (fig. 13). Niezauważalna jest zmiana klasy węgla między pokładami obydwu grup węglowych. Również w tym przekopie widoczne są zależności między zawartością części lotnych a charakterem litologicznym nadkładu.

Przekop VII. Na dwóch poziomach VIIa i VIIb

występują węgle koksujące dolnej i górnej grupy węglowej (fig. 14). Stopień metamorfozy węgla nie zmienia się z głębokością stratygraficzną i z upadem pokładów (fig. 14). Zaznacza się natomiast wpływ rodzaju skał nadkładu na poziom uwęglenia. Na poziomie VIIa, położonym blisko powierzchni, pokład 9, mimo że przecięty jest uskokiem wyróżnia się dużą zawartością części lotnych. Strefa ta jest silnie zawodniona.

PRZYKŁADY METAMORFOZY WĘGLI WARSTW ŻACLEWSKICH  
Z PÓL EKSPLOATACYJNYCH KOPALNI K<sub>2</sub>

Dane dotyczące zawartości części lotnych i spiekalności węgla w polu „K<sub>2</sub>” odnoszą się do pokładów odsłoniętych przekopami, obejmujących zachodnią i wschodnią część pola (przekopy zachodnie K<sub>2</sub>—I i K<sub>2</sub>—II oraz wschodni K<sub>2</sub>—III — fig. 1). Pokłady 12 i 60, należące odpowiednio do górnej i dolnej grupy węglowej warstw żaclerskich, mają zbliżoną, niezmieniającą się po upadzie zawartość części lotnych, z tym że w drugim z nich zwiększa się wraz z upadem spiekalność sięgająca 70–80 jednostek. Pokłady 35 i 47 charakteryzują się również stałym stopniem metamorfozy, przy zawartości części lotnych poniżej 33%. Spiekalność tych pokładów, podobnie jak w p. 60, zwiększa się również zgodnie z upadem pokładów, przy czym zmiany te są mniej wyraźne w pokładzie 47, w nadkładzie którego występuje piaskowiec.

REJON NOWORUDZKI

Z rejonu noworudzkiego uwzględniono serię węglonośną warstw żaclerskich pola Słupiec, gdzie w kompleksie 100 m miąższości występuje 11 pokładów węglowych o znaczeniu przemysłowym (Bolembach 1973). Wybór tego obszaru podyktowany był w głównej mierze tym, że w przeciwieństwie do rejonu Wałbrzycha brak w nim większych wystąpień skał wulkanicznych i porównanie metamorfozy węgla obydwu rejonów może mieć znaczenie przy ustalaniu możliwych przyczyn uwęglenia. Zmiany jakości węgla w obszarze Słupca rozpatrzone zostały na przykładzie materiału rdzeniowego uzyskanego z pięciu otworów wiertniczych („a”, „b”, „c”, „d”, „e” — fig. 15).

STOPIEŃ METAMORFOZY WĘGLI ŻACLEWSKICH  
W REJONIE NOWORUDZKIM

W otworze wiertniczym „a” występuje 8 pokładów węglowych o numeracji od 1 do 11, których miąższość waha się od 3,2 m do 0,90 m (fig. 16). Miąższość maksymalną uzyskuje pokład 3 w górnej części przekroju, natomiast w części dolnej miąższość pokładów jest mniejsza, zawartość części lotnych zmniejsza się nieznacznie w kierunku pokładów starszych i w interwale między pokładem najmłodszym i najstarszym zmniejsza się od 24,3 do 18,5% (fig. 16). Wyraźnie natomiast zmniejsza się spiekalność węgla w pokładach leżących niżej, a odchylenie od tej zasady notuje się w pokładzie 6. W otworze „b” nawiercono również 8 pokładów węglowych (fig. 16) o średnim stopniu uwęglenia i z wyjątkiem pokładu najniższego (9) o wysokiej spiekalności. Metamorfoza węgla zwiększa się nieznacznie z głębokością stratygraficzną, co wyraża się spadkiem zawartości części lotnych od 24,37 do 20,60%. Spiekalność waha się

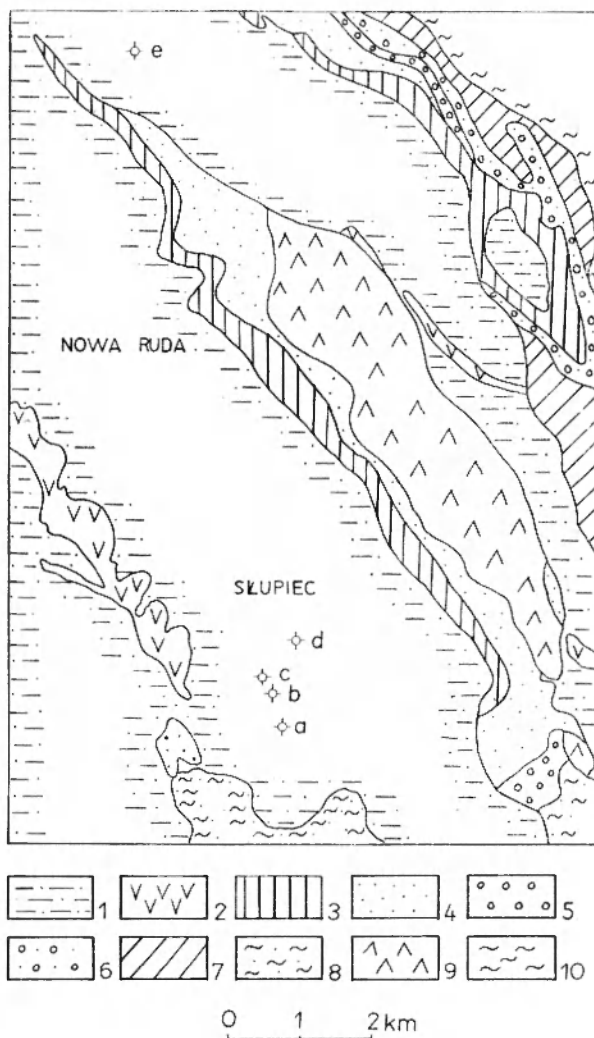


Fig. 15

Mapa geologiczna obszaru badań — rejon noworudzki (wg mapy Dolnośląskiego Zjednoczenia Przemysłu Węglowego) wraz z rozmieszczeniem opisywanych otworów wiertniczych

1 — czerwony spągowiec; 2 — porfiry; 3 — warstwy stefaniańskie; 4 — warstwy żaclerskie; 5 — warstwy białokamięńskie; 6 — warstwy wałbrzyskie; 7 — kulum; 8 — fyllity; 9 — gabro-diabaz; 10 — gnejsy

Geological sketch map of Nowa Ruda district (based on the geological map by Dolnośląskie Zjednoczenie Przemysłu Węglowego, Wałbrzych), showing location of the studied borehole profiles

1 — rotliegendes deposits; 2 — porphyry; 3 — stephanian deposits; 4 — Zacler Beds; 5 — Bialy Kamień Beds; 6 — Wałbrzych Beds; 7 — Lower carboniferous (kulum) deposits; 8 — phyllites; 9 — gabbro-diorite; 10 — gneisses

od 50 do 80 jednostek, a tylko w pokładzie 6 wynosi 21. Dla uzupełnienia należy zaznaczyć, że w otworze tym na głębokości od 940 do 1000 m stwierdzono obecność melafiru. Stopień karbonifikacji pokładów węglowych nie zmienia się wyraźnie również w profilu otworu „c” (fig. 16). Zawartość części lotnych w węglu z najniższego pokładu jest wyższa o 1,69% od podobnej wartości w pokładzie wyższym (fig. 16). Spiekalność wzrasta wyraźnie w interwale pokładów 6—3, w którym różnica tego parametru sięga 44 jed-

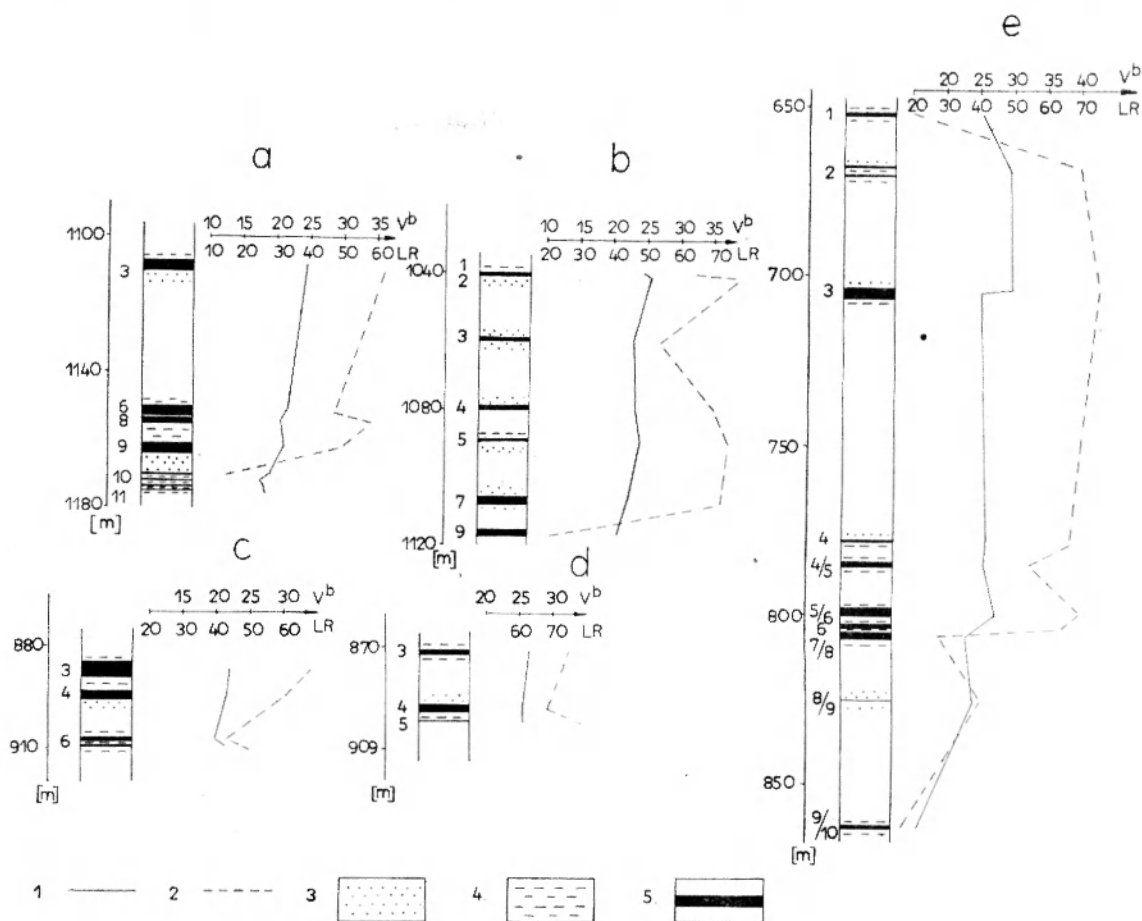


Fig. 16

Zmienność stopnia metamorfizmu węgla w rejonie noworudzkim (na podstawie otworów wiertniczych a–e)

1 – części lotne; 2 – spiekalność; 3 – piaskowce; 4 – skały ilasto-mułowcowe; 5 – pokłady węgla. W profilach uwzględniono tylko litologię skał towarzyszących pokładom węglowym

Coal-rank variation in Nowa Ruda district (based on borehole profiles a–e)

1 – volatile-matter content; 2 – Roga's number; 3 – sandstone; 4 – siltstone and shale; 5 – coal seam; lithologies adjacent to coal seams are only shown

nostek z rosnącą wartością w górę przekroju. Ta szybka zmiana może być wynikiem zmian maceralnych węgla, obserwowanych niejednokrotnie w preparatach mikroskopowych.

W otworze „d” nawiercono 3 pokłady węgla koksujących o zawartości części lotnych powyżej 25% (fig. 16). Uwęglenie nie zmienia się z głębokością stratygraficzną, a najmniejszą zawartość części lotnych (25,33%) oznaczono w pokładzie środkowym 4, w stopie którego występuje piaskowiec. Różnice spiekalności opisywanych węgla mogą odzwierciedlać zmiany składu petrograficznego węgla. W profilu

otworu „e” seria węglonośna zawiera 11 pokładów węglowych o zwiększającym się nieznacznie stopniu metamorfozy w kierunku pokładów starszych. Zawartość części lotnych zmniejsza się w kierunku pokładów starszych od 28,99 do 21,34% (fig. 16). Wszystkie pokłady węglowe reprezentują tę samą klasę węgla odpowiadającą typowi 37. Spiekalność węgla zmienia się odpowiednio do zmian zawartości części lotnych, najniższą notuje się w pokładach 1 i 8/9, wynoszącą odpowiednio 20 i 16 jednostek. Najwyższą spiekalność, wynoszącą 75 jednostek LR, osiągają węgle p. 3 (fig. 16).

#### PORÓWNANIE STOPNIA UWĘGLENIA I PRÓBA WYJAŚNIENIA PRZYCZYN METAMORFOZY WĘGLI SERII ŻACLERSKIEJ W ZAGŁĘBIU DOLNOŚLĄSKIM

Jeśli stopień uwęglenia określać zawartością części lotnych, to wartość ta w oddzielnych subrejonach omawianego obszaru kształtuje się niejednorodnie, chociaż w samym subrejonie, w pewnych pokładach

utrzymuje się w przybliżeniu na stałym poziomie (tab. 1). W polu kop. K<sub>2</sub> średnia zawartość części lotnych w dolnej serii węglowej warstw żaclerskich wynosi 32,48, a w górnej 34,21% (tab. 1). Natomiast



wartość ta dla pokładów obu grup łącznie wynosi 33,27%. Zwracają uwagę niskie wartości odchylenia standardowego ( $\delta$ ), a także mała zmienność zawartości części lotnych w profilu serii węglowej warstw żaclerskich w stosunku do dolnej i górnej grupy węglowej (tab. 1). Pokłady węglowe w okolicach przekopów IV, V, VI, VII pola „B” charakteryzują się zbliżonym stopniem uwęglenia tak w dolnej, jak i w górnej grupie węglowej, nieznacznie wyższym w pokładach starszych, co wyraża się średnią zawartością części lotnych odpowiednio 30,80 i 34,05% (tab. 1). Pomiedzy pokładami węglowymi grupy dolnej i górnej nie notuje się wyraźnych różnic stopnia uwęglenia (tab. 1), a zmienność metamorfozy w profilu warstw żaclerskich uwidoczni się w okolicach

przekopów I, II, III (tab. 1), znajdujących się niedaleko masywu porfirowego Chełmca. W przekopach tych zaznacza się silny wzrost stopnia karbonifikacji z głębokością stratygraficzną. Węgle dolnej grupy warstw żaclerskich są wysoko uwęglonymi węglami koksującymi lub antracytowymi (typy 42, 41, 38, 37) o średniej zawartości części lotnych 18,20% (tab. 1). Zmiana klasy węgla następuje skokowo między najwyższym pokładem grupy dolnej a najniższym grupy górnej. W tej ostatniej przeważają typy węgla 35 i 34 ( $X_V b = 27,90\%$ ; por. tab. 1), natomiast nie stwierdza się odmian o najwyższym stopniu uwęglenia.

Spśród omawianych obszarów rejonu wałbrzyskiego najwyższy stopień uwęglenia reprezentują węgle

Tabela 1

Uwęglenie — stopień i zmienność  
Carbonification — degree and variability

Pole — seria Field — coal group		Średnia zawartość części lotnych ( $X_V b$ ) Mean volatile- -matter content	Odchylenie standardowe ( $\delta$ ) Standard deviation	Współczynnik zmienności $V = \frac{\delta}{X_V b} \cdot 100\%$ Variability coefficient
„A”	dolna i górna seria węglowa lower and upper coal groups	16,40	3,83	23,35
	g. seria węglowa upper coal group	20,40	2,85	13,97
	d. seria węglowa lower coal group	13,76	2,76	20,02
przekopy tunnels I, II, III	„B” dolna i górna seria węglowa lower and upper coal groups	21,31	4,31	20,22
	g. seria węglowa upper coal group	27,90	4,99	17,88
	d. seria węglowa lower coal group	18,20	3,19	15,52
przekopy tunnels IV, V, VI, VII	„B” dolna i górna seria węglowa lower and upper coal groups	31,86	2,40	7,53
	g. seria węglowa upper coal group	34,05	1,26	3,70
	d. seria węglowa lower coal group	30,80	2,41	7,82
rejon noworudzki Nowa Ruda district		22,56	2,43	10,77
kopalnia mine „K <sub>2</sub> ”	dolna i górna seria węglowa lower and upper coal groups	33,27	2,12	6,37
	g. seria węglowa upper coal group	34,21	2,34	6,84
	d. seria węglowa lower coal group	32,48	1,52	4,67

w polu „A” ( $X_v b = 16,40\%$ ). Przekopy w tym polu zlokalizowane są promieniście wzdłuż południowego obrzeżenia masywu porfirowego Chełmca. W omawianych przekopach pokłady starsze położone są bliżej wymienionego masywu niż pokłady młodsze. Klasa węgla rośnie z głębokością stratygraficzną, a więc również w stronę porfiru. Węgłe dolnej grupy warstw żaclerskich należą, poza nielicznymi wyjątkami, do węgla antracytowych, niespiekających. Zawartość w nich części lotnych rzadko przekracza  $15\%$  ( $X_v b = 13,78\%$ ; por. tab. 1). Niższy stopień metamorfozy wykazują węgle grupy górnej oddzielonej od serii dolnej mięszszym pakietem skał płonych (por. fig. 2). Należą one do typu węgla spiekających o wysokiej wartości parametru LR i zawartości części lotnych nierzadko sięgającej ponad  $25\%$  ( $X_v b = 20,40\%$ ; por. tab. 1), zwłaszcza w pokładach najmłodszych (fig. 2). Zmiana stopnia uwęglania następuje szybciej z głębokością stratygraficzną niż zgodnie z upadem pokładów, tj. z rosnącą głębokością pograżenia. Zgodnie z opinią niektórych autorów (Wellman 1950; Teichmüller R. 1973) stopień metamorfozy węgla wiąże się nie tyle ze wzrostem ciśnienia statycznego nadkładu, w miarę pograżania pokładów, co z wyższymi temperaturami panującymi w głębszych partiach skorupy ziemskiej. Ciśnienie wpływa natomiast na zmianę struktury fizycznej węgla — zamykania porów, tworzenie się micelli i może hamować przebieg reakcji prowadzących do uwęglania (Huck, Patteisky 1964). Znane są również przykłady nieznacznego obniżenia zawartości części lotnych w pokładach zaburzonych uskoki, w wyniku których podniesiona ciepota powodowała lokalny wzrost uwęglania (Jungten, Karweil 1962). W przypadku omawianego obszaru z pola „A” uskoki asekwentne, których zapady skierowane są ku masie porfirowej stanowiły zapewne dogodną drogę dla strumienia cieplnego emanującego od stygnącego subwulkanu, co stanowiło dodatkowy czynnik metamorfizujący. Niższą zawartość części lotnych obserwuje się również w węglach przykrytych piaskowcami, łupkami piaszczystymi bądź zlepieńcami, co należy wiązać z wyższym stopniem porowatości i przepuszczalności tych skał w porównaniu z utworami ilasto-mułowcowymi. W takich warunkach istnieje bowiem wówczas większa swoboda odgazowania podczas procesu uwęglania, co w efekcie zaznacza się mniejszą zawartością części lotnych. Potwierdza to porównanie średnich zawartości części lotnych i spiekalności występujących pod odpowiednim nadkładem (tab. 2). Wydaje się, że istnieje również związek między miąższością pokładów a zawartością części lotnych i spiekalnością. Parametry te są nieco niższe w pokładach cienkich, o niewielkiej miąższości.

Tabela 2

Wpływ charakteru nadkładu na zawartość części lotnych i spiekalność  
The relationship between the character of seam covering clastics and the volatile-matter content and coking qualities

Rodzaj nadkładu Rocks overlying coal-seam	Piaskowiec Sandstone	Skały ilasto-mułowcowe Claystone/ siltstone
ilość prób sample no.	145	146
$X_v b$	21.46	23.00
$X_{LR}$	34.97	38.30

Duża natomiast zawartość macerałów niereaktywnych (grupa inertynitu) obniża wyraźnie spiekalność węgla, np. p. 18, przek. II w polu „A”, czy też p. 15, przek. I w polu „B”. Podobnymi własnościami charakteryzują się węgle z innych zagłębi (Cook, Edwards 1971). W odniesieniu do rejonu wałbrzyskiego można wyróżnić trzy obszary o niejednakowym stopniu przeobrażenia pokładów węglowych.

I. Obszar przekopów kop.  $K_2$  i przekopów IV, V, VI i VII pola „B”, kop.  $K_1$ . Węgłe tego obszaru (tab. 1) zawierają z reguły ponad  $30\%$  części lotnych w obu grupach warstw żaclerskich. Jednakowy i niezmienny metamorfizm węgla obu grup węglowych (por. tab. 1) sugeruje podobne warunki przeobrażeń, w wyniku których substancja fitogeniczna osiągnęła obecny poziom uwęglania.

II. Obszar przekopów I, II, III pola „B”, gdzie zaznacza się wyraźna zmiana uwęglania pokładów postępująca tak z głębokością stratygraficzną, jak i zgodnie z upadem warstw. Różnica i zmienność stopnia metamorfozy między węglami dolnej i górnej grupy (tab. 1) zdają się wskazywać na zmianę warunków metamorfizmu, jaka nastąpiła w czasie sedimentacji rozdzielającej je warstwy płonej. Stopień uwęglania w obydwu grupach węglowych tego obszaru zwiększa się od przekopu III do I, tj. w kierunku porfirowego masywu Chełmca.

III. Obszar przekopów pola „A”, położonych najbliżej porfiru Chełmca, gdzie metamorfoza węgla wzrasta silniej z głębokością stratygraficzną, niż zgodnie z upadem warstw. W obszarze tym zaznacza się wyraźna różnica i zmienność uwęglania pokładów grupy dolnej i górnej (por. fig. 2 i tab. 1). Należy sądzić, że również w tym obszarze, zmiana warunków metamorfizmu nastąpiła w interwale obejmującym okres depozycji środkowych warstw płonych. Przechodząc do rozważania przyczyn metamorfozy węgla trzeba zgodzić się z opinią większości autorów (Ettinger *et al.* 1963; Karweil 1956; Huck, Patteisky 1964; Teichmüller M. i R. 1973), że temperatura stanowi

jeden z ważniejszych, a być może decydujących czynników tego procesu. Nawiązując do idei Dziezica (1965a, 1966, 1971), o wulkanicznej genezie Zagłębia Wałbrzyskiego, wydaje się, że źródeł wysokiego stopnia metamorfozy węgla dopatrywać się należy w wysokim gradiencie geotermicznym wywołanym strumieniem cieplnym, związanym z obecnością aktywnego w owym czasie ogniska magmowego usytuowanego na niewielkiej głębokości. Wydatne zróżnicowanie stopnia uwęglenia pokładów grupy dolnej i górnej w okolicach pola „A”, a także w części pola „B” wskazuje, że po osadzeniu się grupy dolnej wpływ czynnika metamorfizującego w niektórych miejscach uległ wyraźnemu osłabieniu. Przyczyny tego mogą być trojaki:

a) ogólne zmniejszenie natężenia strumienia cieplnego;

b) wzrost miąższości warstw;

c) przemieszczenie się ogniska magmowego związane z migracją magmy i wynikające stąd lokalne zmiany natężenia strumienia cieplnego. Ostatnia możliwość wydaje się być najbardziej prawdopodobna, zważywszy ograniczony zasięg rejestrowanych zmian poziomu uwęglenia wzmiankowanych grup węglowych, a także zmian charakteru sedymentacji po osadzeniu się dolnej grupy węglowej warstw żaclerskich. Na poziomie uwęglenia znaczny wpływ wywarło ciepło emanujące od porfiry Chełmca. Proces wzbierania magmy w subwulkanie Chełmca trwał nieprzerwanie przez cały czas sedymentacji warstw żaclerskich (Dziezic 1965a). Strumień cieplny związany z tym masywem wpływał na przyspieszenie przemian metamorficznych w pokładach węglowych leżących w niewielkiej od niego odległości. Przemawia za tym stopniowe zmniejszanie stopnia metamorfozy węgla w miarę oddalania od masywu Chełmca (przekopy I, II, III pola „B”) oraz wysokiego uwęglenia pokładów w przekopach pola „A” usytuowanych promiennie wokół tego masywu. Na figurze 17 przedstawiono zależność zawartości części lotnych ( $V^b$ ) od odległości od masywu Chełmca. Wielkość tego parametru wzrasta w miarę oddalania pokładów węglowych od masywu porfirowego. W odległości 3200 m od Chełmca  $V^b$  jest już mniej więcej stała. W promieniu 3200 m strumień cieplny emanujący od wymienionego masywu oddziaływał na substancję fitogeniczną, powodując przemiany metamorficzne prowadzące do powstawania najwyższej uwęglonych węgla kamiennych. Należy zaznaczyć, że spiekalność tych węgla rośnie proporcjonalnie z uwęgleniem (fig. 18). W okolicach przekopów  $K_2$ —I,  $K_2$ —II i  $K_2$ —III w kop.  $K_2$  nie obserwuje się skał magmowych i metamorfoza węgla jest w tych przypadkach raczej wykładnikiem gradientu geotermicznego. W podobny sposób tłumaczyć

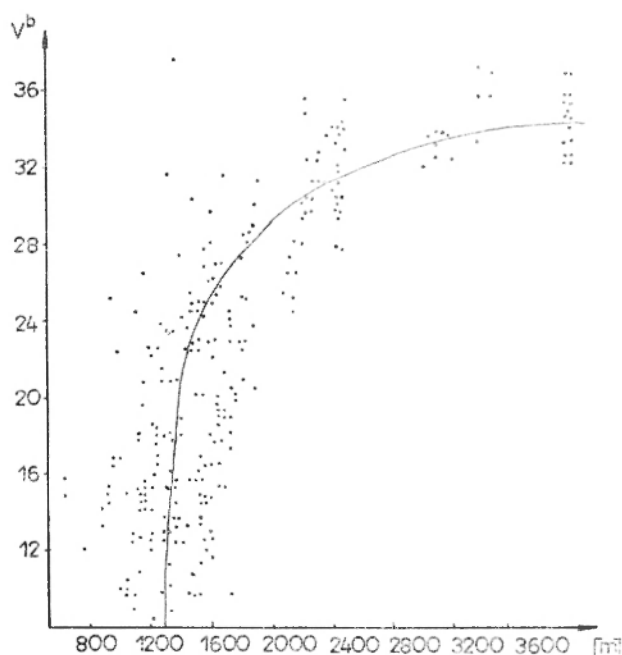


Fig. 17

Zawartość części lotnych ( $V^b$ ) w pokładach węglowych pola „A” i „B” kopalni  $K_1$  w zależności od ich odległości od porfirowego masywu Chełmca

Plot of volatile-matter content versus distance from Chełmiec porphyry massif, for the coal seams in fields „A” and „B” of mine  $K_1$

można uwęglenie w polu  $K_3$ , gdzie stopień metamorfizmu rośnie nieznacznie w kierunku pokładów starszych. Spiekalność węgla w tych trzech okolicach jest w przybliżeniu jednakowa (fig. 18).

Należy więc sądzić, że w okolicach pola „A” i pola „B” (przekopy I, II i III) uwęglenie jest wykładnikiem metamorfizmu regionalnego wywołanego odpowiednim gradientem geotermicznym oraz metamorfizmu termicznego wynikającego z bliskiej odległości ogniska magmowego, którego akcentem jest masyw Chełmca.

#### CZAS TRWANIA METAMORFOZY WĘGLI

W literaturze zwraca się uwagę na fakt, że w procesie metamorfozy istotną rolę odgrywa czas trwania tego procesu (Karweil 1956; M. i R. Teichmüller 1967; Łopatin 1971; R. Teichmüller 1973 i in.). Chodzi w tym wypadku zarówno o interwał czasowy w sensie określonych jednostek, jak i o jego miejsce na skali geologicznej. Zagadnienie powyższe rozpatrzono na przykładzie rejonu wałbrzyskiego, a zwłaszcza niecki Górców. W niecce tej (przekopy IV, V, VI i VII pola „B”), w obydwu grupach węglowych, stopień metamorfozy jest zbliżony i nie zmienia się z upadkiem pokładów. Nasuwa to podejrzenie, że

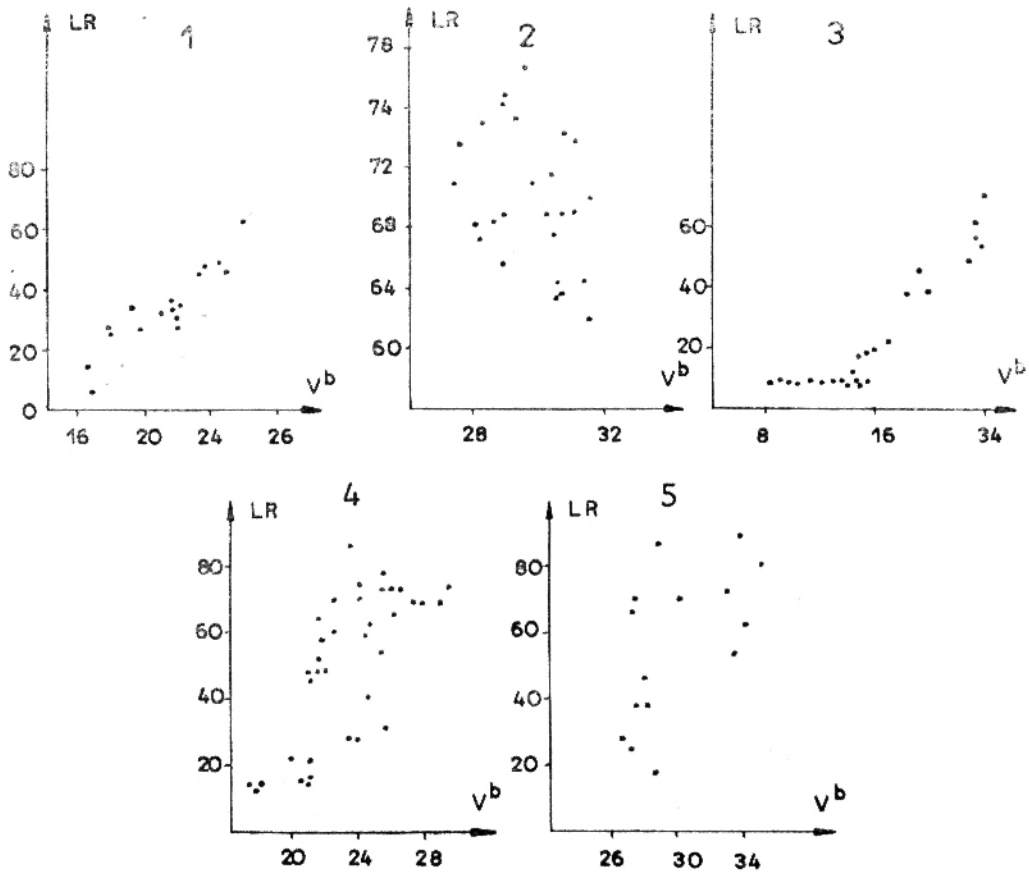


Fig. 18

Relacje: zawartość części lotnych ( $V^b$ ) — spiekalność (LR)

1 — pole „B”; przekopy I—III; 2 — przekopy IV—VII; 3 — pole „A”; 4 — rejon noworudzki; 5 — kopalnia  $K_2$

Plot of volatile matter content ( $V^b$ ) versus Roga's number (LR)

Source of data: 1 — tunnels I—III in field „B”; 2 — tunnels IV—VII in field „B”; 3 — tunnels in field „A”; 4 — Nowa Ruda district; 5 — mine  $K_2$

węgle osiągnęły ostateczne stadium przeobrażenia zanim uzyskały wychylenie zbliżone do dzisiejszego. W przeciwnym bowiem razie należałoby oczekiwać zwiększającego się uwęglenia odpowiadającego wzrostowi temperatury z głębokością pograżenia. Wiadomym jest nadto, że na układ warstw produktywnych w znacznej mierze wpłynęła intruzja subwulkanu Chełmca, którego aktywność przetrwała depozycję warstw żaclerskich (Dziedzic 1965a). Uwzględniając zaś podobieństwo metamorfozy węgla w niecce Gorców i Sobięcina można sądzić, że proces ten w Zagłębiu Wałbrzyskim zakończył się przed kulminacyjnym okresem wypiętrzenia masywu Chełmca. W tym miejscu zwraca się uwagę, że w Zagłębiu Ruhry proces uwęglenia zakończył się również przed fałdowaniem (Lensch 1963), natomiast w Zagłębiu Walijskim (Wellman 1950), czy też Kuzbaskim (Sziłowski 1962), miał on charakter postorogeniczny.

Kulminacyjne spiętrzenie masywu Chełmca nastąpiło, jak się wydaje, na przełomie westfalu -stefanu A/B (Dziedzic 1971) lub w pobliżu tego okresu, co znalazło wyraz w przesuwaniu akumulacji warstw

stefańskich ku SE (Dziedzic 1966). Można zatem sądzić, że w Zagłębiu Wałbrzyskim procesy uwęglenia nie powinny trwać dłużej niż 15—16 mln. lat., tj. interwał przyjmowany dla okresu westfal A/B-stefan A/B (Harland 1971). Należy zaznaczyć, że jest to stwierdzenie słuszne przy rozpatrywaniu poziomu uwęglenia pokładów dostatecznie oddalonych od intruzji magmowych. W pokładach węglowych położonych w bezpośrednim ich sąsiedztwie proces metamorfozy miał krótkotrwały i intensywny przebieg (Kwiecińska 1966; Zil'Berbrandt *et al.* 1976).

#### TEMPERATURA UWĘGLENIA

Węgle karbońskie są z reguły węglami kamiennymi, a np. trzeciorzędowe, mimo że niejednokrotnie osiągnęły podobną głębokość pograżenia pozostały węglami brunatnymi. Różnice w stopniu uwęglenia spowodowane zostały wyższym gradientem geotermicznym panującym w karbonie (Kuyl, Patijn 1961). Zagadnieniem rekonstrukcji stopnia geotermicznego okresu karbońskiego zajmowali się m. in.:

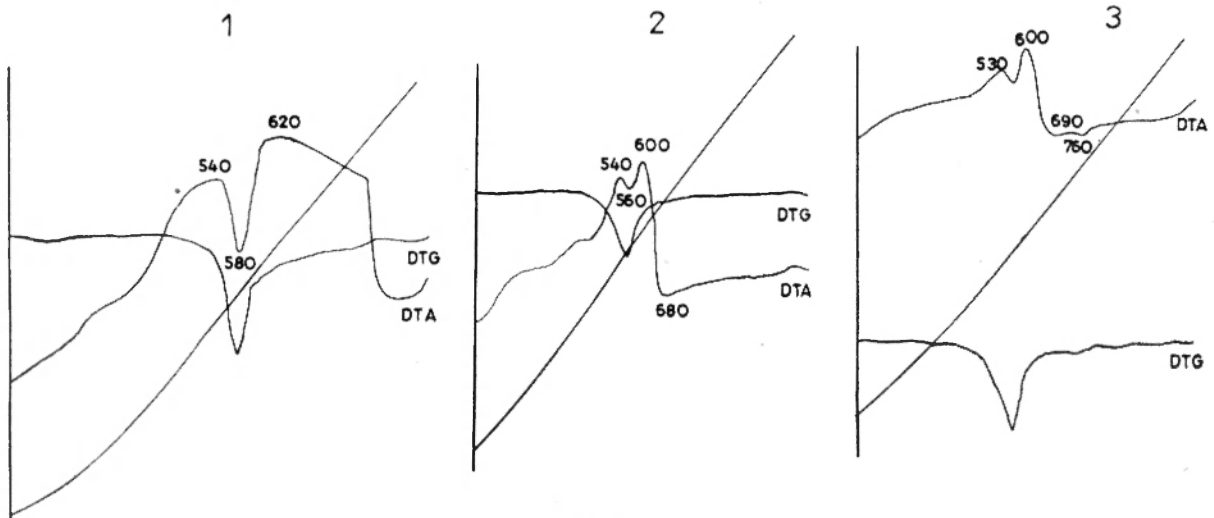


Fig. 19

## Derywatogramy skał ilastych, pole „A”

Nadkład: 1 – pokładu 60, 2 – pokładu 52, 3 – pokładu 59

DTA curves for the clayey rocks from Żacler Beds, field “A”

Samples from deposits overlying: 1 – coal seam no. 60; 2 – coal seam no. 52; 3 – coal seam no. 59

Karweil 1956; Łopatin 1971; Teichmüller R. 1973. Karweil (1956), opierając się na eksperymentalnym, termodynamicznym modelu uwęglania, obliczył przybliżone szybkości, z jakimi powinien przebiegać proces, aby powstały węgle o określonym stopniu uwęglania. Wyniki te zestawiał na diagramie z naturalnymi warunkami karbonifikacji węgla, z geologicznym czasem trwania procesu i temperaturami metamorfozy. Transponując średnią zawartość części lotnych w węglach warstw żaclerskich kop. K<sub>2</sub> i przekopów IV, V, VI, VII pola „B” (odpowiednio 33,27 i 31,86% — por. tab. 1) na wykres Karweila otrzymamy, że przy przeciętnym gradiencie 4°C/100 m, przyjmowanym dla karbonu (Karweil 1956), paleotemperatura procesu uwęglania trwającego 15–16 mln. lat powinna sięgać około 170°C, przy pograżeniu pokładów na głębokości rzędu 3500 m. Ponieważ obecnie omawiane pokłady węglowe zalegają na głębokości od 100 do 500 m pod powierzchnią ziemi należałoby przyjąć, że erozja usunęła ponad trzykilotrowy nadkład skał.

Różnica między dzisiejszym szczytem masywu Chełmca a pokładami węgla wynosi 600 m. W karbonie masyw ten był przykryty skałami osadowymi, których miąższość szacować można na około 200 m. Biorąc pod uwagę dźwignięcie pokładów przez intruzję Chełmca (w rejonie pola „B” 300–400 m) i rozcięcie masywu przez erozję (ok. 200 m) otrzymamy w sumie, że pokłady pograżone były do głębokości nie większej niż 1500 m, tak więc nadkład 3,5-kilometrowej miąższości był mało prawdopodobny. Nasuwa się zatem przypuszczenie, że gradient geotermiczny był w niecce wałbrzyskiej dużo wyższy od

przeciętnego i jak wynika z przytoczonych poniżej obliczeń wynosił około 9°C/100 m:

gradient geoterm. =

$$= \frac{\text{temp. uwęglania} - \text{temp. powierzchni}}{\text{głębokość pograżenia}} =$$

$$= \frac{170 - 25^\circ \text{C}^2}{1500 \text{ m}} = 9^\circ \text{C}/100 \text{ m}$$

Należy zaznaczyć, że również dla Zagłębia Ruhry przyjmuje się gradient geotermiczny wyższy od przeciętnego, bo wynoszący 7°C/100 m (Hedemann 1963; Teichmüller R. 1973).

Rozpatrując kwestię zakresu paleotemperatur w procesie uwęglania nie można pominąć utworów współwystępujących z węglami. W utworach tych, poza bardzo lokalnymi zmianami kontaktowymi, o których donosiła Kwiecińska (1966), nie zauważa się wyraźniejszych przeobrażeń termicznych (Kornaś 1974). Piaskowce towarzyszące antracytom nie wykazują objawów feldspatyzacji, czy też silifikacji, co jest dość powszechne, jeśli współwystępują z antracytami powstałymi w strefie metamorfizmu termicznego (Teichmüller M. i R. 1967). Również w skałach ilastych w nadkładzie antracytów nie stwierdza się śladów metamorfozy termicznej. Z wykonanych na powyższych utworach analiz termicznych<sup>3</sup> wynika, że charakteryzują się one zbliżonym składem mineralnym (fig. 19). We wszystkich analizowanych

<sup>2</sup> Na podstawie pracy Schwarzbacha (1974)

<sup>3</sup> Analizy termiczne i ich interpretację wykonał mgr Cz. August z Uniwersytetu Wrocławskiego.

próbkach zaznacza się obecność znacznych ilości substancji organicznej (ponad 20%), która na derywogramach daje rozległy efekt egzotermiczny w zakresie temperatur 200–500°C (fig. 19), wpływając jednocześnie na inne efekty, głównie endotermiczne. Notuje się również zawsze obecność piryty zaznaczającego się reakcją egzotermiczną w przedziale temperatur 500–560°C (fig. 19).

Spośród minerałów ilastych występuje illit, minerały grupy kaolinitu (w tym śladowe ilości dickitu), a węglany reprezentuje głównie syderyt, często w ilościach ponad 10% (fig. 19). Taki skład mineralny, a w szczególności obecność illitu i kaolinitu, świadczy o tym, że badane serie nie znajdowały się w warunkach metamorfizmu termicznego. Spostrzeżenie powyższe sugeruje, że temperatura procesu uwęglania nie była

wysoka, a uwzględniając wykres Karweila (1956) należy sądzić, że nie przekroczyła 170 °C. Wydaje się, że pozytywnej anomalii gradientu temperatur w Zagłębiu Wałbrzyskim nie sposób łączyć z przyczynami wynikającymi z samego pograżenia obszaru depozycji. Można oczekiwać, że istniały wówczas jakieś dodatkowe źródła raczej endogenicznej energii cieplnej, warunkującej podwyższony reżim geotermiczny. Uwzględniając dane współczesne, wskazujące na wzrost gradientu geotermicznego w obszarze wulkanicznie aktywnym (Chorai, Ueda 1972; Simmons, Roy 1972), nasuwa się podejrzenie co do obecności niewygasłego ogniska magmowego w obszarze wałbrzyskim. Pozostaje to w zgodności z hipotezą Dzieżdżica (1965a, 1966, 1971) o wulkanicznej genezie Zagłębia Wałbrzyskiego.

### ANALIZA STATYSTYCZNO-MATEMATYCZNA

Zebrane materiały i obserwacje odnośnie uwęglania utworów fitogenicznych poddano analizie statystycznej. Z uwagi na szeroki zakres możliwych czynników wpływających na uwęglanie, najkorzystniejszą wydała się metoda analizy wielowymiarowej. Zastosowano metodę analizy czynnikowej i metodę regresji krzywoliniowej.

#### ANALIZA CZYNNIKOWA

W analizie wieloczechowej stwierdzenie podobieństwa w rozkładzie wartości poszczególnych zmiennych sugeruje, że niektóre zmienne „zachodzą” na siebie (polaryzują się), a więc różnicują populację prób w ten sam sposób. Istnienie korelacji między zmiennymi pozwala z kolei na sformułowanie hipotezy, że u podłoża zmienności badanych cech ukrywa się jakaś bardziej istotna i prosta struktura, której elementami są metacechy (czynniki). Metacechy te zawierają podstawową informację o oryginalnych zmiennych. Analiza czynnikowa, będąca w swej istocie metodą tłumaczenia korelacji i poszukiwania jej przyczyn, pozwala wyróżnić czynniki stanowiące o korelacji w danym zbiorze zmiennych. Ideę tej techniki matematycznej najłatwiej jest przedstawić na modelu ogólnym. Zakłada się w nim, że zmienne losowe (cechy),  $i = 1, 2, 3 \dots p$ , można wyrazić za pomocą  $m < p$  czynników  $F_j$  oraz losowych składników resztkowych (Harman 1967; Cattell 1965; Wiatr, Stenzel 1976; Nemeč 1977):

$$x_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} F_j (+b_i s_i + c_i e_i), \quad (1.1)$$

gdzie  $s_i$  jest czynnikiem specyficznym  $i$ -tej zmiennej,  $e_i$  jest losowym składnikiem resztowym, a czynniki

$a_{ij}$ ,  $b_i$  oraz  $c_i$  są strukturalnymi parametrami modelu będącymi przedmiotem szacowania. Współczynniki  $a$  noszą nazwę ładunków czynnikowych i wyrażają stopień nasilenia czynnika  $i$  w zmiennej  $j$ . Przeważająca część zmiennej losowej  $x_i$  odpowiada czynnikom  $F_j$  i nazywana jest wspólną wariancją czynnikową. Nie wielki na ogół procent wariancji odpowiada czynnikowi  $s_i$  (specyficzna wariancja czynnikowa) i składnikowi resztowemu (wariancja błędu). Ogólną ideą analizy czynnikowej (analiza składowa głównych) jest więc przyporządkowanie zmiennych (cech) różnym źródłom zmienności.

Obliczenia przeprowadzone zostały w Centrum Obliczeniowym Uniwersytetu Wrocławskiego na e.m.c. Odra 1204, przy użyciu programu w języku Algol 60, z zastosowaniem metody Hotelinga (Piasecki 1969).

Z zebranych materiałów jakościowych i ilościowych pochodzących z 291 punktów obserwacyjnych (pola „A” i „B”) wybrano 16 cech, w zespole których przebadano zmienność stopnia uwęglania określoną zawartością części lotnych oraz własności koksownicze węgla określone Liczbą Rogi. Cechy te przedstawiają się następująco:

1. Numer pokładu — cecha określająca położenie stratygraficzne pokładu.
2. Procent materiału gruboklastycznego w danym obszarze (wg Augustyniaka 1970).
3. Odległość od porfirowego masywu Chelmea (średnia wartość dla 291 prób —  $\bar{x} = 1819,26$  m, a odchylenie standardowe  $\delta = 794,05$  m).
4. Miąższość nadkładu ( $\bar{x} = 403,14$  m;  $\delta = 82,48$  m).
5. Miąższość pokładów węgla ( $\bar{x} = 0,96$  m;  $\delta = 0,65$  m).

6. Zawartość części lotnych —  $V^b(x = 22,08\%; \delta = 7,96\%)$ .

7. Spiekalność węgla — LR ( $x = 36,64; \delta = 30,68$ ).

8. Upad pokładów ( $x = 57,90^\circ; \delta = 17,59^\circ$ ).

Cechy 9, 10, 11, 12 i 13 obejmują litologię skał w kolejności; łupek węglowy, łupek ilasty, łupek piaszczysty, piaskowiec i zlepieniec.

Cechy 14, 15 i 16 to różne typy uskoków. Autor wyróżnił trzy grupy uskoków reagujących wg niego na węgiel: 14 — uskoki konsekwentne i 15 uskoki asekwentne, powodujące podniesienie poziomu uwęglenia, 16 — uskoki prowadzące wody, w obecności których obserwowano lokalne podwyższenie zawartości części lotnych.

Wyżej wymienione cechy opisujące warunki geologiczne punktów obserwacyjnych stanowiły podstawę do przeprowadzenia analizy statystycznej metodą analizy czynnikowej, sposobem „R”. W pierwszej wersji obliczeń zastosowano kompletną macierz danych — 16 cech. Uzyskaną w wyniku obliczeń macierz współczynników korelacji przedstawiono w tabeli 3.

Macierz korelacji jest najprostszym ujęciem związków istniejących między cechami (w sensie ich pokrewieństwa) i pozwala na ogólne rozpoznanie struktury badanego zespołu cech.

Przy interpretacji macierzy przyjęto oznaczenia współczynników korelacji wg schematu:

- $> |0,8|$  — bardzo silne korelacje
- $|0,6| \leq |0,8|$  — silne
- $|0,4| \leq |0,6|$  — średnie
- $|0,15| \leq |0,4|$  — słabe
- $< |0,15|$  — bardzo słabe, nie rozpatrywane jako statystycznie istotne w teście Studenta.

Cecha 1 (pozycja stratygraficzna pokładu) — jest słabo ujemnie skorelowana z cechami 6 i 7, a więc zawartością części lotnych i spiekalnością węgla. Pokład starszy zawiera węgiel o mniejszej zawartości części lotnych i niższej spiekalności. Zależność ta jest słaba, co oznacza, że położenie stratygraficzne pokładu w badanej przestrzeni geologicznej nie miało istotnego wpływu na stopień uwęglenia, a ważny był jedynie okres pozostawienia węgla w strefie odpowiednich temperatur powodujących uwęglenie. Wyższą wartość ma współczynnik korelacji pozycji stratygraficznej pokładu z zawartością części lotnych aniżeli ze spiekalnością.

Cecha 2 — z procentową zawartością materiału gruboklastycznego są silnie ujemnie skorelowane cechy 3, 6 i 7, a więc odległość od Chełmca, zawartość części lotnych i spiekalność. Jak wynika z mapy przedstawionej przez Augustyniaka (1970), udział osadów gruboklastycznych w warstwach żaclerskich zmniejsza się w kierunku od pola „A” do pola „B”.

W tym samym kierunku zwiększa się więc (jak wynika z korelacji cech 3 z 6 i 7) zawartość części lotnych i spiekalność węgla (większa LR).

Cecha 3 — istnieje silna dodatnia zależność między jakością węgla w próbie a jej odległością względem lakkolitu Chełmca. W miarę zbliżania się do porfiru węgle odznaczają się wyższym uwęgleniem. Wzrost stopnia metamorfozy węgla tłumaczyć należy wpływem strumienia cieplnego związanego z wulkanizmem, a demonstrującego się intruzją Chełmca. Spiekalność natomiast zależy również w pewnym stopniu od składu petrograficznego węgla i nie zawsze zmienia się liniowo z uwęgleniem. Stąd słabsza korelacja tej cechy, aniżeli zawartość części lotnych z odległością od Chełmca.

Cecha 4 — miąższość nadkładu jest bardzo słabo ujemnie powiązana z zawartością części lotnych i spiekalnością węgla. Miąższość nadkładu i wynikająca stąd wielkość ciśnienia statycznego wpływa na zmiany struktury fizycznej węgla, jak zamykanie porów i tworzenie się miceli (Teichmüller M. i R. 1967), co zdaniem niektórych autorów (Huck, Patteisky 1964) hamuje przebieg reakcji prowadzących do wzrostu uwęglenia.

W rozważanych przypadkach wpływ głębokości pogrążenia na metamorfozę węgla jest bardzo nieznaczny i mieści się w ramach ogólnie przyjętego wzrostu temperatur z głębokością (Wellman 1950; Teichmüller R. 1973).

Cecha 5 — miąższość pokładu węgla, podobnie jak cecha poprzednia, jest skorelowana ujemnie z zawartością części lotnych i spiekalnością węgla. Zależności te są jednak słabe.

Cecha 6 — zawartość części lotnych w węglu jest bardzo silnie dodatnio powiązana ze spiekalnością. W obszarze pól „A” i „B” własności koksownicze węgla są najlepsze w rejonach przekopów IV, V, VI i VII pola „B”, oddalonych od Chełmca, gdzie występują węgle o zwiększonej zawartości części lotnych w stosunku do pozostałego obszaru. Słabo ujemne korelacje występują między cechą 6 a 8 (upad pokładów). Jest to zależność będąca wynikiem generalnego zmniejszania upadów pokładów w miarę oddalania od masywu Chełmca. Słabo ujemne powiązanie stwierdza się w relacjach: zawartość części lotnych — uskoki. Wydaje się, że ta słaba zależność może być wynikiem niewielkiej ilości obserwacji. Bardzo słabe zależności zaznaczają się między litologią a zawartością części lotnych. Odnotowana najwyższa wartość współczynnika korelacji między zawartością części lotnych i piaskowcem wynosi 0,1210. Macierz współczynników korelacji przeanalizowano pod kątem składowych głównych, uzyskując macierz





Tabela 4

Macierz ładunków czynnikowych  
Matrix of factor loadings

Cechy — Variables	Czynniki — Factors				
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$
Pozycja stratygraficzna pokładu Stratigraphic position of coal seam	-.2170	.7620	-.2780	-.2130	.0067
% materiału gruboklastycznego Amount of coarse clastics (%)	-.7371	-.2516	-.1712	.2842	.0547
Odległość od masywu Chełmca Distance from Chełmiec massif	.8143	-.1570	.0808	-.1589	.0941
Mięszość nadkładu Thickness of overlying strata	-.1929	-.4084	.7211	-.2639	-.3304
Mięszość pokładów węgla Coal seam thickness	-.2247	-.3202	-.3767	-.7508	-.1819
Zawartość części lotnych ( $V^b$ ) Volatile-matter content ( $V^b$ )	.9520	-.0457	.0733	.0731	.0787
Spiekalność (LR) Roga's number (LR)	.8996	-.0024	.1201	.0073	-.0369
Upad pokładów Dip-angle of seams	-.4093	.1888	.6451	-.0035	.1664
Obecność piaskowców w bezpośrednim nadkładzie węgla Presence of sandstone above coal seam	.1195	-.5276	-.1650	-.0344	.7016
Uskoki konsekwentne Similary inlined faults	-.3940	.2860	.2942	-.3856	.4998
Procent wyjaśnianej wariancji Percent sums of squares	33.94	13.36	11.91	9.40	9.32
Procent sumaryczny Cumulative percent sums of squares	33.94	47.30	59.21	68.61	77.93

ładunków czynnikowych<sup>4</sup>. Macierz ładunków czynnikowych poddano rotacji używając kryterium Varimax (Cattell 1966) i stosując standardowy program w języku Algol 60<sup>5</sup>. Procedura ta pozwoliła uzyskać optymalnie najprostszą strukturę. Otrzymano czynniki główne widoczne w tabeli 4. Interpretacja macierzy ładunków czynnikowych dokonana została zgodnie z kolejnością wyodrębnionych składowych głównych (czynników), która odpowiada randze (znaczeniu) tych czynników dla wyjaśnienia struktury zmienności analizowanego zespołu cech.

Czynnik 1 ( $F_1$ ) wyjaśnia zmienność badanych cech w 33,94%. Jest on dodatnio silnie związany z odległością węgla względem masywu Chełmca i bardzo silnie z zawartością części lotnych i spiekalnością węgla. Wielkość tych parametrów wzrasta w miarę oddalania się od wymienionego masywu, co wynika

również z wykresu na figurze 17. Słabo dodatnie powiązania zauważa się natomiast względem piaskowców w bezpośrednim nadkładzie węgla. Z pozostałymi cechami stwierdza się powiązania słabe i nieistotne.

Uwzględniając znaczący wpływ masywu Chełmca na jakość węgla określony odległością tego masywu, można czynnik  $F_1$  określić jako dystalność rozpatrywanego obszaru węglowego względem Chełmca, a być może w pierwszym przybliżeniu względem północnego brzegu niecki wałbrzyskiej.

Czynnik 2 ( $F_2$ —13,36%) wykazuje silne dodatnie powiązanie jedynie z wiekiem pokładów (pozycja stratygraficzna) i może być określony jako czynnik czasowy. Podkreślenia wymaga słabo ujemna zależność zawartości części lotnych i spiekalności od tego czynnika, co zdaje się wskazywać, że różnice uwęglenia wynikające z wieku węgla zostały w znacznym stopniu zatarte przez metamorfizm termiczny związany z intruzją masywu Chełmca. Czynnik 3 ( $F_3$ —11,91%) jest silnie dodatnio związany z miąższością nadkładu i może być wstępnie interpretowany jako wpływ ciśnienia statycznego, jednakże wydaje

<sup>4</sup> Przy dalszej operacji pominięto cechy 9, 11, 13, 15 i 16, z uwagi na bardzo słabe korelacje z innymi, jak również znikomą przydatność interpretacyjną.

<sup>5</sup> Program zaczerpnięty z biblioteki Centrum Obliczeniowego Uniwersytetu Wrocławskiego.

się słuszniejsze, aby wpływ tego czynnika wynikającego z głębokości pogrzebienia węgla wiązać raczej z odpowiednim gradientem geotermicznym.

Czynnik 4 ( $F_4-9,40\%$ ) wykazuje silne ujemne powiązania z miąższością pokładów węgla i odległością od masywu Chełmca. Dodatkowo jest jedynie powiązany z zawartością materiału gruboklastycznego. Czynnikiem ten może być interpretowany jako zmienność warunków facjalnych basenu węglowego względem masywu Chełmca, a w pierwszym przybliżeniu względem północnego brzegu niecki wałbrzyskiej. Należy zaznaczyć, że czynnik ten charakteryzuje się słabo ujemnymi powiązaniem z zawartością części lotnych w węglu i jego spiekalnością.

Czynnik 5 ( $F_5-9,32\%$ ) wiąże się średnio dodatnio z obecnością piaskowców w nadkładzie węgla oraz obecnością uskoków konsekwentnych. Można go zatem interpretować jako obecność skał klastycznych i średnioziarnistych, zaangażowanych tektonicznie. Wykazuje on także słabo dodatnie powiązania z zawartością części lotnych, a słabo ujemne ze spiekalnością. Podkreśla to niewielki, ale istotny wpływ, jaki wywiera rodzaj nadkładu na jakość węgla.

#### METODA REGRESJI KRZYWOLINIOWEJ

Analiza czynnikowa pozwoliła określić istniejące korelacje pomiędzy cechami oraz umożliwiła wyodrębnienie czynników leżących u podstaw korelacji w badanej przestrzeni geologicznej. Stosując metodę krzywoliniowej regresji wielowymiarowej można uzyskać modele matematyczne opisujące zależność między cechami (Mańczak 1971).

W technice stosującej powyższą metodę zakłada się, że na określonym obiekcie dokonano  $N$  obserwacji wielkości wejściowych  $u_1, u_2 \dots u_n$  oraz wielkości wyjściowej  $x$  (fig. 20). Na obiekt działają zakłócenia

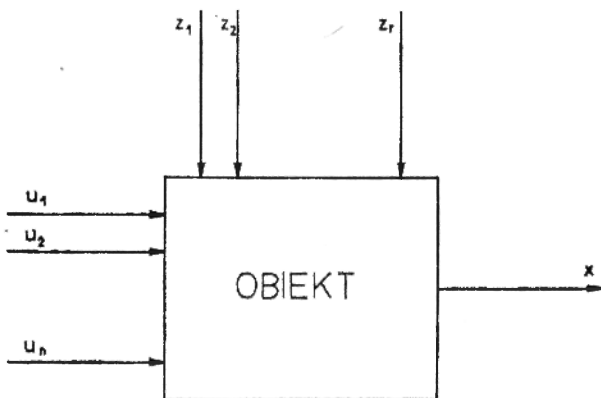


Fig. 20

Analiza regresyjna — model obiektu badań  
Model of studied object used in curvilinear regression analysis

( $z_1, z_2 \dots z_r$ ) reprezentujące, np. błędy pomiaru poszczególnych wielkości, wpływ innych wielkości nie mierzonych itp.

Obiekt jest opisany zależnością:

$$X = f(u_1, u_2 \dots u_n, z_1, z_2 \dots z_r), \quad (2.1)$$

przy czym wielkości  $z_1, z_2 \dots z_r$  nie są znane. Należy znaleźć tzw. funkcję regresji drugiego rodzaju o arbitralnie wybranej postaci:

$$X' = f(u_1, u_2 \dots u_n, b_1, b_2 \dots b_k), \quad (2.2)$$

zawierającej  $k$  współczynników regresji  $b_1, b_2 \dots b_k$ . Zadanie to sprowadza się do wyznaczenia dla danych wyników obserwacji  $u_1, u_2 \dots u_n$  optymalnego zestawu współczynników  $b_1, b_2 \dots b_k$  minimalizujących wyrażenie:

$$S = \sum_{i=1}^N (x_i - x_i')^2 = \sum_{i=1}^N [x_i - f_i(u_1, u_2 \dots u_n, b_1, b_2 \dots b_k)]^2. \quad (2.3)$$

Znajomość funkcji regresji (2.1), charakteryzującej związek tkwiący w zależności statystycznej, umożliwia przewidywanie wartości wyjściowej  $x$  dla danego zestawu wielkości wejściowych  $u_1, u_2 \dots u_n$ .

Do oceny zgodności wyznaczonego modelu regresyjnego z danymi doświadczalnymi stosuje się następujące wielkości:

1. Wariancja resztowa:

$$\delta_{x_i - \bar{x}}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.4)$$

lub odchylenie standardowe

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.5)$$

2. Współczynnik korelacji:

$$R_{xN} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(u_i - \bar{u})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})^2}}. \quad (2.6)$$

3. Test Snedecora do oceny istotności modelu:

$$F = \frac{\delta^2 \bar{x}}{\delta^2 x_i - \bar{x}}, \quad (2.7)$$

określający stosunek wartości wielkości wyjściowej do wariancji resztowej określonym wzorem (2.4).

4. Test Studenta do oceny istotności współczynników modelu  $b_1, b_2 \dots b_k$ :

$$t = \frac{|b_j|}{\delta^2 x_i - \bar{x}_j / C_{ij}}, \quad (2.8)$$

gdzie  $C_{ij}$  są elementami macierzy korelacji współczynników  $b_j$ .

W zagadnieniu dotyczącym procesu uwęglenia omawianego obszaru rozpatrzono kilka modeli regresyjnych, w których wielkościami wyjściowymi są zawartości części lotnych, względnie spiekalności, a wejściowymi — różne cechy natury geologicznej.

Poniżej przedstawione są uzyskane wyniki dla poszczególnych modeli.

Model 1: wyjście ( $x$ ) — zawartość części lotnych ( $V^b$ ) w węglu,

wejście ( $u$ ) — pozycja stratygraficzna pokładów węgla.

Najwyższy współczynnik korelacji uzyskano w modelu 3-go rzędu, który przedstawia się następująco:

$$x = b_0 + b_1 u + b_2 u^2 + b_3 u^3,$$

a po podstawieniu odnośnych wartości zawartych w tabeli 5 otrzymamy:

$$x = 20.128 + 0.67998 (\text{poz. strat.}) - 0.026061 (\text{poz. strat.})^2 + 0.00023685 (\text{poz. strat.})^3$$

Wyniki testu t-Studenta, badającego istotność współczynników regresji, zbliżone są lub równe jedności, co oznacza, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o istotności czynników. Współczynnik korelacji wynoszący 0.31426 stanowi ocenę związku między wielkościami: wyjściową i wejściową.

Niska wartość współczynnika korelacji informuje, że położenie stratygraficzne pokładu jest w niewielkim stopniu powiązane z poziomem uwęglenia. Sigma, której kwadrat jest równy wariancji resztowej,

stanowi miarę odchylenia wartości modelowych wyjścia ( $V^b$ ) w stosunku do wartości rzeczywistych otrzymanych doświadczalnie. Sigma dla tego modelu ma wartość dość dużą (7.5829) w stosunku do średniej zawartości części lotnych w węglach badanego obszaru (22.08%). W tych też granicach zmieniają się wartości modelowe w stosunku do wartości faktycznych.

Zatem dysponując danymi dotyczącymi jedynie pozycji stratygraficznej pokładu można na podstawie przedstawionego modelu określić zawartość części lotnych w węglu, z tym że wynik będzie obarczony dużym błędem. Zwraca uwagę pozytywny wynik testu Snedecora badającego istotność modelu, ale jest to test raczej słaby i dlatego jego wynik nie ma decydującego znaczenia.

Model 2: wyjście ( $x$ ) — zawartość części lotnych, wejście ( $u$ ) — % materiału gruboplastycznego w profilu.

Najbardziej interesujący jest model 2-go rzędu o formule:

$$x = \bar{b}_0 + \bar{b}_1 u + b_2 u^2,$$

która po podstawieniu wartości z tabeli 6 przyjmuje postać:

$$x = 158,50 - 4.3680 \% \text{ mat. grub.} + 0,033547 (\% \text{ mat. grub.})^2$$

Wprawdzie w modelu 3-go rzędu współczynnik korelacji wynosi 0.73550, ale współczynniki regresji mają małą istotność (test t-Studenta) i sigma wynosi 5.4118.

Wysoki współczynnik korelacji i niska sigma (model 2-go rzędu) wskazują na istotne powiązanie między stopniem metamorfozy węgla a procentową zawartością materiału gruboklastycznego w profilu, która pośrednio opisuje warunki facjalne zbiornika,

Tabela 5

Współczynniki regresji Regression coefficients	Test t-Studenta Student's t-test	Sigma ( $\sigma$ )	Wariancja resztowa Residual variance	Test F Snedecora Snedecor's F-test	Współczynnik korelacji Correlation coefficient
$b_0 = 2.0128 \cdot 10^1$ $b_1 = 6.7998 \cdot 10^{-1}$ $b_2 = -2.6061 \cdot 10^{-2}$ $b_3 = 2.3665 \cdot 10^{-4}$	1.000000 0.941240 0.966250 0.9555770	7.6079	57.50	$1.3334 \cdot 10^{-6}$	0.31426

Tabela 6

Współczynniki regresji Regression coefficients	Test t-Studenta Student's t-test	Sigma ( $\sigma$ )	Wariancja resztowa Residual variance	Test F Snedecora Snedecor's F-test	Współczynnik korelacji Correlation coefficient
$b_0 = 1.5850 \cdot 10^1$ $b_1 = -4.3680 \cdot 10^0$ $b_2 = 3.3547 \cdot 10^{-2}$	1.000000 1.000000 1.000000	5.4036	29.198	$2.1525 \cdot 10^{-49}$	0.73533

Model 3: wyjście ( $x$ ) — zawartość części lotnych, wejście ( $u$ ) — odległość od masywu Chełmca.

Najwyższym współczynnikiem korelacji i najmniejszą sigmą charakteryzuje się model 3-go rzędu, którego formuła:

$$x = b_0 + b_1 u + b_2 u^2 + b_3 u^3,$$

po podstawieniu wartości z tabeli nr 7 uzyska postać:

$$x = 10.458 - 0.003796 \text{ odl.} + 0.000008988 (\text{odl.})^2 + 0.0000000016 (\text{odl.})^3$$

Wysoka wartość współczynnika korelacji i niska sigma wskazują na silne powiązanie stopnia metamorfozy węgla z odległością od masywu Chełmca.

Model 4: wyjście ( $x$ ) — zawartość części lotnych, wejście ( $u$ ) — miąższość nakładu (głębookość pograżenia pokładów węgla).

Modele 1-go, 2-go i 3-go rzędu charakteryzują się niskimi współczynnikami korelacji i wysoką sigmą. Najwierniejszy obraz uzyskuje się przy zastosowaniu modelu 3-go rzędu:

$$x = 52.437 - 0.2323 \text{ gł.} + 0.0005777 (\text{gł.})^2 + 0.00000047 (\text{gł.})^3$$

Podobnie niskie współczynniki korelacji i stosunkowo dużą sigmę otrzymuje się dla modeli (5): zawartość części lotnych — miąższość pokładów; (6): zawartość części lotnych — upad pokładów. Potwierdza to wyniki analizy czynnikowej, w której uzyskano słabe korelacje między tymi cechami.

W podobny sposób do opisanych wyżej rozpatrzono relacje między spiekalnością węgla (Liczba Rogi) a podobnymi cechami geologicznymi. W modelu 7, spiekalność — pozycja stratygraficzna pokładu, najwyższy współczynnik korelacji uzyskuje się przy zastosowaniu modelu 3-go rzędu (0.2794), chociaż wartość ta jest niższa niż w przypadku modelu 1 (zawartość części lotnych — pozycja strat. pokładu):

$$x = 1.684 + 1.429 \text{ poz. strat.} - 0.07350 (\text{poz. strat.})^2 + 0.000767 (\text{poz. strat.})^3.$$

Współczynniki regresji rozpatrywanego modelu są mało istotne (test t-Studenta), a sigma wysoka ( $\delta = 29.564$ ). Największe wartości współczynników korelacji otrzymano dla modeli opisujących zależ-

ności: (8) spiekalność — zawartość materiału gruboklastycznego; (9) spiekalność — odległość od masywu Chełmca, których postaci przedstawiają odpowiednio poniższe równania:

$$x = 801,26 - 30,324 \% \text{ mat. grub.} + 0,37707 (\% \text{ mat. grub.})^2 - 0,00148 (\% \text{ mat. grub.})^2,$$

wsp. korelacji = 0.69523,

$$x = -79,874 + 0,09487 \text{ odl.} - 0,000013 (\text{odl.})^2 + -0,0000000002 (\text{odl.})^3$$

wsp. korelacji 0.7269.

Współczynniki regresji w modelach: (10) spiekalność — miąższość nakładu; (11) spiekalność — miąższość pokładu węgla, charakteryzują się małą istotnością, co nie wskazuje na istnienie zależności między tymi cechami. Interesująco przedstawia się model (12): spiekalność — zawartość części lotnych. Spośród trzech modeli, 1-go, 2-go i 3-go rzędu, model 2-go rzędu charakteryzuje się najniższą sigmą, lepszymi wynikami testu Snedecora i większą istotnością współczynników regresji. Dla tego modelu równanie przyjmuje postać:

$$\text{zawartość części lotnych} = 13.107 + 0,34171 (\text{spiekalność}) \pm -0,001555 (\text{spiekalność})^2,$$

a odpowiednie parametry statystyczne wynoszą:

$$\text{współczynnik korelacji} = 0,88389, \text{ sigma } (\delta) = 3.729, \text{ test Snedecora} = 8.8575 \cdot 10^{-96}$$

Należy sądzić, że jeszcze wyższy współczynnik korelacji można osiągnąć uwzględniając wpływ budowy petrograficznej węgla na jego spiekalność. Jednak i na podstawie powyższego modelu można stwierdzić, że w obszarze pól eksploatacyjnych kopalni  $K_1$  spiekalność zmienia się proporcjonalnie do zawartości części lotnych (por. również fig. 18).

Poniżej przedstawione są wielowymiarowe modele regresyjne, na podstawie których przy uwzględnieniu wielu danych wejściowych można z dużą dokładnością prognozować stopień metamorfozy węgla w badanym obszarze stosując jako wejście ( $u$ ): pozycja stratygraficzna pokładu ( $u_1$ ), procent materiału gruboklastycznego ( $u_2$ ), odległość masywu Chełmca ( $u_3$ ), miąższość nakładu ( $u_4$ ) i upad ( $u_5$ ), a jako wyjście

Tabela 7

Współczynniki regresji Regression coefficients	Test t-Studenta Student's t-test	Sigma ( $\delta$ )	Wariancja resztowa Residual variance	Test F Snedecora Snedecor's F-test	Współczynnik korelacji Correlation coefficient
$b_0 = 1.0459 \cdot 10^1$	0.981817	4.4864	21.27	$7.2760 \cdot 10^{-12}$	0.82736
$b_1 = -3.7964 \cdot 10^{-3}$	0.698456				
$b_2 = 8.9886 \cdot 10^{-6}$	0.995944				
$b_3 = -1.6567 \cdot 10^{-9}$	0.999752				

(x) — zawartość części lotnych. Otrzymany model 1-go rzędu (13) o formule:

$$x = b + b_1 u_1 + b_2 u_2 + b_3 u_3 + b_4 u_4 + b_5 u_5,$$

po podstawieniu danych z tabeli nr 8 przyjmie postać:

$$x = 44.8767 + 0,1951 (\text{poz. strat.}) - 0,3146 (\% \text{ mat. grub.}) + 0.0054 (\text{odl.}) - 0,0174 (\text{miąż. nadkł.}) - 0,02303 (\text{upad})$$

Załączona tabela 9 przedstawia wyniki modelowe (model 13 i 14) zawartości części lotnych i faktyczną ich zawartość, uzyskaną w wyniku analizy technologicznej danej próby węgla. Poniższe dane dotyczą 17 przypadków.

Z rozpatrzonych danych wynika, że dysponując 6-wymiarowym modelem można z bardzo dużą dokładnością przewidzieć zawartość części lotnych w dowolnym punkcie badanej części Zagłębia. Powinno to stworzyć perspektywy jeszcze bardziej racjonalnej eksploatacji żądanych typów węgla.

Jeszcze lepsze wyniki w sensie wartości współczyn-

nika korelacji i sigmy uzyskuje się stosując te same wielkości wejściowe (oprócz miąższości pokładów węgla z uwagi na niski współczynnik korelacji dla modelu miąższość pokładu — zawartość części lotnych w modelach 2-go i 3-go rzędu). W przypadku tego ostatniego równania przyjmuje postać (model 14):

$$x = b_0 + b_1 u_1 + b_{11} u_1^2 + b_{111} u_1^3 + b_2 u_2 + b_{22} u_2^2 + b_{222} u_2^3 + b_3 u_3 + b_{33} u_3^2 + b_{333} u_3^3 + b_4 u_4 + b_{44} u_4^2 + b_{444} u_4^3 + b_5 u_5 + b_{55} u_5^2 + b_{555} u_5^3,$$

a po podstawieniu danych z tabeli nr 10 przybierze postać:

$$x = 0.014775 + 0.0226 \text{ poz. strat.} - 0.013855 (\text{poz. strat.})^2 + 0.00013777 (\text{poz. strat.})^3 + 10.366 (\% \text{ mat. grub.}) + -0.18050 (\% \text{ mat. grub.})^2 + 0.0009939 (\text{mat. grub.})^3 + 0.0007998 \text{ odl.} + +0.000005 (\text{odl.})^2 - 0.00000000102 (\text{odl.})^3 + +0.07166 (\text{miąż. nadkł.}) - 0.0002556 (\text{miąż. nadkł.})^2 + 0.00000023 (\text{miąż. nadkł.})^3 + 13.677 (\text{upad}) + 0.020463 (\text{upad})^2 + -0.0000949 (\text{upad})^3.$$

Tabela 8

Współczynniki regresji Regression coefficients	Test t-Studenta Student's t-test	Sigma (σ)	Wariancja resztowa Residual variance	Test F Snedecora Snedecor's F-test	Współczynnik korelacji Correlation coefficient
$b_0 = 4.4867 \cdot 10^1$	1.000000	3.3945	11.525	$7.2760 \cdot 10^{-12}$	0.9059
$b_1 = -1.9506 \cdot 10^{-1}$	1.000000				
$b_2 = -3.1462 \cdot 10^{-1}$	1.000000				
$b_3 = 5.3948 \cdot 10^{-3}$	1.000000				
$b_4 = -1.7381 \cdot 10^{-2}$	1.000000				
$b_5 = -2.3035 \cdot 10^{-2}$	0.972153				

Tabela 9

Lp. No.	Rzeczywista zawartość części lotnych — pomiary ( $V^b$ ) Observed volatile-matter content (measured)	Zawartość części lotnych — model 13 ( $V^b$ ) Predicted volatile matter content (based on model 13)	Zawartość części lotnych — model 14 ( $V^b$ ) Predicted volatile matter content (based on model 14)
1.	9.40	9.71	9,18
2.	10.10	12.54	10.70
3.	11.00	12.87	11.53
4.	12.20	13.24	11.21
5.	15.60	15.84	14.91
6.	16.13	16.15	15.27
7.	16.50	17.41	17.24
8.	17.80	18.09	17.70
9.	19.10	19.66	18.27
10.	18.90	20.55	19.12
11.	8.94	9.14	7.93
12.	12.70	14.76	14.02
13.	11.80	15.18	14.37
14.	15.20	17.20	17.23
15.	14.50	16.76	16.12
16.	14.80	17.03	16.16
17.	16.50	18.67	18.24

Tabela 10

Współczynniki regresji Regression coefficients	Test t-Studenta Student's t-test	Sigma ( $\sigma$ )	Wariancja resztowa Residual variance	Test F Snedecora Snedecor's F-test	Współczynnik korelacji Correlation coefficient
$b_0 = -1.4775 \cdot 10^{-2}$	0.971431	2.5879	6.6970	$2.1828 \cdot 10^{-11}$	0.94837
$b_1 = 2.0260 \cdot 10^{-1}$	0.907671				
$b_{11} = 1.3855 \cdot 10^{-2}$	0.996816				
$b_{111} = 1.3777 \cdot 10^{-4}$	0.997099				
$b_2 = 1.0366 \cdot 10^1$	0.995463				
$b_{22} = -1.8050 \cdot 10^{-1}$	0.996190				
$b_{222} = 9.9391 \cdot 10^{-4}$	0.995697				
$b_3 = 7.9982 \cdot 10^{-4}$	0.560689				
$b_{33} = 5.0122 \cdot 10^{-6}$	0.983344				
$b_{333} = -1.0337 \cdot 10^{-9}$	0.999186				
$b_4 = 7.1660 \cdot 10^{-2}$	0.990616				
$b_{44} = -2.5561 \cdot 10^{-4}$	0.998204				
$b_{444} = 2.3610 \cdot 10^{-7}$	0.998230				
$b_5 = -1.3677 \cdot 10^1$	1.000000				
$b_{55} = 2.0463 \cdot 10^{-2}$	1.000000				
$b_{555} = -9.4933 \cdot 10^{-5}$	1.000000				

W tabli 9 przedstawione są wyniki obliczeń wartości części lotnych uzyskane na podstawie powyższego modelu (14). Duża zbieżność danych modelowych i rzeczywistych potwierdza możliwość do-

kładnego prognozowania jakości węgla w naszym obszarze za pomocą modeli regresyjnych i trafności określenia najważniejszych czynników metamorfizmu.

## WNIOSKI

Jak wynika z zestawionego powyżej materiału rozwój procesu metamorfozy węgla przedstawiał się następująco:

1. Torfowiska, w których powstały badane węgle, rozwijały się w facji lądowo-leśnych torfowisk (FTM). Węgle należą w przeważającej mierze do typu autochtonicznych.

2. Podstawowy stopień metamorfizmu węgla w Zagłębiu Dolnośląskim jest wynikiem paleogradientu geotermicznego.

3. Proces uwęglania trwał 15–16 mln lat i zakończył się na przełomie stefanu A/B.

4. Temperatura procesu metamorfozy generalnie nie przekroczyła 170°C.

5. W okolicach pola „A” i „B” (przekopy I, II, III) uwęglanie jest wynikiem metamorfizmu regionalnego wywołanego odpowiednim gradientem geotermicznym oraz metamorfizmu termicznego wynikającego z bliskiej odległości ogniska magmowego, którego akcentem jest porfirowy masyw Chełmca.

6. W polu „A” i w części pola „B” (przekopy I, II, III) zmiany uwęglania zaznaczają się wyraźnie z głębokością stratygraficzną, co nie zostało zaobserwowane w pozostałej części pola „B” (przekopy IV, VI, VII).

7. Z przeprowadzonych badań wynika, że pole,

„A” i część pola „B” (przekopy I, II, III) leżą nad ogniskiem magmowym, a uruchomienie magmy rozpoczęło się po osadzeniu dolnej grupy węglowej.

8. Obserwuje się wzrost uwęglania w strefach dyslokacyjnych, zwłaszcza tam, gdzie występują uskoki asekwentne.

9. Spiekalność węgla jest w pewnej mierze zależna od budowy petrograficznej węgla, a w szczególności od zawartości macerałów schudzających.

10. W wyniku analizy czynnikowej wyodrębniono 5 głównych czynników kontrolujących poziom uwęglania węgla warstw żaclerskich w badanym obszarze, są to:

a) dystalność basenu węglowego względem masywu Chełmca;

b) czynnik czasowy, który należy rozumieć jako okres pozostawania węgla w strefie odpowiednich temperatur powodujących uwęglanie;

c) ciśnienie statyczne wynikające z głębokości pogrzebienia węgla wiążące się raczej z odpowiednim gradientem geotermicznym;

d) zmienność warunków facjalnych basenu węglowego;

e) obecność skał klastycznych, średnioziarnistych w bezpośrednim nadkładzie pokładów węglowych.

11. Wynikiem analizy regresywnej są modele opi-

sujące matematycznie statystyczne zależności pomiędzy stopniem metamorfozy węgla oraz warunkami diagenety i procesu uwęglania. Jej ostatecznym wynikiem

jest model regresyjny trzeciego rzędu pozwalający z dużą dokładnością prognozować jakość węgla w obszarach eksploatacyjnych przyległych do Chelmea.

## LITERATURA

- AUGUSTYNIAK K., 1970: Atlas geologiczny Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego. Geological Atlas of the Lower Silesian Coal Basin. Inst. Geol., Warszawa.
- BOCZAR J., 1963: Charakterystyka chemiczna i technologiczna węgla kamiennych Zagłębia Wałbrzyskiego. Arch. Polit. Wrocł.
- BOROWSKI J., 1968: Problem uwęglania pokładów i pochodzenie metanu na tle wulkanizmu w południowej części Zagłębia Górnośląskiego. Problem of coalifications of seams and the origin of firedamp on the background of volcanism in the southern part of the Upper Silesian Coalfield. *Prz. Górniczy*, nr 4.
- CATTELL R., 1965: Factor analysis-introduction to essentials. *Biometrics*, vol. 21.
- [CHORAI K., UEDA S.] 1972: Хорай К., Уэда С. Тепло- вый поток в вулканических областях. Науки о земле. Москва.
- COOK A., EDWARDS G., 1971: Vitrinite content and coke strength. *Feul*, vol. 50, no. 1.
- DON J., 1961: Utwory młodopaleozoiczne okolic Nowej Rudy. The Permo-Carboniferous of the Nowa Ruda region. *Zesz. Nauk. Univ. Wrocł.*, Ser. B, nr 6.
- DOPITA M., ZEMAN J., 1958: Uwęglanie pokładów w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Carbonization of strata in Upper Silesian Coal Basin. *Kwart. Geol.*, t. 2, z. 3.
- DZIEDZIC K., 1965: Geneza karbońskich niecek z obszaru noworudzkiego. Genesis of Carboniferous Troughs in the Area of the Nowa Ruda Gabbro-Diabase Massif. *Kwart. Geol.*, t. 9, z. 3.
- K., 1965a: Niektóre problemy geologiczno-górnictwa Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego. Some geological and mining problems of the Lower Silesian Coalfield. *Prz. Górniczy*, nr 11.
- 1968: Rozwój produktywnej formacji węglowej w Sudetach Środkowych. Development of Coal Measures in Central Sudety Mts. *Rocz. P. T. Geol.*, t. 36, z. 4.
- 1971: Sedymentacja i paleogeografia utworów górnokarbońskich w niecce śródsudeckiej. Sedimentation and paleogeography of the upper carboniferous deposits. *Geol. Sudetica*, vol. 5.
- [ETINGER J., MATWIJENKO R., SZERTUKOW W.], 1963: Этингер Й., Матвиенко Р., Шертуков В. Усиление сорбционной активности углей Норильского месторождения под влиянием рудоносной интрузии. Докл. АН СССР, 148, no 4.
- GABZDYL W., 1969: Charakterystyka petrograficzno-facialna pokładów węgla i skał towarzyszących w kopalni Jastrzębie (Rybnicki Okręg Węglowy). A petrographic and facies characteristic of coal seams and accompanying them rocks in the Jastrzębie Mine (Rybnik Coal District). *Pr. Geol. Komis. Nauk Geol. PAN*, Oddz. w Krakowie, nr 55.
- [GAWRIŁOWA O., GUREWICZ A., TOPOREC S.], 1975: Гаврилова О., Гуревич А., Топорец С. Термальный метаморфизм угленосных толщ. Зап. Ленингр. ин-та. 68 no 2.
- GEDENK R., 1963: Die Zusammensetzung des Restgases in Kohlen und Nebengestein der Bohrung Munsterland. 1. *Fortschr. Geol.* etc. H. 11.
- GOTHAN W., GROPP W., 1933: Paleobotanisch-stratigraphische Untersuchungen im niederschlesischen Karbon. *Z. Berg.-Hutten. Salinew.*, Bd. 81.
- GROCHOLSKI A., 1974: Problemy startygrafii silezu w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym. Stratigraphical Problems of the Silesian in the Lower Silesian Coal Basin. *Kwart. Geol.*, t. 18, nr 1.
- [GROMOWA G., GOŁUBIEWA F.], 1962: Громова Г. Голубева Ф. Изменение метаморфизма углей верхнебалахонской свиты Сарбалинского (Карамиянского) участка Кузбасса. Вестн. Зап. Сиб. и Новосиб. Геол. Утр. no 2.
- HACQUEBARD P., DONALDSON R., 1964: Carboniferous coal deposition associated with flood plain and limnic environments in Nova Scotia. *Geol. Soc. Am. Bull.*
- HARLAND W., 1971: The phanerozoic time-scale. A supplement, London.
- HARMAN H., 1967: Modern factor analysis. *Univer. Chicago Press.*
- HEDEMANN H., 1963: Die Gebirgstemperaturen in der Bohrung Munsterland 1 und die geothermische Tiefenstufe. *Fortschr. Geol.* etc., H. 11.
- HUCK G., PATTEISKY K., 1964: Inkohlungsreaktionen unter Druck. *Fortschr. Geol.* etc., H. 12.
- [IZOSIMOWA O., FROŁOW W.], 1962: Изосимова О., Фролов В. К вопросу о метаморфизме углей восточной части тунгусского бассейна. Тр. Якутского фил. Сиб. отд. АН СССР, об. 14.
- JUNGTEN H., KARWEIL J., 1962: Künstliche Inkohlung von Steinkohlen. *Freiberger. Forschungsh.*, A. 229.
- KARWEIL J., 1956: Die metamorphose der Kohlen vom Stadtpunkt der physikalischen Chemie. *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, Bd. 107.
- KERAMSIN K., 1952: Deutung des Fazieswechsel in der Flözen Erda und Agir auf Grund der mikropetrographischen Schlizprobenuntersuchungen. *Bergbau. Arch.*, 13, H. 1-2.
- KOBEL-NAJZAREK E., WASILEWSKI P., 1973: Budowa i własności węgla kamiennego. Skrypty Polit. Śląskiej, Gliwice.
- KORNAŚ J., 1974: Petrografia skał osadowych górnego karbonu niecki śródsudeckiej. Arch. Inst. Geol., Wrocław.
- VAN KREVELEN D., SCHUYER J., 1958: Węgiel. PWN, Warszawa.
- KUHL J., 1963: Koks geologiczny (naturalny) w kopalni Jastrzębie-Moszczenica w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Geological(natural) coke from Jastrzębie-Moszczenica colliery in the Upper Silesian Coalfield. *Prz. Górniczy*, nr 1.
- KUHL J., KAPUŚCIŃSKI T., 1966: O węglu brunatnym i towarzyszącym mu ilowcu krystalicznym z kopalni węgla kamiennego Słupiec. On brown coal and accompanying crystalline claystone of the hard coal mine Słupiec. *Prz. Geol.*, z. 9.
- KUYL O., PATIJN K., 1961: Coalification in relation to depth

- of burial and geothermic gradient. *Compte Rendu*, 4, Hearlen 2.
- KWIECIŃSKA B., 1966: Węgle skoksowane z Zagłębia Wałbrzyskiego. Coked coals from the Wałbrzych Basin. *Pr. Miner. Komis. Nauk Miner. PAN*, Oddz. w Krakowie, nr 9.
- LENSCH G., 1963: Die metamorphose der Kohle in der Bohrung Munsterland 1 auf Grund des optischen Reflexionsvermögens der Vitrinite. *Fortschr. Geol. etc.*, H. 11.
- [ŁOPATIN N.], 1971: Лопатин Н. Температура и геологическое время как факторы углефикации. Изв. АН СССР Сер. геол. no 3.
- MAŃCZAK K., 1971: Metody identyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania. WNT, Warszawa.
- NEMEC W., 1977: Niektóre aspekty zastosowania analizy czynnikowej do badań skał klastycznych. Some aspects of factor analysis applications to clastic rocks studies. *Acta Univ. Wratisl.*, z. 6.
- PATTEISKY K., TEICHMÜLLER M., 1960: Inkohlungs-Verlauf, Inkohlungs-Masstabe von Vitrite-Analysen. *Brennstoff Chemie*, 41.
- PIASECKI Z., 1969: Analiza czynnikowa metodą Hotellinga. *Pr. Centr. Oblicz. PAN*, PWN, Warszawa.
- ROGA B., 1958: Kopalne paliwa stałe. Wyd. Geol., Warszawa.
- SCHÜLLER A., 1961: Die Druck-, Temperatur-, und Energiefelder der metamorphose. *N. Jb. Miner. etc. Abh.* Bd. 96.
- SCHWARZBACH M., 1974: Das Klima des Vorzeit. Stuttgart.
- [SIBAOKA M.], 1963: Сибеока Митио. Связ геологических условий накопления и характера углей участка Сорачи (месторождение исикари). Реф. Журнал. Т. 8, к. 21.
- [SIMMONS G., ROY R.], 1972: Симмонс Т., Рой Р. Тепловый поток в северной Америке. *Науки о земле*. Москва.
- SUCHODOLSKI Z., 1962: Charakterystyka budowy geologicznej Wałbrzyskiego Rejonu Węglowego. *Prz. Gorn.*, nr 7-8.
- [SZIŁOWSKI J. M.], 1962: Шиловский М. О некоторых закономерностях изменения метаморфизма углей Конюхтинских, Березовских и Тирюньских участков Кузбасса. Вестн. Зап. Сиб. и Новосиб. геол. утр. no 2.
- TEICHMÜLLER M., THOMSON P., 1958: Vergleichende mikroskopische und chemische Untersuchungen der wichtigsten Fazies-Typen im Hauptflos der niederrheinischen Braunkohle. *Fortschr. Geol. etc.*, H. 2.
- TEICHMÜLLER M. i R., 1967: Diagenesis of coal. *Develop. in Sediment.*, no. 8.
- TEICHMÜLLER R., 1973: Die paleogeographisch-fazielle und tektonische Entwicklung eines Kohlenbeckens am Beispiel des Ruhrkarbons. *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, Bd. 124, teil 2.
- [WASSOJEWICZ I.], 1967: Вассоевич И. Теория осадочно-миграционного происхождения нефти. Известия АН СССР, сер. геол. no. 2.
- WELLMAN H., 1950: Depth of burial of South Wales coals. *Geol. Mag.*, vol. 87, no 5.
- WIATR I., STENZEL P., 1976: Analiza czynnikowa (sposób Q) w zastosowaniu do badań geologiczno-inżynierskich. *Post. Nauk. Geol.*, nr 7.
- WOLF M., 1965: Ein Inkohlungsprofil unter Druck. *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, Bd. 120.
- [ZIL' BERBRANDT A., NOWIKOWA S., ROGAJLIN M., FARBEROW I.], 1976: Зил'Бербрандт А., Новикова С., Рогайлин М., Фарберов И. Термические превращения каменных углей некоторых углеграфитовых материалов. Химия тверд. топлива. no 1.
- ZIÓŁKOWSKI J., 1960: Fizyczne i chemiczne własności macerałów węgla polskich. *Pr. Gl. Inst. Gorn.*, nr 253.



Tomasz KUŁAKOWSKI\*

## GEOLOGICAL ENVIRONMENTS OF COALIFICATION OF THE ŽACLEŘ BEDS IN THE LOWER SILESIA COAL BASIN

### Summary

### INTRODUCTION

This paper presents the results of the author's study in coalification (or carbonification) of the Upper Carboniferous coal deposits in the Intrasudetic Basin (Central Sudetes, SW Poland). One particular segment of the Upper Carboniferous coal measures has been studied, namely the coal seams of Žacler Beds. The data come mostly from the coal seams which crop out in the exploitation fields of the mine  $K_1$  (fields "A" and "B") and mine  $K_2$  in the Wałbrzych district (fig. 1). Some supplementary, fragmentary data concerning the coal-rank variation come also from the drill cores derived in the nearby Nowa Ruda district.

The primary aim of this investigation is the recognition of geological factors which caused the transformation of the parent organic matter of plant accumulates into the high-rank

coking coals and anthracites characteristic of the region discussed. In this study the volatile matter content ( $V_b$ ) has been used as a parameter of the coal rank, while the Roga's number (LR) is applied as an indicator of the coal coking qualities. Certain coal seams have not been accessible to this investigation in the coal-mines above, and there are also difficulties in obtaining fresh samples from some other coal seams. For the latter reasons this study is partly based on the data collected by the Laboratory of Central Mining Institute (GIG) in Wałbrzych. From the total number of data used (291 samples), 130 samples have been studied by the author himself to determine the coal rank. All the remaining rank determinations, as well as all the data concerning the coal coking qualities come from the Laboratory above.

### SOME RELATED STUDIES

The variable degree of carbonification of the coal seams in various well-known coal measures has focused much attention of both the scientific workers and real coal users. Hilt (*vide* Roga 1958) was perhaps amongst the first geologists who pointed out that in a given coal field the coal rank increases with increasing depth of burial of the coal seams, and that the latter rank change is primarily manifested by an increase in the C-content and a respective decrease in the amount of volatile matter. As the number of related studies grew with time, however, the above interpretation (known as Hilt's rule) of the relationships observed in coal measures appeared to be oversimplified. This is primarily because it is hardly satisfying as an adequate explanation of the complex nature of the physical/chemical changes which are commonly referred to as metamorphism of coals (i. e., geochemical coalification or carbonification). As a partial alternative, it is assumed by some authors (e.g. Trotter, *vide* Wellman 1950; Suchodolski 1962; Dopita, Zeman 1958) that tectonic factors (i.e., dynamic pressure) may play as important agencies controlling the coalification processes. On the

other hand, some other investigators (e.g. Karweil 1956; Huck, Patteisky 1964) postulated on experimental grounds that the burial (or static) pressure does not enhance but instead inhibits the chemical processes of coalification, and that also the role of dynamic pressure is restricted to only small changes of the coal rank (*cf.* Jungten, Karweil 1962). There is a general agreement in the more recent literature that the temperature and duration of the coalification processes are amongst the most important controlling factors (van Krevelen, Schuyer 1958; Etinger *et al.* 1963; Lensch 1963; Wassojewicz 1967; R. Teichmüller 1973; and numerous others). An important role is also probably played by the character of the clastic rocks overlying coal seams, and by the activity of hydrothermal solutions. The significance of the primary depositional facies and conditions of peat formation to the coal rank are also suggested by many authors (e.g. M. Teichmüller 1959; Hacquebard, Donaldson 1964).

From the brief review above it seems clear that various controlling factors are probably responsible for the coalification

\* Institute of Geological Sciences of the Wrocław University, ul. Cybulskiego 30, 50-205 Wrocław.

processes and coal rank, though the effects of many may be difficult (if possible) for determination in bituminous coals. Only relatively few of these factors can be directly studied in the bituminous coals, while many of the remaining agents become virtually impossible to be detected and analysed (though

their potential importance should always be borne in mind and considered if only possible). This is primarily because the superimposition of the effects of many factors makes the problem largely obscured.

### ŻACLEŃ BEDS COAL-MEASURES IN LOWER SILESIA COAL-FIELD

In the Lower Silesian Coal-Field there are two regions where thick coal-bearing deposits occur, namely the Wałbrzych district and Nowa Ruda district. In both of the regions the coal seams are stratigraphically grouped in the lower (Wałbrzych Beds) and middle (Żacleń Beds) portion of the Upper Carboniferous sedimentary sequence. Within the Żacleń Beds, considered here, the three following groups of strata are distinguished: two thick packages of coal-bearing strata (referred herein as the lower and upper "coal groups", respectively) are separated by a package of pebbly sandstones and sandstones with subordinate shale interbeds and rare thin coal-seams only (cf. Dziedzic 1966). This tripartite organization of the Żacleń Beds is particularly well recognized in the Wałbrzych district (fig. 2), but is less well seen in the vicinity of Stupiec in central Nowa Ruda district (Don 1961) and is not revealed in the vicinity of Gorce (Augustyniak 1970).

**Wałbrzych district.** In this region all of the detailed observations and data have been collected in the mining tunnels localized in fields "A" and "B" of the mine  $K_1$ . The exploitation field "A" is located southwest from the porphyry massif of Chelmiec (fig. 1). Petrographically, the coals are primarily composed of vitrinite and inertinite maceral-groups, this being suggestive of forest-terrestrial moor (FTM) facies of the plant growth and accumulation (cf. Haquebard, Donaldson 1964). Within the field "A" the volatile-matter content is observed as increasingly changing with increasing stratigraphic depth of the coal seams. Clear differentiation in the coal rank is noted here between the lower and the upper "coal groups" (figs. 3–7). The lower "coal group" is primarily composed of anthracites, while high-rank coking coals predominate in the upper. In the field "A", the coal rank appears changing more rapidly with increasing stratigraphic depth, than in the down-dip direction of the coal seams (figs. 3–7). A decrease of the volatile-matter content and coking properties is observed in tectonically-engaged coal seams. Also rather close relationships have been recognized as present between the volatile-matter content and the character of seam-covering clastics (figs. 3–7), and between the coking qualities and petrographic character of the coals.

Within the field "B" the coalification effects have been studied in the individual coal seams which crop out in the mining tunnels, the location of which is shown in figure 1. In the vicinity of tunnels I–III, near the Chelmiec porphyry body, the volatile-matter content ( $V^b$ ) is observed as almost uniformly increasing when traced towards the relatively younger coal seams (figs. 8–10). In the same direction the coking qualities of coals

do also increase (figs. 8–10). Relatively lower volatile-matter content and coking properties have been noted in the coal seams which reveal faulting and in those which are covered with medium- to coarse-grained clastics. In the vicinity of tunnels IV–VII in field "B" (figs. 11–14) the coal seams in both of the "coal groups" are characterized by similar rank and coking properties, these features being also largely independent from the relative stratigraphic position of the coal seams in this area (figs. 11–14). The uniform degree of metamorphic changes, as observed in the neighbouring seams of the lower and upper "coal groups" (figs. 11–14), is perhaps one of the most striking features in this area. Another clear relationship revealed by these deposits is the depending of both the volatile-matter content and coking qualities on the grain-size character of the seam-covering clastics (figs. 11–14). In the case of sandstone/conglomeratic cover, characterized by higher porosity and permeability values, the coals exhibit a generally higher rank than in the case of claystone/siltstone lithologies capping the seam. A generally lower degree of coal metamorphism is also observed in fault zones.

In the area of mine  $K_2$  five particular coal-seams (nos 12, 35, 47, and 60) have been studied where cropping out in the tunnels  $K_2$ –I,  $K_2$ –II, and  $K_2$ –III (fig. 1). In these outcrops, which are far apart from the main magmatic-rock occurrences, the coal seams representing both the lower (seams no. 35, 47, and 60) and upper (seam no. 12) "coal group" are present. These coals show rather uniform content of the volatile matter (averagely 32.5%) and are also characterized by an almost constant degree of coalification; the volatile-matter content shows no significant change when traced in the down-dip direction of strata.

**Nowa Ruda district.** In contrast to the above region, the Nowa Ruda district lacks extensive volcanic rocks and is therefore considered here, primarily as the source for comparative data. In this region the coal deposits of Żacleń Beds have been studied on the basis of core samples derived from five boreholes drilled in the mine  $K_3$  (for locations see boreholes a–e in fig. 15). The coal-rank variation in the individual boreholes is presented in figure 16. From the latter figure it is seen that the degree of coalification slightly increases with increasing stratigraphic depth, and this is primarily manifested by the respective decrease of both the volatile-matter content and coking qualities of coals. Some changes of the coking properties might have probably resulted from changes in the maceral-composition of coals.

### COMPARISONS OF COALIFICATION DEGREE AND AN ATTEMPT AT EXPLANATION OF UNDERLYING CONTROLLING FACTORS

On the basis of the volatile-matter content, considered as a measure of the coal rank, the degree of coalification is found to be non-uniform in the regions discussed above (though it may be approximately constant for certain coal-seams within each region).

As regards the Wałbrzych region, at least there areas (or

sub-regions) can be distinguished on the basis of the coal-rank variation.

I. The first sub-region corresponds to the area represented by the tunnels in mine  $K_2$  and by the tunnels IV–VII in the field "B" of mine  $K_1$ . In this sub-region the coals usually contain more than 30% of the volatile matter, the latter feature

being representative to both the lower and upper "coal groups" of the *Żacler Beds*. The internal uniformity of the two "coal groups" with respect to the coal rank, together with their considerable similarities (tab. 1) all suggest relatively uniform conditions of coalification as having been present in this sub-region. The observed relationship between the coking properties (LR) of the coals and their volatile-matter content is graphically shown for this sub-region (and for the Nowa Ruda coal-field) in figure 18.

II. The second sub-region is represented by the area occupied by tunnels I–III in the field "B" of mine  $K_1$ . In this area well visible is the change of the coal rank with increasing stratigraphic depth (as well as in the down-dip direction of strata). A considerable differentiation in the coal rank is observed between the lower and the upper "coal group" of the *Żacler Beds* (tab. 1) and, accordingly, a significant change in the coalification processes and coal-rank is deduced as having taken place in the time interval separating the deposition of the two respective "coal groups". In both of the "coal groups" the coal rank is observed as increasingly changing in the direction from tunnel III to tunnel II, i.e., towards the porphyry massif of Chelmiec (fig. 1).

III. The third sub-region corresponds to the mining tunnels in field "A" which are located near the Chelmiec massif. In this area the coal rank is observed as increasing stronger with the stratigraphic depth than in the down-dip direction of strata. Well detected is also the differentiation in coal rank between the two "coal groups" above (tab. 1). Thus, it is inferred for this sub-region too, that a considerable change in the coalification rate has probably taken place during the deposition of the coal-lacking strata separating the two "coal groups".

It is to be emphasized, for the *Żacler* coal-seams in field "A" and in tunnels I–III of field "B", that the increase of the coking qualities of coal appears significantly proportional to the increasing coal rank (fig. 18). Another fact to be stressed is that in every sub-region discussed there are some changes of the coals rank which can be related to the grain-size properties of the clastic deposits capping the coal seams (tab. 2).

Having arrived at this point, the primary agencies which controlled the coalification phenomenon in the Wałbrzych district are to be considered. In light of what has been said there is evidence clearly supporting the opinion recently advanced by many authors that temperature is one of the most important factors (if not the most important one) which control the coalification processes. According to the hypothesis of crypto-volcanic origin of the Wałbrzych coalbasin (Dziedzic 1965a, 1966, 1971), it is inferred here that a considerably high geothermal gradient has probably been the primary cause of the high rank of coals in this region. It seems likely that the high geothermal gradient resulted probably from a considerably high heat-flow caused by the presence of active magmatic centre(s) or reservoir(s) located at a relatively shallow depth beneath the basin floor (cf. Dziedzic *op. cit.*). The considerable differentiation in the coal rank, as observed between the two *Żacler* "coal groups", may suggest that during the time interval represented by the coal-lacking deposits separating the two "coal groups", the activity of coalifying factors considerably decreased in certain regions. The possible explanations for the latter relationship may probably be as follows:

- a) a general decrease of the heat-flow rate on a regional scale;
- b) the increase in thickness of strata resulted from the preceding clastic deposition;
- c) a lateral shifting of the magmatic centres (or "foci"), resulting in local changes of the heat-flow rate.

The third of the above possibilities seems to be most likely here, particularly on the account of the local character and spatial restriction of the coal-rank changes and on the account of the change in clastic sedimentation which has taken place after the deposition of the lower "coal group" strata.

Heat flow associated with the porphyry body of Chelmiec massif has probably also played an important role in the coalification processes. Figure 17 shows the observed relationship between the volatile-matter content and the distance from Chelmiec massif. It is well seen from this figure that the latter two variables are mutually related and inversely proportional to each other.

In the tunnels IV–VII in field "B" (mine  $K_1$ ) and in the discussed tunnels of mine  $K_2$ , where magmatic rocks are lacking, the coal rank appears clearly related to geothermal gradient and increases with increasing stratigraphic depth; similar relationships are also observed as present in the Nowa Ruda district. The areas above are characterized by significant similarities in the coal rank of the two *Żacler* "coal groups", and their rank remains essentially unchanged in the down-dip direction of strata. Thus, there is probably a suggestion that the coal seams gained their coalification level before they were tectonically tilted. In other case, a significant increase of the coal rank should be expected in the down-dip direction of seams as associated with the increase of temperature with increasing depth of burial.

One of the well-established facts in the existing regional geological literature is that the tilting of the Carboniferous strata in Wałbrzych region has been largely due to the sub-volcanic intrusion of Chelmiec porphyry. This porphyry body was, however, presumably active during the entire time-period corresponding to the deposition of *Żacler Beds*. On the account of the above facts, it is deduced here that the coalification processes came to their end in the Wałbrzych region before the period of culmination of the Chelmiec massif uplift (estimated as corresponding to late Westphalian–early Stephanian time). If the latter inferences are true for this region, time interval no longer than 15–16 m.y. can be probably suggested as an estimate of the duration of coalification processes in the Wałbrzych district. It is to be emphasized, however, that the latter statement is true for the coal seams which are not adjacent to the magmatic intrusions in the region (cf. Kwiecińska 1966).

#### TEMPERATURE DURING COALIFICATION

The mean values of the volatile-matter content (data from tunnels IV–VII in field "B" and from studied part of mine  $K_2$ ) have been transposed and related to the well-known Karweil's (1956) diagram, i.e., experimental thermodynamic model of coalification. For these data, and for the process-duration estimate taken as 15–16 m.y., the probable paleotemperature during carbonification (as predicted from Karweil's plot) appears no greater than 170°C. For a probable depth of the coal-seam burial in Carboniferous time (estimated here as about 1500 m) the predicted geothermal gradient is about 9°C/100 m for that time.

Considering the problem of paleotemperatures during coalification, it is noteworthy that no significant thermal changes are observed in the clastic host rocks (besides the local contact metamorphism; Kwiecińska 1966). There are also no signs of thermal metamorphic changes in the clay-size grade deposits which cover the anthracites (see DTA curves in figure 19).

The considerable positive anomaly in the geothermal paleogradient (as inferred here for the Wałbrzych region)

cannot be related solely to the burial processes. This anomaly was probably associated with the activity of some additional source(s) of endogenic thermal energy. Taking into account the elsewhere published data concerning the anomalies in geothermal gradient in various regions of recent volcanic activity (e.g. Chorai, Ueda 1972), we arrive at the suggestion that the

Late Carboniferous magmatic activity in the Wałbrzych region might have been responsible for the inferred geothermal relationships. This remains in full agreement with both the previous discussion (see earlier text) and Dziedzic's (1965a, 1966, 1971) hypothesis concerning the sub-volcanic origin of Wałbrzych basin.

### STATISTICAL ANALYSIS

Geologists, in sharp contrast to workers in other disciplines, have been curiously reluctant to search for simple relationships between the variables which they study, partly because they are actually aware of the probable complexity of the underlying processes (or factors) which affect geological variables. Because of the above discussed complexity and variability of the coalification processes it is inappropriate to attempt to define the quantitative relationships between studied variables by any rigid, deterministic mathematical model. A more appropriate course of action is to use a statistical model containing a random element which is related to the inherent variability of the underlying processes. Because the underlying causes that control the variables (such as coal rank, for example) may be, and probably are, themselves intercorrelated the multivariate techniques of principal component analysis and curvilinear regression have been used in this study to demonstrate the relationships which exist between all the variables, considered simultaneously.

A number of geological features of the Zacler coal measures have been measured, during the course of this investigation, at 291 localities in the exploitation fields "A" and "B" of mine  $K_1$ . The sixteen variables selected for quantitative analysis and the symbols used to designate them are as follows: ( $v_1$ ) stratigraphic depth of coal seam; ( $v_2$ ) average amount of coarse-grained clastics (per cent) in outcrop; ( $v_3$ ) approximate distance from the Chełmiec porphyry massif; ( $v_4$ ) thickness of overlying rocks; ( $v_5$ ) coal-seam thickness; ( $v_6$ ) volatile-matter content; ( $v_7$ ) Roga's number; ( $v_8$ ) dip-angle of strata; ( $v_9-v_{13}$ ) lithologies above coal seam (these are coded in form of binary variables as to presence or absence, and represent coaly shale, shale, sandy shale, sandstone, and conglomerate lithologies, respectively); ( $v_{14}-v_{16}$ ) type of faults present (these are coded as above and include: similarly inclined faults " $f_s$ ", counter inclined faults " $f_c$ ", and water-conductive faults " $f_w$ ", respectively). The data matrix, as entered into the computer program, is thus 291 (entities) by 16 (attributes).

**Principal component analysis.** Principal component technique of factor analysis (R-mode) has been used because it may help to reveal simple underlying relationships which are hidden in a large mass of observed data. This technique may also reveal the degree of complexity of underlying system of cause and effect by the minimum number of dimensions required to express a high proportion of the variability of a particular data set. The objective of this technique is to find a linear transformation of the set of observed variables into a set of theoretical variables, termed principal components or factors, which are linear combinations of the original variables and are uncorrelated with each other. Physical (i.e., geological) interpretation of the extracted principal components (or factors) is next attempted.

In the technique of principal component analysis a straightforward correlation matrix with unit values in its principal diagonal is used as input. The farther calculatory procedure is carried out by calculating the eigenvalues (latent roots) and eigenvectors (latent vectors) of the matrix of correlation coefficients. The eigenvalues are extracted in decreasing order of magnitude; the corresponding eigenvectors are mutually ortho-

gonal so that the components derived from them are uncorrelated and, thus, the underlying physical factors are mutually independent. It is usual to concentrate attention upon the first few (i.e., most important to the system) components, because of their relatively higher significance to explanation of the analysed data set.

Table 3 shows the correlation coefficients for every possible pair of variables. It is very difficult for the human brain to assess simultaneously all the relationships which are shown in this table but it is obvious that many of the variables tend towards a linear relationship with each other. Inspection of table 3 reveals that both of the coal characteristics (variables  $v_6$  and  $v_7$ ) tend towards a linear relationship with the variable  $v_2$  (high negative correlation) and variable  $v_3$  (high positive correlation). Noteworthy is also the negative correlation between both of the former variables ( $v_6$  and  $v_7$ ) and the variable  $v_1$  (stratigraphic depth). From the latter relationships there comes a suggestion that the time factor (i.e., time period through which the coals remained in temperatures sufficient to coalification) was probably of considerably more importance to the resultant coal-rank than was the relative stratigraphic position of the coal seams. Both of the coal internal properties ( $v_6$  and  $v_7$ ) are clearly related to each other, and do also tend towards linear relationships with the amount of associated coarse clastics ( $v_2$ ) and with the distance from Chełmiec porphyry ( $v_3$ ). The same concerns the following two pairs of variables: the angle of dip of strata ( $v_8$ ) and volad tile-matter content ( $v_6$ ), and the presence of faults " $f_s$ " ( $v_{14}$ ) an-coal coking properties ( $v_7$ ).

The correlation matrix (tab. 3) has next been reduced by eliminating certain variables ( $v_9-v_{11}$ ,  $v_{13}$ ,  $v_{15}$ , and  $v_{16}$ ) which contribute comparatively little additional information about the system. The reduced correlation matrix (of rank 10 by 10) has been subjected to R-mode principal component analysis in which the variable-vectors are standardized and normalized so that each has a mean of zero and a variance of unity and, thus, can be regarded as being of unit length. If this is done, the total variance of the 10 observed variables (and the sum of all 10 eigenvalues) is equal to 10. If only the space or hyper-space defined by the first few eigenvectors is considered, then the proportion of the total variance of a given variable which is accounted for by such a system is calculated as the sum of squares of the first few elements in the appropriate row of the principal components matrix. This figure, which is taken as the communality, is equal to unity of the hyperspace defined by all 10 eigenvectors considered. The selection of the optimum number of reference axes necessary to explain adequately the relationships between the analysed set of 10 variables has been approached by using the Kaiser's varimax criterion and procedure of rotation.

Table 4 shows the factor loadings derived for the first five principal components (or factors). The vectors which represent variables  $v_3$ ,  $v_6$  and  $v_7$  are well clustered around the first eigenvector (factor  $F_1$ ), and this factor is interpreted here as embodying distance from the porphyry massif of Chełmiec. The next eigenvector (factor  $F_2$ ) shows clear clustering of the vectors corresponding to variables  $v_1$  and  $v_4$ , and is interpreted

therefore as representing time-factor (i.e., stratigraphic depth). A striking feature, here, is the markedly loose association of both the volatile-matter content ( $v_6$ ) and coking qualities ( $v_7$ ) with this factor  $F_2$ . Thus, there is clearly a suggestion that the coalification effects corresponding to time influence (i.e., time-dependent carbonification) are largely hidden or masked by the superior influence of thermal metamorphism associated with the intrusion of Chelmiec porphyry. A rather similar clustering of variable-vectors is embodied by the third eigenvector (factor  $F_3$ ). Because of its closest association with the vector  $v_4$ , this factor ( $F_3$ ) may probably be interpreted as representing the burial-pressure effects or the influence of the depth of burial of strata (i.e., low heating over long time-period and associated higher rock temperature). The fourth eigenvector (factor  $F_4$ ) reveals clustering of such variables, amongst the others, as the coal-seam thickness ( $v_5$ ), the amount of coarse-grained clastics ( $v_2$ ), and the thickness of overlying strata ( $v_4$ ); rather puzzling is the association of faults " $f_s$ " ( $v_{14}$ ) with the above "lithological" variables. This factor ( $F_4$ ) is interpreted here as representing the influence of the depositional facies, i.e., proximal/distal environmental relations within the coal basin. If this interpretation is true, there would possibly be a suggestion of lithologic control on the development of faults " $f_s$ ". The last eigenvector considered (factor  $F_5$ ) exhibits clustering of the variable-vectors  $v_{12}$ ,  $v_4$  and  $v_{10}$ , amongst the subordinate others. Because of its markedly high loading on the variable  $v_{12}$  (presence of permeable sandstones above coal seam), this factor ( $F_5$ ) is interpreted here as the lithologic control of seam-enveloping clastics. Its association with the variable  $v_{14}$  (faults " $f_s$ ") seems as probably supporting the explanation hypothesized above.

The five principal factors above ( $F_1$ – $F_5$ ) account for 77.93% of the information. Their corresponding per cent sums

of squares (tab. 4, bottom row) portray the extent to what the particular factors have probably contributed to the studied set (or system) of variables.

Curvilinear regression analysis. This multivariate statistical technique has been used to summarize the salient characteristics (variables) of the studied rock succession. The corresponding model, as adopted in this study, is presented in figure 20. On the assumption that the model is to be deterministic (or semi-deterministic), the well-known procedure of polynomial curve-fitting has been used and the criterion of least squares applied as optimization principle. This is essentially an attempt to define the quantitative relationships between a number of selected variables. The results are shown in tables 5–8. A six-dimensional third-order model is derived as the final effect, and corresponding results are presented in table 10. A set of known coal-rank determinations is used as some standard to which the model has been compared; this way of assessing the performance of the model (i.e., model testing) seems to be adequate and the results obtained show that the established model is valid for the studied coal deposits (tab. 9).

This empirical model (i.e., polynomial function), derived by optimization procedure, gives the best description of the data and clearly allows simulation (or prognosis) of the coal rank on the basis of some other, easily accessible variables. The model is thought, therefore, as being of some practical importance because it may be used in explorative works to prognosticate the coal properties in the Wałbrzych coal-mining district.

It is noteworthy that the two sets of results, obtained by rather different statistical techniques, well correspond with each other, and also strongly support the previously discussed inferences concerning the observational field data.

## CONCLUSIONS

In light of what has been said, the evolution of coalification processes in the Żacler Beds coal-seams can be summarized for the studied region as follows:

1) The primary environment of peat formation was represented by a forest-terrestrial moor facies. The present-day coal seams still reveal several features which are indicative of their original autochthonous formation.

2) The coals attained their basic carbonification-level mostly due to the geothermal paleogradient.

3) The time interval of the activity of coalification processes was probably no greater than 15–16 m.y. The coalification processes came largely to their end in the time period corresponding to transition from Stephanian A to Stephanian B.

4) The paleotemperature during coalification was generally no greater than 170°C.

5) For certain areas the attained coal-rank is recognized as having been primarily due to the regional metamorphism associated with abnormally high geothermal paleogradient and to the thermal metamorphism resulted from the presence of active magmatic centres (the latter being well accentuated by the influence of Chelmiec porphyry massif).

6) In certain sub-regions the coal-rank variation appears clearly related to stratigraphic depth, whilst this relationship

is not observed in other sub-regions. This may be suggestive of the local development of magmatic centres beneath the basin floor; the major mobilization of magma started probably after the time period represented by the lower "coal group" of Żacler Beds.

7) A relatively higher coal rank is often observed as being also associated with the fault zones, particularly where the similarly inclined faults (" $f_s$ ") do occur.

8) Based on the quantitative technique of R-mode factor analysis, five principal factors have been extracted and interpreted as the major geological agencies which controlled the coalification processes in the region. Their respective intensities are also estimated quasi-quantitatively.

9) The application of curvilinear regression technique allowed formulation of the quantitative empirical models (having form of third-order polynomial function) which define the relationships between a number of selected geological attributes of coal-bearing strata considered. This model is proposed here to be applied, in mining practice, for the coal-rank prognostic evaluations in the region.

*Translated by Wojciech Nemeč*